
Szkoła
Główna
Gospodarstwa
Wiejskiego
w Warszawie

Przegląd Naukowy

Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska

II Polsko-Izraelska Konferencja Naukowa

**GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI
I NAWADNIANIE ROŚLIN UPRAWNYCH**

II Polish-Israeli Scientific Conference

**WATER RESOURCES MANAGEMENT AND
IRRIGATION OF CULTIVATED PLANTS**

Zeszyt 22

SCIENTIFIC REVIEW FACULTY OF ENGINEERING
AND ENVIRONMENTAL SCIENCES
WARSAW AGRICULTURAL UNIVERSITY

Od Redakcji:

Zeszyt 22 Przeglądu Naukowego Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW zawiera prace zgłoszone na II Polsko-Izraelską Konferencję Naukową pt: GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI I NAWADNIANIE ROŚLIN UPRAWNYCH, która odbyła się w dniach 04–08 czerwca 2001 r. w gmachu Wydziału przy ul. Nowoursynowskiej 166 w Warszawie.

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Andrzej Ciepeliowski, Bonifacy Łykowski (przewodniczący), Mieczysław Połoński

REDAKCJA NAUKOWA ZESZYTU

Jerzy Jeznach, Edward Pierzgalski, Czesław Somorowski

RECENZENT:

Prof. dr hab. Czesław Somorowski

Konferencja Naukowa zorganizowana przez:

Katedrę Kształtowania Środowiska SGGW,
Katedrę Podstaw Produkcji Roślinnej i Nawadniania Roślin AR w Szczecinie,
Komitet Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego PAN,
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych,
Instytut Warzywnictwa w Skierniewicach,
Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach,
Ministry of Foreign Affairs, Centre for International Cooperation MASHAV,
Ministry of Agricultural and Rural Development, Centre for International Agricultural
Development Cooperation CINADCO.

ADRES REDAKCJI

Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel. 843-90 41 (61, 81) w. 11273 i 11769

Szkoła
Główna
Gospodarstwa
Wiejskiego
w Warszawie

Przegląd Naukowy

Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska

Zeszyt 22

Warszawa 2001

Spis treści

Contents

Editorial	5
Arbuscular mycorrhizal fungi (<i>Glomales, Zygomycota</i>) of Israeli soils <i>Janusz Błaszowski, Mariusz Tadych, Tadeusz Madej, Iwona Adamska, Anna Iwaniuk</i>	7
Practical method of sprinkler irrigation scheduling in the Kujawy region – <i>Stanisław Drupka, Jan Gruszka, Antoni Kuźniar</i>	29
The role of environmental management systems in protection of water resources in Poland – <i>Piotr Hewelke, Justyna Samol, Joanna Malek</i>	41
Soil water reserves dynamics in a different soil suitability complexes considering winter wheat leaf area index and dry matter accumulation – <i>Janusz Igras</i>	49
Elected methods for define of the soil losses as result of water erosion in mountain region – <i>Tomasz Jakubowski</i>	59
Water management in the Wikrowo polder using a mathematical model and an advanced measuring system – <i>Edmund Kaca, Leszek Łabędzki, Tymoteusz Walter</i>	69
Water engineering projects and the spread of water-born diseases in tropical areas of Africa and Asia – <i>Izabella Łęcka</i>	81
Amount and quality of water in catchments characterised by various degrees of afforestation – <i>Antoni Miler, Daniel Liberacki, Dariusz Plewiński</i>	89
The issue of agricultural irrigation in the Masurian Lake District – <i>Zygmunt Nowicki, Katarzyna Glińska</i>	97
Impact of area management on the cleanliness of Trybska Rzeka water stream – <i>Zenon Pijanowski, Włodzimierz Kanownik</i>	111
The effect of polymer barrier on soil water regime under subsurface drip irrigation – <i>Wiesław Ptach</i>	125

Control of the ground water table using upward irrigation – <i>Andrzej Reinhard, Grzegorz Janik</i>	135
Odnowialność a jakość płytkich wód podziemnych na przykładzie okolic Warszawy – <i>Elżbieta Biernacka, Halina Pajnowska</i>	149
Wpływ zmian natężenia wydatku emiterów na równomierność uwilgotnienia gleby przy nawodnieniu kropłowym – <i>Piotr Hewelke, Piotr Filipowicz</i>	159
Zmiany zasobów wodnych w glebach zdrenowanych z regulowanym odpływem – <i>Stanisław Kostrzewa, Anna Pływaczek, Grzegorz Pęczkowski</i>	167
Ekologiczne skutki gospodarowania wodą na użytkach rolnych przez regulowanie jej odpływu – <i>Krzysztof Nyc, Ryszard Pokladek</i>	177
Możliwości eliminowania niedoborów wodnych gleb w warunkach ograniczonych zasobów dyspozycyjnych – <i>Krzysztof Nyc</i>	187
Dynamika uwilgotnienia mady średniej w okresie wegetacyjnym 1999 roku w warunkach naporowych oraz swobodnego położenia zwierciadła wody gruntowej – <i>Leszek Pływaczek, Beata Olszewska, Wojciech Łyczko</i>	197
Metody obliczania dawek polewowych nawodnień deszczownianych – <i>Stanisław Żakowicz</i>	207
Metodyka ustalenia wielkości dawki odsalającej i przemywającej – <i>Stanisław Żakowicz</i>	223
Zmienność opadów w sezonach wegetacyjnych ostatniego dwudziestolecia i reakcja roślin w środkowej Polsce – <i>Ludwika Martyniak, Ryszard Szymczyk</i>	235
The influence of mineral fertilization and irrigation on the occurrence of leaf lesions, phyllosphere and arbuscular mycorrhizal fungi in four spring cereal species – <i>Janusz Błaszowski, Stanisław Karczmarezyk, Cezary Podsiadło, Mariusz Tadych, Tadeusz Madej, Iwona Adamska</i>	247
Irrigating potatoes in the Wrocław region – <i>Kazimierz Chmura, Stanisław Rojek</i>	259
Yielding of triticale in Lower Silesia related to soil, cultivar, years, and precipitation total and its distribution. Part I. Winter triticale – <i>Zenobiusz Dmowski, Halina Dzieżyce, Lech Nowak</i>	275
Yielding of triticale in Lower Silesia related to soil, cultivar, years, and precipitation total and its distribution. Part II. Spring triticale – <i>Zenobiusz Dmowski, Halina Dzieżyce, Lech Nowak</i>	285
Effect of sprinkling medium-early cultivar potatoes in Wrocław region dependent on precipitation – <i>Lech Nowak</i>	293
Production effects of sprinkling sugar beet grown on good rye complex in Wrocław region – <i>Lech Nowak</i>	301
Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil. Part I. Seed and straw yield – <i>Cezary Podsiadło, Stanisław Karczmarezyk, Zdzisław Koszański</i>	307

Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil. Part II. Pigment content and enzyme activity in leaves – <i>Cezary Podsiadlo, Stanisław Karczmarczyk, Zdzisław Koszański, Irena Zbieć</i>	321
Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil. Part III. Chemical composition and nutritional value of the crop – <i>Stanisław Karczmarczyk, Cezary Podsiadlo, Zdzisław Koszański, Eugeniusz Gurgul</i>	331
Irrigation effects on selected forage crops in the Wrocław region – <i>Stanisław Rojek, Kazimierz Chmura</i>	341
The impact of sprinkler irrigation and Nitrogen fertilisation upon the yield volume and quality of triticale and winter wheat cultivated on light soils nearby Kraków – <i>Adam Rużyczka, Aleksy Galka</i>	353
Wieloletnie upraszczanie uprawy roli, a stosunki wodne gleby ciężkiej – <i>Leszek Malicki, Elżbieta Podstawka-Chmielewska, Krystyna Kisiel</i>	365
Cost – effectiveness of sprinkler irrigation of field crops and vegetables in central Poland – <i>Jacek Źarski, Stanisław Rolbiecki, Czesław Rzekanowski, Roman Rolbiecki, Stanisław Dudek, Bogdan Grzelak</i>	375
Optymalizacja warunków wilgotnościowych i agrotechniki buraka cukrowego na łądzinie – <i>Elżbieta Podstawka-Chmielewska, Joanna Kwiatkowska</i>	383
Ogólne zasady eksploatacji systemów nawodnień kropłowych w Polsce – <i>Jerzy Jeznach</i>	391
Równomierność natężenia wydatku emiterów w systemach nawodnień kropłowych – <i>Jerzy Jeznach</i>	401
Agricultural Practices, soil fertility management modes and resultant nitrogen leaching rates under semi-arid conditions – <i>A. Hadas, Aviva Hadas, B. Sagiv, Nava Haruvy</i>	415
Dynamic of soil moisture in the root zone and its effect on irrigation scheduling – <i>Rony Wallach</i>	417
Irrigation-Induced Changes of Rainfall Patterns in Southern Israel – <i>A. Manes, T. Ben-Gai, P. Alpert</i>	419
ISRAEL	
An Example of the Management of Scarce Water Resources – <i>Otto Nagler</i>	421
Irrigated Organic Farming: Nutrients Supply and Nitrate Leaching Hazards – <i>Aviva Hadas</i>	423
Irrigation of greenhouse tomatoes with low-quality water: Effects on productivity and fruit quality – <i>Zvi Plaut</i>	425

Using TDR to measure water content in tree stem for monitoring irrigation – <i>Arie Nadler</i>	427
Water balance and nutrients reduction in soil irrigated by low quality water using drip system – <i>Agnieszka Wagner, Jan Szatyłowicz, Jerzy Jeznach</i>	429
The effect of irrigation and fertilisation in repland orchard – <i>Czesław Przybyła, Eugeniusz Pacholak, Paweł Kozaczyk</i>	431
Technologia nawadniania i nawożenia jako istotny czynnik kompleksowego zarządzania jakością świeżych warzyw – <i>Maria Jeznach</i>	441
Tarasy grzbietowe a kształtowanie zasobów wodnych – <i>Anna Baryła, Edward Pierzgalski</i>	443

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2000

Projekt okładki i strony tytułowej – Barbara Werbanowska

ISBN 83-7244-208-8

Druk: P.P. EVAN, 02-629 Warszawa, ul. Pilicka 11

Editorial

I Poland-Israel Conference on „Water requirements and irrigation effects of plants cultivated in arid and semiarid climates” took place December 5-16 .1997 and was organised at the Kibbutz Shefayim, Israel by The Centre for International Agricultural Development Cooperation CINADCO and Agricultural University of Szczecin under the auspices of Centre for International Cooperation MASHAV and Polish State Committee for Scientific Research.

During the Conference considerable progress was made in mutual exchange of knowledge and experiences as well as following common interest of research fields were defined:

- *Meteorological protection of agriculture. Agrometeorological prognosis.*
- *Irrigation and fertigation management and their influence on field and horticulture crop quality and nutritional.*
- *Sensitivity of irrigated plants to diseases.*
- *Use of low quality and recycled water for irrigation.*
- *Computerised irrigation and fertigation control.*
- *Effect of methyl alcohol on crops in arid and moderate climates.*

This publication includes a number of abstracts and papers chosen by the Scientific Organisation Committee of the II Poland - Israel Conference on „Water resources management and irrigation of cultivated plants” which was held at the Warsaw Agricultural University, 4-8 June 2001.

Organisers hope this Conference will be a fruitful meeting and will significantly influence on further research cooperation of participants.

Editor

Arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomales*, *Zygomycota*) of Israeli soils

JANUSZ BŁASZKOWSKI, MARIUSZ TADYCH, TADEUSZ MADEJ,
IWONA ADAMSKA, ANNA IWANIUK

Department of Plant Pathology, University of Agriculture, Słowackiego 17, PL-71434 Szczecin,
Poland

Abstract: *Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycota) of Israeli soils.* Between 5 and 16 December 1997, root and rhizosphere soil samples coming from under cultivated and uncultivated plants growing in different sites of Israel were collected to determine the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). A total of 49 samples were taken, which were then used to establish trap pot cultures with *Plantago lanceolata* as the host plant. After 6 months of cultivation, sporulation of AMF was revealed in 39 cultures. The spores recovered represented 17 described species and 8 undescribed morphotypes. Of the described species, ten are AMF new for Israel.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi, Glomales, Zygomycota, occurrence.

INTRODUCTION

The most common soil fungi probably are arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) of the order Glomales, Zygomycota (Gerdemann, 1968). According to Gianinazzi and Gianinazzi-Pearson (1986), they are associated with ca. 80% of plants of the Earth. Of the families of cultivated plant species, only the Brassicaceae and Chenopodiaceae contain non-mycorrhizal plant species or those rarely living in symbiotic associations with arbuscular fungi (Harley and Harley, 1987, 1990).

AMF play a crucial role in the life of plants. They are known to increase the root absorptive area and, thereby, the plant nutrition (Bielecki, 1973), influence the succession of plants (Janos, 1980), their competitiveness (Allen and Allen, 1984; Fitter, 1977), phenology (Allen and Allen, 1986) and pollen production (Lau et al., 1995), equalize the level of nutrition of co-existing plants by formation of hyphal bridges transferring nutrients between them (Newman, 1988) and improve soil structure through binding sand grains into aggregates by extramatrical mycorrhizal hyphae (Koske et al., 1975; Sutton and Sheppard, 1976). However, the abundance of spores and the species

diversity of AMF, as well as the incidence of arbuscular mycorrhizae (AM) of plants highly differed, depending on, e. g., the plant species considered (Dalpé, 1989; Koske, 1988; Koske and Gemma, 1996), its developmental stage (Gemma et al., 1989), the occurrence of other soil microorganisms (Lee and Koske, 1994) and chemical and physical soil properties, such as the mechanical composition (Koske and Halvorson, 1981), the contents of organic matter (Koske and Gemma, 1997) and mineral components (Rose, 1988), pH (Al-Agely and Reeves, 1995), moisture (Al-Agely and Reeves, 1995; Read, 1989) and temperature (Koske, 1987). Additionally, the recognition of the occurrence of AMF in a site highly depends on the intensity of its sampling due to the aggregated distribution of spores of these fungi (Bever et al., 1996; Friese and Koske, 1991; St. John and Koske, 1985).

The knowledge of the occurrence of AMF in Israeli soils is low. Ten species and one morpho-species were recognized to date (Dodd and Krikun, 1984; Hass and Menge, 1990).

The aim of this paper was to determine the occurrence of AMF in different sites of Israel.

MATERIALS OF INVESTIGATION

Study sites. Most mixtures of roots and adjacent soils were collected from dunes of the Mediterranean Sea extending from the Kibbutz Shefayim to Tel-Aviv. Two samples were taken near Bersheva in the north of Israel, two from a field situated in the Negev Desert (near The Volcanic Center) and one sample came from a meadow placed in the Jordan Valley.

Collection of samples. Samples of roots and attached soils were excavated from a depth of 5-30 cm using a small trowel. About 200 cm³ of root-soil mixtures were placed in plastic bags, transferred to a laboratory in Poland and then stored at 4°C for ca. one month until processed.

Establishment of trap and single species cultures. To receive a great number of living spores of different developmental stages and to initiate sporulation of non-sporulating species in the field conditions, trap cultures were established. The root-soil mixtures collected were carefully mixed with autoclaved maritime sand coming from dunes adjacent to Świnoujście (pH 6.7; 12 and 26 mg L⁻¹ P and K, respectively). These

mixtures were placed in 9 x 12 cm plastic pots (500 cm³) and seeded with *Plantago lanceolata* L. About 60 seeds were added to each pot. Plants were grown in a greenhouse at 18-30°C with supplemental lighting provided by one SON-T AGRO sodic lamp (Philips Lighting Poland S. A.) placed 1 m above pots. The maximum light intensity was 180 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ at pot level. Plants were watered 2-3 times a week. Trap cultures were harvested after 4 months after plant emergence.

Single-species pot cultures were established from about 50 to 100 newly formed spores stored before inoculation in a water at 4°C for 24 h. They were collected in a pipette and transferred onto a compact layer of roots of 10-14-day-old seedlings of *P. lanceolata* placed at the bottom of a hole of ca. 1 cm wide and 4 cm deep formed in a wetted growing medium filling 8-cm plastic pots (250 cm³). The growing medium was an autoclaved sand of maritime dunes adjacent to Świnoujście. Subsequently, the spores were covered with another layer of roots coming from 4-6 plants of the host. Finally, the roots and sandwiched spores were buried in the growing medium. The cultures were harvested after 4-12 months and spores extracted.

Developmental stages of the fungus were determined based on newly formed spores extracted from both trap and single species cultures, the latter being harvested at ca. 20-30-day intervals.

Morphological properties of spores and their subcellular structures were determined based on at least 100 spores mounted in polyvinyl alcohol/lactic acid/glycerol (PVLG; Koske and Tessier, 1983) and a mixture of PVLG Melzer's reagent (1:1, v/v). The spores represented all stages of differentiation of the fungus. The degree of maturity of spores was assessed based on appearance under an Olympus SZX9 dissecting microscope. The main properties considered were colour and size of spores. Spores were crushed to varying degrees by applying pressure to the coverslip and then stored at 65°C for 24 h to clear their contents from oil droplets. Examination of such prepared specimens was performed using a Zeiss compound microscope equipped with differential interference contrast optics.

Isolation and identification of AMF. Spores of AMF were isolated from the soils by wet sieving and decanting (Gerdemann and Nicolson, 1963). Both intact and crushed spores in polyvinyl/alcohol/glycerin (PVLG) and a mixture of PVLG and Melzer's reagent were investigated at 25-1200x. The fungi were identified according to their

original descriptions (Schenck and Pérez, 1990), revisions (Morton, 1996; Franke and Morton, 1994; Stürmer and Morton, 1997), information and specimens obtained from Prof. R. E. Koske (Rhode Island University, U.S.A.), Prof. J. M. Morton (West Virginia University, U.S.A.), Prof. J. M. Trappe (Oregon State University, U.S.A.), and Dr. C. Walker (U.K.). Vouchers of all the fungal species recovered are preserved in the authors' collections. Nomenclature of the fungi mentioned in this paper follows Walker and Trappe (1993).

RESULTS

General data. During a visit in Israel, a total of 49 samples of roots and rhizosphere soils were collected (Tab. 1). Forty-five samples came from under *Cenothera drummondii* colonizing maritime dunes extending from the Kibbutz Shefayim to Tel-Aviv. Two samples were taken under *Capsicum annuum* cultivated near Bersheva in the north of Israel, two from under *Lycopersicon esculentum* grown in the Negev Desert near The Volcanic Center and one from under *Festuca rubra* growing on an irrigated meadow in the Jordan Valley.

Table 1. Plants examined and localities at which the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi were investigated

Plant species	Locality
<i>Cenothera drummondii</i> (Hook)	1177-188, 1190-1215, 1217-1222, 1224, 1225
<i>Capsicum annuum</i> L.	1189, 1216
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	1223

After ca. 6 months of culturing, sporulation of AMF occurred in 39 trap cultures. A total of 17 described and 8 undescribed morpho-species of AMF were identified (Tab. 2).

The dominant AMF were members of the genus *Glomus* (22 taxa). Additionally, two *Acaulospora* spp. and one species of the genus *Scutellospora* were revealed. Of the AMF found, ten species are new for Israel. The described fungal species recovered included: *Acaulospora paulineae*, *A. trappei*, *Glomus caledonium*, *G. claroideum*, *G. constrictum*, *G. coronatum*, *G. dominikii*, *G. etunicatum*, *G. geosporum*, *G. gibbosum*, *G. intraradices*, *G. microcarpum*, *G. mosseae*, *G. sinuoides* and *Scutellospora dipurpurescens*. Of them, only *A. trappei*, *G. constrictum*, *G. mosseae* and *G. sinuoides* were earlier recorded in Israel.

Table 2. Species of arbuscular fungi found in Israel

Fungal species	Frequency (%)
Acaulospora paulineae	4.1
<i>Acaulospora trappei</i>	14.3
<i>Glomus arenarium</i>	2.0
<i>Glomus caledonium</i>	2.0
<i>Glomus claroideum</i>	22.4
<i>Glomus constrictum</i>	24.5
<i>Glomus coronatum</i>	8.2
<i>Glomus etunicatum</i>	2.0
<i>Glomus dominikii</i>	14.3
<i>Glomus geosporum</i>	4.1
<i>Glomus gibbosum</i>	2.0
<i>Glomus intraradices</i>	4.1
<i>Glomus microcarpum</i>	4.1
<i>Glomus mosseae</i>	2.0
<i>Glomus sinuosum</i>	2.0
<i>Glomus xanthium</i>	4.1
<i>Glomus</i> 125	51.0
<i>Glomus</i> 126	8.2
<i>Glomus</i> 130	10.2
<i>Glomus</i> 131	2.0
<i>Glomus</i> 132	2.0
<i>Glomus</i> 133	8.2
<i>Glomus</i> 138	2.0
<i>Glomus</i> 139	2.0
Scutellospora dipurpurescens	20.4

The fungus most frequently occurring in trap cultures was a *Glomus* morpho-species producing small, hyaline spores (present in 51% of cultures). Frequently present species of AMF included *G. constrictum* (24.5%), *G. claroideum* (22.4%) and *S. dipurpurescens* (20.4%). The fungi sporulating in more than 10% of cultures were *A. trappei* (14.3%), *G. dominikii* (14.3%) and *Glomus* 130 (10.2%).

The dominance of members of the genus *Glomus* in the Israeli soil-based trap cultures corresponds to earlier reports coming from investigations conducted in different regions of the world (Błaszczowski, 1993; Gerdemann and Trappe, 1974; Gianinazzi-Pearson et al., 1980; Hetrick and Bloom, 1983; Mosse et al., 1981; Schenck and Smith, 1981; Walker et al., 1982) and supports the opinion of, e. g., Anderson et al. (1984), Grey

(1991), Haas and Menge (1990) and Porter et al. (1987) that these fungi are well adapted to a wide range of physical and chemical soil conditions. Despite spores present in field soils of Australia mainly represented the genera *Acaulospora*, *Gigaspora* and *Scutellospora*, examination of mycorrhizal morphology and spores produced in trap cultures also indicated a marked predominance of fungi of the genus *Glomus* (Brundrett et al., 1999).

Of the other genera of the order Glomales, only two *Acaulospora* species and *S. dipurpurescens* were found in the studies discussed here. However, the results come only from observations of the occurrence of AMF in the first generation trap cultures with *P. lanceolata* grown in greenhouse conditions of Poland. No determination of the species diversity of AMF in field-collected soil samples was made. Gazey et al. (1992) observed that sporulation of two *Acaulospora* spp. began only after root colonization levels built up to threshold values. In Stutz and Morton's (1996) investigations, 75% of the species richness measured after three propagation cycles was not detected in the first cycle and the fungi highly predominating in the third cycle were *Glomus* spp. Hence, next generations of trap cultures will probably reveal new members of the order Glomales inhabiting the soils sampled in Israel, but do not change the structure of AMF communities of these soils revealed in the first generation cultures characterized here.

The reasons of the dominance of *Glomus* spp. and the infrequent occurrence or the lack of AMF of the other genera of the order Glomales may have been that (1) *Glomus* spp. had a higher initial propagule numbers, (2) the first generation soil-based trap culture isolation procedure selected the most competitive AMF present in the original soils or those that could be faster to adapt to the growth conditions used and (3) moisture availability in the trap cultures and the host plant used impacted on reproductive potential of AMF. In Brundrett et al. (1999) investigations, several *Glomus* species, one *Acaulospora* and one *Scutellospora* species were dominant in many trap cultures started from soil or roots taken from soils devoid of living spores of these fungi. Thus, for these species, inoculum levels in soils were not related to numbers of spores. Safir et al. (1990) found that irrigation increased root colonization and spore numbers in the soil and shifted arbuscular fungal species composition. Bever et al. (1996) and Tadych and Błaszowski (in press) confirmed functioning host-dependent differentiation of AMF communities.

The secondariness of *Acaulospora* spp. in populations of spores of AMF recovered from the soils collected in Israel agree with the findings of ,e. g., Błaszowski (1991a, 1993a, 1994) and Gerdemann and Trappe (1974) that these fungi rarely dominate in AMF communities. According to Klironomos et al. (1993), Porter et al. (1987) and Haas and Menge (1990), species of *Acaulospora* prefer acid soils. However, no chemical analysis of the soils investigated in this study was made.

The distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in the Israeli soils and notes on their general occurrence

Abbreviation:

n – number of soil samples in which a particular fungal species was found. The numbers following are those of soil samples given in Table 1 and being a continuation in the numbering system used by the first author of this paper.

1. *Acaulospora paulineae* Błasz.

Fig. 1.

n=2: 1218, 1219.

Acaulospora paulineae has earlier many times been found in maritime dunes of the Słowiński National Park (SNP), the Gdańsk coast and the Hel Peninsula, Poland (Błaszowski, 1993a, 1994). Koske et al. (1997) encountered *A. paulineae* among roots of *Agrostis canina* Huds., *A. alustris* L. and *Poa annua* L., perennial turf species of golf greens of Rhode Island, U.S.A.

2. *Acaulospora trappei* Ames & Linderman

Fig. 2.

n=7: 1180, 1186, 1187, 1188, 1193, 1203, 1222.

In Israel, *A. trappei* has earlier been encountered as associated with roots of *Persea americana* Mill. growing in orchard soils (Haas and Menge, 1990). Tadych and Błaszowski (2000) found this fungus in maritime dunes of SNP. *Acaulospora trappei* also occurred in a rhizosphere soil of *Festuca rubra* L. colonizing inland dunes of the Błędowska Desert (Błaszowski and Tadych pers. observ.). However, examination of trap pot cultures established based on soils of many other dune sites of Poland indicates that this fungus is a very frequent inhabitant of dunes. *Acaulospora trappei* forms small, hyaline spores with a wall composed of thin and delicate layers. Hence, the lack of records of this fungus in other dune sites of the world, mainly investigated based on

field-collected soils, may result from either the omission of its spores or their absence at the period of soil sampling due to decomposition. This species has originally been known from *Lilium longiflorum* Thunb. fields along southern Oregon and northern California coastal areas (Ames and Linderman, 1976).

3. *Glomus arenarium* Błaszcz., Tadych sp. ined.

Fig. 3.

n=1: 1210.

This fungal species is a common inhabitant of maritime dunes adjacent to Świnoujście, Poland.

Spores borne singly in the soil or sometimes in roots; orange to raw umber; globose to subglobose; (55-)97(-120) μm diam; sometimes ovoid; 65-105 x 95-140 μm . Subcellular structure of spores consists of one wall with three layers (layers 1-3). Outermost layer 1 hyaline, (0.5-)0.9(-1.5) μm thick before disintegration, closely adherent to layer 2, smooth in juvenile spores, gradually deteriorating and sloughing at the end of formation of layer 2, always absent in mature spores. Layer 2 hyaline, smooth, (0.7-)1.1(-1.5) μm thick, semiflexible (folding when separated from the laminated layer 3), sloughing with age, rarely present in mature spores. Layers 1 and 2 are continuous with a two-layered subtending hypha of juvenile spores. Layer 3 laminate, smooth, orange to raw umber (5F8), (2.0-)6.1(-8.8) μm thick in mature spores, formed by gradual synthesis of very thin, approximately 0.5 μm thick, laminae in the spore and its subtending hypha; the first lamina is highly flexible and frequently separates from layer 2 in crushed spores. Spore wall layers not reacting in Melzer's reagent. Layers 1 and 2, when not deteriorated, swell in lactic acid-based mountants. Layer 3 then appears to be covered with blisters or surrounded with an aureola.

The only one described species of the genus *Glomus* resembling *G. arenarium* is *G. etunicatum*. The two fungi form spores similar in colour, size and shape with a narrow subtending hypha, whose wall is much lighter-coloured than the wall of its spore. Examination of the spore wall structure easily separates these fungi. The spore wall of *G. etunicatum* consists of a mucilaginous outer layer tightly adherent to a laminate inner layer (Störmer and Morton, 1997). In contrast, the wall of *G. arenarium* spores is composed of a sloughing outermost layer closely associated with a semiflexible middle layer that easily separates from a laminate innermost layer. Although the outermost layers of the two fungi are similar in appearance and quickly slough, the mucilaginous

layer of *G. etunicatum* spores stains dark pinkish to reddish purple and that of spores of *G. arenarium* does not react in this reagent. Additionally, the subtending hypha of *G. arenarium* spores is persistent and usually present in mature spores, whereas that of spores of *G. etunicatum* frequently breaks at the spore base.

4. *Glomus caledonium* (Nicol. & Gerd.) Trappe & Gerd.

n=1: 1225.

In Israeli soils, *G. caledonium* was recovered from a rhizosphere soil of *F. rubra* growing on an irrigated meadow.

5. *Glomus claroideum* Schenck & Smith

n=11: 1181, 1184, 1185, 1191, 1201, 1203, 1210, 1220, 1221, 1222, 1224.

In this study, this fungus was encountered only in dune soils. Mohankumar et al. (1988) found *G. claroideum* to occur in the sandy beach soils of Madras coast. In Poland, *G. claroideum* is a common associate of different cultivated plants (Błaszowski, pers. observ.).

6. *Glomus constrictum* Trappe

Fig. 4.

n=12: 1178, 1180, 1182, 1183, 1187, 1202, 1208, 1218, 1219, 1220, 1222, 1223.

Of the 12 Israeli soil samples containing spores of *G. constrictum*, two (1178, 1223) came from under *L. esculentum*. The others were rhizosphere soils of *C. drummondii* growing in dunes. Haas and Menge (1990) found *G. constrictum* spores in Israeli avocado orchard soils. *Glomus constrictum* is one of the most frequently occurring AMF in cultivated soils of different regions of the world (Błaszowski, 1993). In maritime dune soils, this fungal species was found in Poland (Błaszowski, 1993a, 1994), Quebec, New Brunswick and New Scotia, Canada (Dalpé, 1989) and in dunes distributed from New Jersey to Virginia (Koske, 1987). It has also been recovered from dunes of Hawaii (Koske, 1988) and Santa Catarina, Brazil (Stürmer and Bellei, 1994).

7. *Glomus coronatum* Giovannetti

n=4: 1186, 1215, 1220, 1222.

Other dune sites harbouring spores of *G. coronatum* have been those of Italy (Giovannetti and Nicolson, 1983; Giovannetti et al., 1991). *Glomus coronatum* has

earlier been found in Israel as *G. mosseae* associated with roots of plants of the Negev Desert (Dodd and Krikun, 1984; Dodd, pers. observ.)

8. *Glomus dominikii* Błaszki.

n=7: 1180, 1182, 1185, 1187, 1203, 1221, 1222.

The only earlier record of *G. dominikii* from maritime dunes comes from the Hel Peninsula (Błaszowski, 1994).

9. *Glomus etunicatum* Becker & Gerd.

n=1: 1216.

In Israel, *G. etunicatum* was associated with roots of *C. annum* cultivated near Bersheva. *Glomus etunicatum* is a common inhabitant of cultivated soils of different regions of the world (Błaszowski, 1993). In Poland, this fungus markedly preferred cultivated sites (Błaszowski, 1993).

10. *Glomus geosporum* (Nicol. & Gerd.) Walker

n=2: 1188, 1189.

In Israel, the authors of this paper found *G. geosporum* to be present in both maritime dunes and a cultivated soil under *C. annum*. Hass and Menge (1990) recovered this fungus from under *P. americana*. Rose (1980) found *G. geosporum* in sand dunes of Oregon, northern California and Florida. This fungus probably is a frequent component of populations of AMF of both cultivated and uncultivated soils of the world (Błaszowski, 1993).

11. *Glomus gibbosum* Błaszki.

n=1: 1182.

Glomus gibbosum has earlier been recorded only in maritime dunes adjacent to Świnoujście (Błaszowski, 1997).

12. *Glomus intraradices* Schenck & Smith

n=2: 1183, 1217.

This fungus has been recorded from dunes of north-western Poland (Błaszowski, 1995), Madras, India (Mohankumar *et al.*, 1988), Canada (Dalpé, 1989), San Miguel

Island (Halvorson and Koske, 1987; Koske and Halvorson, 1989) and Hawaii (Koske, 1988; Koske and Gemma, 1996).

13. *Glomus microcarpum* Tul. & Tul.

n=2: 1184, 1196.

In this study, *G. microcarpum* was isolated only from dune soils. Hass and Menge (1990) revealed its presence in soils of an avocado orchard. Although *G. microcarpum* has earlier been recorded to occur in dunes of the Baltic Sea coast (Błaszowski, 1993a, b, 1994), Madras, India (Mohankumar et al., 1998) and Italy (Puppi and Riess, 1987), it is known to be associated with various both cultivated and uncultivated plants growing in different regions of the world (Błaszowski, 1993).

14. *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe

Figs. 5-6.

n=1: 1223.

The present investigation revealed *G. mosseae* associated with mycorrhizal roots of *L. esculentum*. Hass and Menge (1990) isolated this fungus from Israeli rhizosphere soils of *P. americana*. In Poland, this species was the second most frequently encountered AM fungus. It occurred three times more frequently in cultivated than uncultivated soils. *Glomus mosseae* has a worldwide distribution (Błaszowski, 1993).

15. *Glomus sinuosum* (Gerd. & Bakshi) Almedia & Schenck

n=1: 1177.

Other reports of the presence of *G. sinuosum* in dune soils are those of Koske (1988) and Koske and Gemma (1996) from Hawaii. *Glomus sinuosum* has earlier been found in Israel as associated with roots of plants of the Negev Desert (Dodd and Krikun, 1984) and those of avocado (Hass and Menge, 1990).

16. *Glomus xanthium* Tadych, Błasz. & Madej sp. ined.

Figs. 7-8.

n=2: 1220, 1222.

Glomus xanthium has originally been recovered from maritime dune of Greece. This paper is the second report of the occurrence of this fungus in the world.

Spores most frequently present within roots or rarely occurring singly in the soil; light yellow to yellow ochre; globose to subglobose; (23-)50(-70) μm diam; sometimes ovoid; 20-55 x 45-100 μm ; with a single subtending hypha. *Subcellular structure of*

spores of one wall with three layers (layers 1-3). Outermost layer 1 rigid, smooth, hyaline, ca. 0.5 μm thick, continuous with a one-layered subtending hypha of the most juvenile spores, then darkening to light yellow and thickening to (1.2-)1.8(-2.7) μm . Layer 2 rigid, smooth, hyaline, (0.2-)0.8(-1.2) μm thick, closely adherent to layer 1. Layers 1 and 2 present in all mature spores. Layer 3 laminate, smooth, light yellow to yellow ochre, (0.7-)1.6(-2.2) μm thick. In crushed spores, layers 1 and 2 usually are adherent or sometimes separate from each other. However, the two layers easily separate from layer 3. No spore wall layers react in Melzer's reagent.

When observed under a dissecting microscope, spores of *G. xanthium* resemble small-spored isolates of *G. clarum* Nicol. & Schenck, *G. halonatum* Rose & Trappe, *G. lamellosum* Dalpé et al. and *G. manihotis* Howeler et al. These species produce yellow-coloured spores with a distinctive halo formed by one or two outer wall layers adherent to an inner laminate layer (Dalpé et al., 1992; Rose and Trappe, 1980; Schenck et al., 1984; Störmer and Morton, 1997). However, even the largest spores of *G. xanthium* are ca. two-fold (*G. lamellosum*) to four-fold (*G. halonatum*) smaller than typical spores of the fungal species compared here.

Using a light microscope, examination of spores crushed in a mixture of PVLG and Melzer's reagent readily separates *G. xanthium* from the other four species mentioned above. The spore wall of *G. xanthium* is composed of two, usually adherent rigid, permanent layers readily separating from a laminate innermost layer when crushed. However, the pigmented innermost laminate layer of *G. clarum*, *G. manihotis* and *G. lamellosum* spores is inseparably associated with a colourless, middle laminate layer overlaid with a short-lived, sloughing outermost layer that stains in Melzer's reagent. None of the spore wall layers of *G. xanthium* stain in Melzer's reagent. According to Rose and Trappe (1980), the laminate layer of *G. halonatum* spores is associated with only one, thick, hyaline outer layer that roughens with age. Additionally, the laminate layer is ornamented with short, crowded spines projecting into the hyaline layer (vs. a smooth, laminate layer in *G. xanthium*).

17. *Scutellospora dipurpurescens* Morton & Koske

n=10:

This fungus was found associated only with roots of the dune plant *C. drummondii*. In Poland, *S. dipurpurescens* has been the most frequently encountered species in dunes of the Słowiński National Park (Tadych and Błaszowski, 2000) and dominated in soils of the Hel Peninsula (Błaszowski, 1994). This species also frequently occurred among roots of plants of inland dunes of the Błędowska Desert (Błaszowski and Tadych, pers. observ.).

18. *Glomus* 125

n=1177, 1179, 1180, 1181, 1182, 1184, 1188, 1191, 1192, 1193, 1194, 1196, 1197, 1201, 1202, 1208, 1210, 1211, 1212, 1213, 1215, 1217, 1218, 1220, 1221.

Spores in aggregates; hyaline; globose to subglobose; (33-)44(-55) μm diam; sometimes ovoid; 20-45 x 30-60 μm . *Spore wall structure* consists of two hyaline layers (layers 1 and 2). Layer 1 evanescent, (0.5-)0.7(-0.9) μm thick before decomposition, tightly adherent to layer 2, usually absent in mature spores. Layer 2 smooth, laminated, (0.7-)1.6(-2.0) μm thick. Layers 1 and 2 not reacting in Melzer's reagent. Other species of the genus *Glomus* forming small, hyaline spores are *G. diaphanum* Morton & Walker, *G. laccatum* Błasz. and *G. occultum* Walker. However, spores of the three species compared with those of the *Glomus* morpho-species characterized above are smaller and have a different wall structure.

19. *Glomus* 126

n=177, 1180, 1182, 1188.

Spores occurring singly in the soil; yellow to yellow brown; globose to subglobose; (95-)140(-165) μm diam. *Spores* with one wall with four layers (layers 1-4). Layer 1 mucilaginous, hyaline, (0.5-)0.8(-1.0) μm thick, usually absent in mature spores. Layers 2 and 3 semiflexible, hyaline, smooth, (0.7-)0.9(-1.1) μm thick. Layer 4 laminate, yellow to yellow brown, (2.5-)4.7(-8.8) μm thick. Only layer 1 stains red to purple in Melzer's reagent.

Glomus 126 most resemble *G. intraradices*. The two species form spores similar in shape, size and colour. The main property distinguishing the fungi is the presence of two semiflexible layers in spore wall of the former fungus compared with one in the later species.

20. *Glomus* 130

n=1179, 1180, 1182, 1186, 1217.

Spores single in the soil; hyaline to pale yellow; globose to subglobose: (85-)120(-160) μm diam; sometimes ovoid; 70-90 x 95-150 μm . *Spore wall* composed of one wall with two layers (layers 1 and 2). Layer 1 hyaline, permanent, (0.7-)0.9(-1.1) μm thick, with straight or curved hyphae forming a mantle. Layer 2 laminate, hyaline to pale yellow, (2.5-)7.2(-9.1) μm thick.

Glomus 130 is most closely related to *G. tortuosum* Schenck & Smith, another species with spores covered with a hyphal mantle. However, *G. tortuosum* produces larger and darker-coloured spores (Schenck and Smith, 1982).

21. *Glomus* 131

Figs. 9-12.

n=1182.

Spores borne singly in the soil; yellowish white to golden yellow; globose to subglobose; (110-)128(-155) μm diam; sometimes ovoid; 110-150 x 135-190 μm . *Subcellular structure* of spores consists of one wall with three layers (layers 1-3). Outermost layer 1 hyaline, (0.7-)2.2(-4.6) μm thick, tightly adherent to layer 2, ornamented with thickenings or blistery outgrowths, 3.1-5.9 μm high, irregularly distributed on the spore surface; layer 1 sometimes either highly deteriorated or completely sloughed on separated patches of the surface of mature spores. Layer 2 yellowish white to golden yellow, smooth or slightly wrinkled, (0.7-)1.7(-2.0) μm thick, rigid, usually detached from layer 3 in crushed spores. Layer 3 laminate, smooth, hyaline, composed of very thin laminae, ca. 0.5 μm thick, easily separating from each other in crushed spores; (2.5-)7.7(-12.0) μm thick in intact spores, up to 15.7 μm thick after stratification of the laminae. None of the spore wall layers stain in Melzer's reagent.

When seen under a stereoscope microscope, spores of *Glomus* 131 most resemble those of *G. pustulatum* and *G. versiforme*. The three fungi produce spores similar in colour and size, and the ornamentation of the surface of *Glomus* 131 spores closely resembles that of *G. pustulatum* (Berch and Fortin, 1983; Daniels and Trappe, 1979; Koske et al., 1986).

Examination of spore wall structure readily separates the three fungi. The spore subcellular structure most markedly separating the fungi is their laminate layer. In

Glomus 131, it is hyaline and easily stratifies due to its exceptionally loose sublayers. In contrast, the laminate layer of *G. pustulatum* and *G. versiforme* consists of tightly adherent, coloured laminae. Additionally, while the laminate layer in *Glomus* 131 spores is the innermost layer in their 3-layered wall structure, that of *G. versiforme* is the second one in its 2-layered spores. The innermost layer of spores of *G. pustulatum* is a thin, flexible layer. Although the thickenings and outgrowths of spores of *Glomus* 131 and *G. pustulatum* are similar in appearance, size and distribution, they are formed by a hyaline layer in the former fungus and by a coloured layer in the latter species. The outermost layer of *G. versiforme* spores quickly sloughs and is rarely present in mature specimens. Finally, none of the species considered in this comparison possess the coloured, permanent layer 2 of *Glomus* 131 spores.

22. *Glomus* 132

n=1190.

Spores single in the soil; hyaline to pale yellow; globose to subglobose; (75-)110(-140) μm diam. *Spore wall structure* with two layers (layers 1 and 2). Layer 1 mucilaginous, 0.8-1.0 μm thick, rarely present in mature spores. Layer 2 laminate, 1.8-2.5 μm thick. Layer 1 stains red in Melzer's reagent. *Subtending hypha* hyaline to pale yellow, funnel-shaped, (3.9-)5.1(-7.8) μm wide at the spore base. *Pore* occluded by a septum, 3.1-5.8 μm wide, continuous with the innermost lamina of layer 2.

Spores of *Glomus* 132 most resemble those of *G. mosseae* due to the similarity in the shape of subtending hypha (Nicolson and Gerdemann, 1968). However, examination of spore wall structure readily separates the two fungi. Whereas the spore wall of *Glomus* 132 comprises two layers, that of *G. mosseae* consists of three layers.

23. *Glomus* 133

n=1190, 1212, 1215, 1219.

Spores single in the soil or sometimes in roots; pale yellow; globose to subglobose; (95-)160(-210) μm diam. *Spore wall* with two layers (layers 1 and 2). Layer 1 permanent, smooth, hyaline to pale yellow, (0.8-)1.2(-1.8) μm thick. Layer 2 laminate, smooth, pale yellow, (2.1-)5.2(-7.8) thick. Layers 1 and 2 not reacting in Melzer's reagent.

Glomus 133 may be confused with *G. fasciculatum* (Thaxter) Gerd. & Trappe emend. Walker & Koske when observed under a dissecting microscope. Examination of crushed

spores in a mixture of PVLG and Melzer's reagent under a light microscope readily distinguishes the two species. Although two outer spore wall layers of *Glomus* 133. and *G. fasciculatum* are similar, the former fungus lacks the flexible layer of the latter species (Walker and Koske, 1987). Additionally, spores of *G. fasciculatum* stain red in Melzer's reagent (vs. no reaction in *Glomus* 133).

24. *Glomus* 138

n=1219.

Spores single in the soil; orange; globose to subglobose; (65-)110(-155) μm diam; sometimes ovoid; 65-80 x 85-170 μm . *Spore wall* with three permanent layers (layers 1-3). Layer 1 hyaline to pale yellow, (0.8-)1.1(-1.5) μm thick. Layer 2 laminate, orange, (1.9-)2.5(-4.5) μm thick. Layer 3 hyaline, 0.8-1.4 μm thick. None of the layers stain in Melzer's reagent.

The most similar species to *Glomus* 138 is *G. pustulatum*. The two fungi form spores within the same range of shape, size and colour and have a spore wall composed of three layers (Koske et al., 1986). In contrast to the pustulate surface of *G. pustulatum* spores, that of *Glomus* 138 is smooth. Additionally, the innermost layer of the undescribed fungus characterized here is thicker than that of *G. pustulatum* (0.8-1.4 vs. <1 μm thick).

25. *Glomus* 139

n=1219.

Spores single in the soil; orange to red; globose to subglobose; (110-)160(-220) μm diam. *Spore wall* with three layers (layers 1-3). Layers 1 and 2 evanescent, hyaline, frequently present in mature spores. Layer 3 laminate, orange to red, covered with small warts. Layers 1-3 not reacting in Melzer's reagent.

Glomus 139 superficially resembles *G. constrictum*. Both fungi produce red spores with three spore wall layers. However, the surface of layer 3 of *G. constrictum* is smooth rather than warted as in *Glomus* 139 (Błaszowski, 1990, pers. observ.; Trappe, 1977).

Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycota) of Israeli soils

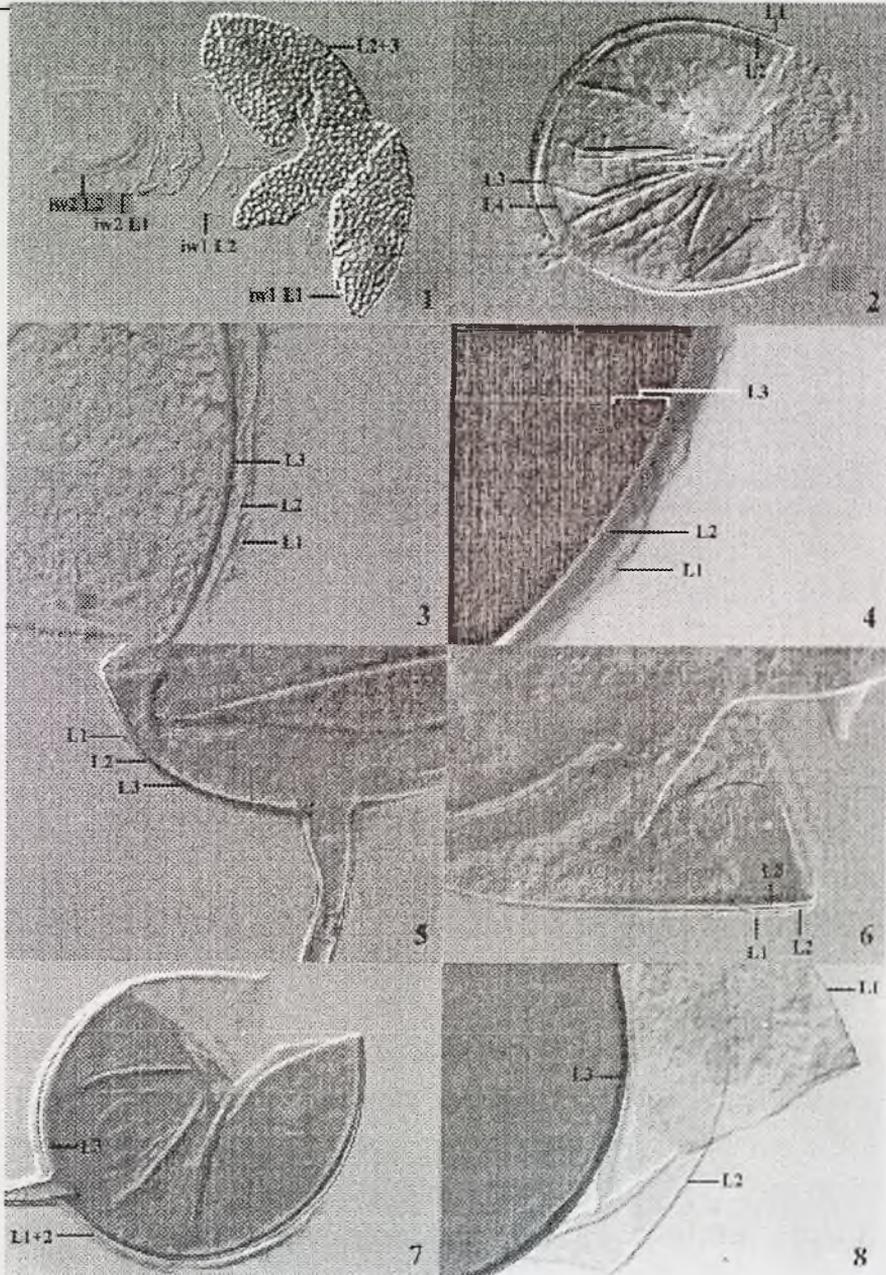
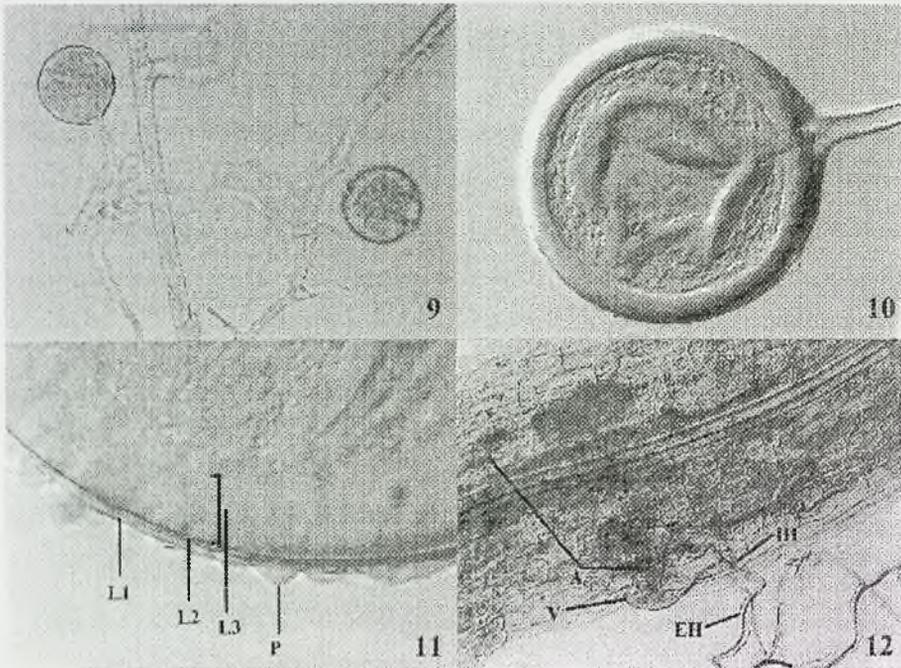


Fig. 1. *Acaulospora paulineae*. Outer and inner walls of spore crushed in PVLG, differential interference contrast (DIC). Spore wall layers 2 and 3 (L2+3), flexible inner walls (iw1 and iw2) with two layers (L1 and L2). **Fig. 2.** *Acaulospora trappei*. Walls of spore crushed in PVLG (DIC). Four layers of spore wall (L1-4). **Fig. 3.** *Glomus arenarium*. Spore wall layers (L) 1, 2 and 3 (DIC). **Fig. 4.** *Glomus constrictum*. Spore wall layers (L) 1, 2 and 3 (DIC). **Figs. 5 and 6.** *Glomus mosseae*. Spore wall layers (L) 1, 2 and 3 in Melzer's reagent (DIC). **Figs. 7 and 8.** *Glomus xanthium* (DIC) 7. Adherent spore wall layers (L) 1+2 and layer 3. 8. Spore wall layers (L) 1, 2 and 3.



Figs. 9-12. *Glomus* 131. 9. Intact spores with hyphae. 10. Intact spore (DIC). 11. Spore wall layers (L) 1, 2, 3 and (p) pustule (DIC). 12. Mycorrhizal structures. External hypha (EH), intraradical hypha (IH), arbuscules (A) and vesicle (V).

Acknowledgement. This study was supported in part by The Committee of Scientific Researches, a grant no. 6.P04C.015.13.

REFERENCES

- AMES R. N., LINDERMAN R. G. 1976: *Acaulospora trapei* sp. nov. Mycotaxon 3: 565-569.
- ANDERSON R. C., LIBERTA A. E., DICKMAN L. A. 1984: Interaction of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient. Oecologia 64: 111-117.
- BERCH S. M., FORTIN J. A. 1983: Lectotypification of *Glomus macrocarpum* and proposal of new combinations: *Glomus australe*, *Glomus versiforme*, and *Glomus tenebrosum* (Endogonaceae). Can. J. Bot. 61: 2608-2617.
- BEVER J. D., MORTON J. B., ANTONOVICS J., SCHULTZ P. A. 1996: Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. J. Ecol. 84: 71-82.
- BLASZKOWSKI J. 1990: Polish Endogonaceae. V. *Glomus constrictum*. Crypt. Bot. 1: 360-364.
- BLASZKOWSKI J. 1993: Comparative studies of the occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in cultivated and uncultivated soils of Poland. Acta Mycol. 28: 93-140.
- BLASZKOWSKI J. 1993a: Polish Glomales XII. *Glomus macrocarpum* Tul. & Tul. and *Glomus microcarpum* Tul. & Tul. Bull. Pol. Ac. Biol. 41: 29-39.

- BLĄSZKOWSKI J. 1993b: The occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in plant communities of maritime dunes and shores of Poland. *Bull. Pol. Ac. Sci. Biol.* 41: 377-392.
- BLĄSZKOWSKI J. 1994: Arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) of the Hel Peninsula, Poland. *Mycorrhiza* 5: 71-88.
- BLĄSZKOWSKI J. 1995: *Glomus corymbiforme*, a new species in Glomales from Poland. *Mycologia* 87: 732-737.
- BLĄSZKOWSKI J. 1997: *Glomus gibbosum*, a new species from Poland. *Mycologia* 89: 339-345.
- BRUNDRETT M. C., ABBOTT L. K., JASPER D. A. 1999: Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. I. Comparison of the effectiveness and specificity of different isolation procedures. *Mycorrhiza* 8: 305-314.
- BRUNDRETT M. C., JASPER D. A., ASHWATH N. 1999: Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. II. The effect of nutrient levels and host species on the isolatin of fungi. *Mycorrhiza* 8: 315-321.
- DALPÉ, Y., KOSKE R. E., TEWS L. L. 1992: *Glomus lamellosum* sp. nov.: a new Glomaceae associated with beach grass. *Mycotaxon* 43: 289-293.
- DANIELS B. A., TRAPPE J. M. 1979: *Glomus epigaeus* sp. nov., a useful fungus for vesicular-arbuscular mycorrhizal research. *Can. J. Bot.* 57: 539-542.
- DALPÉ Y. 1989: Inventaire et repartition de la flore endomycorhizienne de dunes et de rivages maritimes du Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Ecosse. *Naturaliste Can. (Rev. Ecol. Syst.)* 116: 219-236.
- DODD J. C., KRIKUN J. 1984. Observations on endogonaceous spores in the Negev desert (Israel). *Trans. Br. Mycol. Soc.* 82: 536-540.
- FRANKE, M., MORTON J. B. 1994: Ontogenetic comparisons of arbuscular mycorrhizal fungi *Scutellospora heterogama* and *Scutellospora pellucida*: revision of taxonomic character concepts, species descriptions, and phylogenetic hypotheses. *Can. J. Bot.* 72: 122-134.
- GERDEMANN J. W., NICOLSON T. H. 1963: Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.
- GREY W. E. 1991: Influence of temperature on colonization of spring barleys by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 137: 181-190.
- HAAS J. H., MENGE J. A. 1990: VA-mycorrhizal fungi and soil characteristics in avocado (*Persea americana* Mill.) orchard soils. *Plant and Soil* 127: 207-212.
- HETRICK B. A. D., BLOOM J. 1983: Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with native tall grass prairie and cultivated winter wheat. *Can. J. Bot.* 61: 2140-2146.
- GAZEY C, ABBOTT L. K, ROBSON A. D. 1992: VA mycorrhizal spores from three species of *Acaulospora*: germination, longevity and hyphal growth. *Mycol. Res.* 97: 785-790.
- GERDEMANN J. W., TRAPPE J. M. 1974: The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Myc. Memoir* 5: 1-76.
- GIANINAZZI-PEARSON V., TROUVELOT A., MORANDI D., MAROCKE R. 1980: Ecological variations in endomycorrhizas associated with wild raspberry populations in the Vosges region. *Acta Ecologica/Ecol. Plant* 1: 111-119.
- GIOVANNETTI M., NICOLSON T. H. 1983: Vesicular-arbuscular mycorrhizas in Italian sand dunes. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 80: 552-557.
- GIOVANNETTI, M., L. AVIO, SALUTINI L. 1991: Morphological, cytochemical, and ontogenetic characteristics of a new species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *Can. J. Bot.* 69: 161-167.
- HALVORSON W. L., KOSKE R. E. 1987: Mycorrhizae associated with an invasion of *Erechtites glomerata* (Asteraceae) on San Miguel Island, California. *Madrone* 34: 260-268.
- KORNERUP, A., WANSCHER J. H. 1983: Methuen handbook of colour. 3rd Ed. E. Methuen and Co., Ltd., London. 252 pp.
- KOSKE R. E. 1987: Distribution of VA mycorrhizal fungi along a latitudinal temperature gradient. *Mycologia* 79: 55-68.

- KOSKE R. E. 1988: Vesicular-arbuscular mycorrhizae of some Hawaiian dune plants. *Pacific Sci.* 42: 217-229.
- KOSKE R. E., GEMMA J. N. 1996: Arbuscular mycorrhizal fungi in Hawaiian sand dunes: Island of Kaua'i. *Pacific Sci.* 50: 36-45.
- KOSKE R. E., GEMMA J. N., JACKSON N. 1997: Mycorrhizal fungi associated with three species of turfgrass. *Can. J. Bot.* 75: 320-332.
- KOSKE R. E., HALVORSON W. L. 1989: Mycorrhizal associations of selected plant species from San Miguel Island, Channel Islands National Park, California. *Pacific Sci.* 43: 32-40.
- KOSKE, R. E., TESSIER B. 1983: A convenient, permanent slide mounting medium. *Mycol. Soc. Amer. News Lett.* 34: 59.
- KOSKE R. E., FRIESE C., WALKER C., DALPÉ Y. 1986b. *Glomus pustulatum*: A new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 26: 143-149.
- LAU T.-C., LU X., KOIDE R. T., STEPHENSON A. G. 1995: Effects of soil fertility and mycorrhizal infection on pollen production and pollen grain size of *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *Plant, Cell Environm.* 18: 169-177.
- MOHANKUMAR V., RAGUPATHY S., NIRMALA C. B., MOHADEVAN A. 1988: Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in the sandy beach soils of Madras coast. *Cur. Sci.* 57: 367-368.
- MOSSE B., STRIBLEY D. P., LETACON F. 1981: Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Adv. Microb. Ecol.* 5: 137-210.
- MORTON J. B. 1996: Redescription of *Glomus caledonium* based on correspondence of spore morphological characters in type specimens and a living reference culture. *Mycorrhiza* 6: 161-166.
- NICOLSON T. H., GERDEMANN J. W. 1968: Mycorrhizal *Endogone* species. *Mycologia* 60: 313-325.
- PORTER W. M., ROBSON A. D., ABBOTT L. K. 1987. Field survey of the distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil pH. *J. Appl. Ecol.* 24: 659-662.
- PUPPI G., RIESS S. 1987: Role and ecology of VA mycorrhizae in sand dunes. *Angew. Botanik* 61: 115-126.
- ROSE S. L. 1980: Mycorrhizal associations of some actinomycete nodulated nitrogen-fixing plants. *Can. J. Bot.* 58: 1449-1454.
- ROSE S. L., TRAPPE J. M. 1980: Three new endomycorrhizal *Glomus* spp. associated with actinorhizal shrubs. *Mycotaxon* 10: 413-420.
- SCHENCK N. C., PÉREZ Y. 1990: Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Plant Pathology Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, INVAM, Gainesville.
- SCHENCK N. C., SMITH G. S. 1981: Distribution and occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on Florida agricultural crops. *Soil Crop Sci. Soc. Florida, Proc.* 40: 171-175.
- SCHENCK N. C., SMITH G. S. 1982: Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia* 74: 77-92.
- SCHENCK N. C., SPAIN J. L., HOWELER R. H. 1984: Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. *Mycologia* 76: 685-699.
- STÜRMER S. L., BELLEI M. M. 1994: Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. *Can. J. Bot.* 72: 359-363.
- STÜRMER S. L., MORTON J. B. 1997: Developmental patterns defining morphological characters in spores of four species in *Glomus*. *Mycologia* 89: 72-81.
- STUTZ J. C., MORTON J. B. 1996: Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in arid ecosystems. *Can. J. Bot.* 74: 1883-1889.
- TADYCH M., BŁASZKOWSKI J. 2000. Arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) of the Słowiński National Park, Poland. *Mycotaxon* 74: 463-483.

- TRAPPE J. W. 1977: Three new Endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Sclerocystis clavispora*, and *Acaulospora scrobiculata*. Mycotaxon 6: 359-366.
- WALKER C., KOSKE R. E. 1987: Taxonomic concepts in the Endogonaceae: IV. *Glomus fasciculatum* redescribed. Mycotaxon 30: 253-262.
- WALKER C., MIZE C. W., MCNABB H. S. 1982: Populations of endogonaceous fungi at two localities in central Iowa. Can. J. Bot. 60: 2518-2529.
- WALKER C., TRAPPE J. M. 1993: Names and epithets in the Glomales and Endogonales. Mycol. Res. 97: 339-344.

Streszczenie: *Arbuskularne grzyby mikoryzowe (Glomales, Zygomycota) gleb Izraela.* W okresie od 5 do 16 grudnia 1997 roku zbierano próby korzeni i gleby ryzosferowej spod roślin uprawnych i nieuprawnych rosnących w różnych regionach Izraela w celu określenia występowania arbuskularnych grzybów mikoryzowych. Łącznie zebrano 49 prób. Następnie próby te użyto do założenia pułpkowych kultur wazonowych, w których rośliną gospodarzem była *Plantago lanceolata*. Po 6 miesiącach uprawy zarodnikowanie grzybów arbuskularnych stwierdzono w 39 kulturach. Wyodrębnione zarodniki reprezentowały 17 opisanych gatunków i 8 nie opisanych typów morfologicznych. Spośród opisanych gatunków, 10 są grzybami nowymi dla Izraela.

Author's address:

Janusz Błaszowski, Mariusz Tadych, Tadeusz Madej, Iwona Adamska, Anna Iwaniuk
Katedra Fitopatologii, Akademia Rolnicza w Szczecinie,
71-434 Szczecin, ul. Słowackiego 17. Poland.

Practical method of sprinkler irrigation scheduling in the Kujawy region

STANISLAW DRUPKA, JAN GRUSZKA, ANTONI KUŹNIAR
Institute for Land Reclamation and Grassland Farming at Falenty, Poland

Abstract: *Practical method of sprinkler irrigation scheduling in the Kujawy region.* In this paper, the field application depths of sprinkling in the years 1983-1990 at the Polanowice scheme near Kruszwica (the Kujawy region) were investigated. The centre pivot sprinkler system was used for sprinkling sugar-beet, maize-silage, winter and spring wheat, field bean, pasture and grasses. Also, movable pipes BK-10 and Wisla N-609 were applied.

The irrigation scheduling in the above mentioned scheme (1072 ha) was conducted by the Drupka balance method based on temperature and rainfall, measured daily during irrigation seasons at the Polanowice project. Indeed 2553 ha were under irrigation scheduling in this region. For the same period of time (1983-1990) calculations and simulations were made by computer model CROPWAT (Smith, 1992) which permits checking of the irrigation scheduling including the number of irrigations and water depths. For evaluation of the sprinkler irrigation scheduling the index of scheduling efficiency and yield reduction values to the potential yields were used. The actual yields and the yield increase due to sprinkling were evaluated.

The changing number of irrigations analysed at the Polanowice station shows that the scheduling of irrigation varies considerably depending on the crops and the growing season. And in the dry years the number of irrigations may reach 9 for sugar-beet and 12 for grasses. For each crop the Drupka practical method, which represents the actual irrigation practice in the Kujawy region, gave accurate results similar to the computer simulation produced by the CROPWAT model.

These computer calculations prove the suitability of irrigation scheduling in Polanowice by the balance method and confirm the advantages of this method in the operation of a sprinkler system.

Key words: sprinkler irrigation, scheduling, water balance, soil water retention, computer model

INTRODUCTION

Irrigation practices and scheduling procedures for crops grown in Central Poland are based on experimental data (Dzieżyc 1988), evapotranspiration estimation (Bac 1982, Roguski 1988), soil moisture balance (Drupka 1967, 1976, Gruszka 1996).

The latter procedure is based on the computation of the daily actual evapotranspiration for a given set of climatic, crop and soil data. The method uses simple auxiliary tables based only on daily temperatures and the water balance bookkeeping procedure.

The above procedure, presently in use in Poland, is compared with the results obtained from Cropwat, a computer-based simulation model for an existing 1072 ha project in the Kujawy region. In fact 2553 ha were under scheduling by the water balance method in this region.

Few studies have been done in Poland which apply Penman-based methods to the practical scheduling of irrigation schemes. The Polanowice irrigation scheme combines centre pivot, hand moved, side-roll and travelling gun sprinkler irrigation (using water drawn from Lake Gopło) for the irrigation of cereal crops, sugar-beet, maize, beans, green fodder and pasture. Average rainfall in the studied region is less than 500 mm/year. The area is covered by loamy soils including sandy loam and silt. Tile drains were installed before setting the irrigation systems.

Present irrigation practice in Central Poland is supplementary, in order to counteract drought which can be frequent and severe. Because of the possibility of precipitation in each month of Poland's growing season (April-September), it is not desirable to bring soil moisture in the whole profile back to the field capacity at the each time of irrigation. Normal practice is to bring the soil profile back to only 80 percent of the field capacity through irrigation and to allow a certain safety margin in case of rains shortly after irrigation. This minimise the possibility of soil leaching due to excess water during periods of rain. Therefore, shallow application depths in the range of 20-30 mm are recommended for most irrigated crops in Poland (Drupka 1976, Dzieżyc 1988).

METHODS OF INVESTIGATION

The scheme is located in the region of the lowest precipitation in Poland, lat. 52°38'30" N, long 18°17'20", cl. 87 m a.s.l. The mean annual precipitation amounts to 495 mm, (Kruszwica) of which 316 mm falls in the growing season (Table 1). In the dry years it reached as low as 394 and 246 mm respectively. The length of the growing season is 210 days. The soils are light loams, and often silty. The cropping pattern in the Polanowice irrigation scheme can be summarised as follows: cereals 36.1 %, tubers (sugar-beet) 16.5 %, fodder crops 26.6 %, beans 7.1 %, oil crops 6.7 %, other unirrigated crops 7 % (Gruszka, 1996).

Table 1. Hydrological characteristic of growing seasons during the time of investigation, (P) precipitation, (p) probability of occurrence evapotranspiration (ET_p) according to the Penman-Monteith formula

Year	Characteristic	(P) Rainfall IV-IX mm	(p) % Probab.	ET_p IV-IX	$ET_p - P$
1983	Dry	183,1	5,3	547,4	364,3
1984	Medium wet	343,4	58,0	426,4	83,0
1985	Wet	395,3	72,8	438,2	42,9
1986	Average	296,4	41,1	450,4	154,0
1987	Medium wet	377,2	68,1	377,0	-0,2
1988	Average	299,0	42,1	451,2	152,2
1989	Dry	85,2	6,5	457,8	372,6
1990	Medium dry	260	27,3	421,6	161,6

In the years 1983-1990 sprinkling by the practical balance method was made on the following crops: sugar-beet, maize silage, winter and spring wheat, field bean, pasture and grasses. For assessment of the irrigation practice the control yield was evaluated in irrigated and unirrigated plots. The yield was collected in 3-5 replications from the area of 1000-3000 sq. m. depending on the kind of crop. For sampling the same technology and machinery was used as under normal production conditions.

The irrigation scheduling was performed by the balance method (Drupka 1976) which is based on measured rainfall at a scheme. The method depends on systematic daily balance evaluation of soil water during the optimum period of irrigation, which is made in the special table. The decision about when to start irrigation is made 3-5 days before the balance reaches 0. The basic equation is as follows:

$$GERU + P_e + d = e_h T \quad (1)$$

where:

- GERU = effective soil retention [mm]
- P_e = effective rainfall [mm]
- d = application depth [mm]
- T = the number of days from the last irrigation (interval)
- e_h = daily consumptive use of water from the soil layer with controlled moisture.

The consumptive use of water is estimated from the tables which are different for each type of soil (Table 2).

Table 2. Daily consumptive use of water from the soil layer with controlled moisture (e_h mm) – the selected values (Drupka 1976).

Temperature °C	June		July	
	Field crops, grasslands, orchards		Field crops, grasslands, orchards	
	Subsoil Loam or silt	Subsoil Sand	Subsoil loam or silt	Subsoil Sand
	A	B	A	B
25	4,3	5,15	4,55	5,7
24	4,05	4,85	4,3	5,4
23	3,85	4,6	4,1	5,1
22	3,6	4,3	3,85	4,8
21	3,4	4,05	3,6	4,5
20	3,15	3,8	3,35	4,2
19	2,95	3,5	3,1	3,9
18	2,8	3,25	2,9	3,6
17	2,7	3,25	2,9	3,6
16	2,6	3,1	2,75	3,45
15	2,5	2,95	2,65	3,3
14	2,35	2,85	2,5	3,15
13	2,25	2,7	2,4	3,0

Irrigation according to this method is applied in the optimal period - in other words, in the time of the highest crop water requirements. If the weather condition and soil moisture status create a need for earlier sprinkling before the optimal period, such a situation fully justifies earlier irrigation. The balance sheets for each crop were prepared at the Irrigation Research Station IMUZ, in Polanowice, using local data on temperature and rainfall (Gruszka 1996). Also, the recommendations concerning the date and manner of irrigation for each scheme were prepared several days in advance. In average years, if the soil moisture in the spring was at field capacity, the beginning of irrigation was combined with growing stages of different crops, which had entered already into the critical period.

Analysis of the patterns of water use (dates and depths of water actually applied by the practical method) in the Polanowice irrigation scheme (the Kujawy region) yields insight into the water demand pattern used in supplementary irrigation in Poland.

Eight growing seasons starting from the very dry 1983 season until 1990 [including 3 wet (1984, 1985 and 1987) and 2 average seasons (1986 and 1988)] were investigated (table 3), using the CROPWAT program, version 5.6 which allows the existing irrigation practice to be evaluated for different climatic and soil conditions (Smith 1988). The procedure is based on a computation of daily potential evapotranspiration and water balance for a given set of climatic, crop and soil data (Clarke, Smith, El-Askari 1998).

A modified Penman-Monteith method was utilised to calculate daily potential evapotranspiration by using temperatures, humidity, wind velocity and solar radiation data (from the Polanowice meteorological station, Table 1).

An estimate of yield levels under a restricted water supply schedule is determined by the following equation (Doorenbos, Pruitt 1977): (2)

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_{max}}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_p}\right) \quad (2)$$

where:

Y_a	= Actual yield
Y_{max}	= Maximum yield
K_y	= Yield response factor
ET_a	= Actual crop evapotranspiration
ET_p	= Crop evapotranspiration with no limiting of water supply.

The above relationship (2) was used in Poland by Mosiej (1996) for studies on irrigated grasslands in the Ner valley. In order to evaluate the supplementary irrigation schedules several options given by the CROPWAT model were used with different kinds of timing and a fixed quantity to represent the amount of supplementary irrigation.

Seven crops and 2 irrigation options were simulated, with a total of 14 combinations covering 8 growing seasons (Table 3). For all crops a fixed application depths option was used for a soil with 185 mm of total available soil moisture (loamy soils).

Table 3

The practical method of sprinkler irrigation scheduling at the Polanowice project, compared to the results of the CROPWAT model

Plants and methods of scheduling	Year	No of irrig.	Application depth net	Sched. efficiency percentage	Yield reduction index percentage	Actual yield t * ha ⁻¹	Yield increase due to irrigation t * ha ⁻¹	Unit increase of yield per applied water	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sugar-beet:	1983	8	22	100	5,8	50,9	18,2	103	
	1984	2	24	100	0	41,4	4,3	90	
Balance method of S.Drupka	1985	no irrigation		100	0	42,3	-	-	
	1986	5	28	72,8	0	41,1	10,5	75	
	1987	3	26	53,1	0	41,2	5,7	73	
	1988	2	22	100	0	33,6 ⁽¹⁾	4,4	100	
	1989	9	25	100	1,1	40,4	16,8	74,7	
	1990	2	28	100	0	36,8	5,2	92,8	
Sugar-beet:	1983	9	22	100	0				
	1984	1	24	100	0				
	CROPWAT model 100% RAM	1985	0	0	100	0			
		1986	2	28	100	0			
		1987	0	0	100	0			
		1988	2	22	100	0			
		1989	9	25	100	0			
1990	2	28	100	0					
Maize-silage:	1983	5	25	100	7,9	51,6	27,0	216	
	1984	1	26	100	0	50,6	3,6	-	
Balance method of S.Drupka	1985	no irrigation		100	0	60,7	no irrigation		
	1986	4	25	100	0	68,4	14,8	148	
	1987	no irrigation		100	0	59,7	no irrigation		
	1988	no irrigation					58,2	no irrigation	-
	1989	6	26	100	0,4	56,7	29,3	188	
	1990	no irrigation					52,2	no irrigation	-
Maize-silage:	1983	8	25	100	0				
	1984	1	26	100	0				
	CROPWAT model 100% RAM	1985	0	0	100	0			
		1986	2	25	100	0			
		1987	0	0	100	0			
		1988	0	0	100	0			
		1989	7	26	100	0			
		1990	0	0	100	0,1			
Spring wheat:	1983	2	27	100	16,1	4,70	1,30	24,1	
	1984	no irrigation		100	0	5,63	no irrigation		
	1985	no irrigation		100	0	6,33	no irrigation		
Balance method of S.Drupka	1986	3	32	74,2	0	6,26	0,63	6,8	
	1987	2	25	83,0	0	6,44	0,57	11,4	
	1988	2	32	100	0	6,71	1,06	16,6	
	1989	4	26	100	0	6,33	1,72	16,5	
	1990	3	27	100	0	5,74	1,17	14,4	

Practical method of sprinkler irrigation scheduling in the Kujawy region

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spring wheat: CROPWAT model 100% RAM	1983	3	27	100	0			
	1984	0	0	100	0			
	1985	0	0	100	0			
	1986	2	32	100	0			
	1987	0	0	100	0			
	1988	1	32	100	0			
	1989	4	26	100	0			
1990	2	27	100	0				
Winter wheat: Balance method of S.Drupka	1983	3	21	100	5,2	7,50	1,30	20,6
	1984	no irrigation		100	0	7,82	no irrigation	
	1985	no irrigation		100	0	8,13	no irrigation	
	1986	3	25	91,2	0	8,39	0,51	6,8
	1987	2	30	86,8	0	7,21	0,48	8,0
	1988	3	27	100	0	7,29	0,73	9,0
	1989	4	27	100	0	7,96	1,35	12,5
1990	3	32	97,7	0	7,55	1,52	15,8	
Winter wheat: CROPWAT model 100% RAM	1983	4	21	100	0			
	1984	0	0	100	0			
	1985	0	0	100	0			
	1986	2	25	100	0			
	1987	0	30	100	0			
	1988	2	27	100	0			
	1989	4	27	100	0			
1990	2	32	100	0				
Field bean: Balance method of S.Drupka	1983	1	35	100	35,1	2,15	0,25	7,1
	1984	no irrigation		100	1,1	3,41	no irrigation	
	1985	no irrigation		100	3,0	3,27	no irrigation	
	1986	1	26	100	10,2	3,59	0,53	20,4
	1987	1	27	100	0	3,15	0,13 ⁽¹⁾	-
	1988	2	27	100	0	3,46	0,48	8,9
	1989	no irrigation		100	43,7	1,78	no irrigation	
1990	1	28	100	10,0	3,25	0,42	15,0	
Field bean: CROPWAT model 100% RAM	1983	6	35	100	0			
	1984	0	0	100	1,1			
	1985	0	0	100	3,0			
	1986	2	26	100	0			
	1987	0	0	100	0			
	1988	2	27	100	0			
	1989	0	0	100	43,7			
1990	2	28	100	0				
Pasture: Balance method of S.Drupka	1983	3	38	100	27,0	34,0	15,5	135
	1984	1	30	100	0,7	39,8	2,3 ⁽²⁾	-
	1985	0	0	100	6,1	39,1	no irrigation	
	1986	4	32	100	3,6	30,5	12,9	101
	1987	3	34	51,3	0	38,6	8,9	87
	1988	3	34	77,7	2,9	36,5	9,5	93
	1989	10	34	100	0,3	36,8	23,1	68
1990	2	32	100	5,6	32,9	8,3	130	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pasture:	1983	8	38	100	0			
	1984	2	30	100	0			
CROPWAT model 100% RAM	1985	0	0	100	6,1			
	1986	3	32	100	0			
	1987	1	34	100	0			
	1988	3	34	100	0			
	1989	9	34	100	0			
	1990	4	32	100	0			
Grass:	1986	5	27	84,6	7,2	91,2	23,6	175
	1987	2	34	61,5	1,0	98,6	11,4	168
Balance method of S.Drupka	1988	2	27	100	13,6	79,3	10,8	200
	1989	12	28	90,3	5,3	71,3	49,4	147
	1990	3	25	100	10,0	51,2	13,0	173
Grass:	1986	5	27	100	0			
	1987	3	34	100	0			
CROPWAT model 100% RAM	1988	3	27	100	0			
	1989	12	28	100	0			
	1990	5	25	100	0			

- 1) Lower yield caused by the change in sowing technique
- 2) Within error limit

The following time options were evaluated using the CROPWAT model:

- a) Date and irrigation depths are defined by the Drupka method in the Polanowice scheme. Irrigation was applied according to the actual field water supply schedule in 1983-1990 as provided by the user of the scheme.
- b) Critical soil moisture (RAM).

Irrigation is applied whenever the critical soil moisture content is reached at which readily available soil moisture (RAM) is exhausted and stress will appear. Critical soil moisture is defined by a depletion level (p), which may vary depending on a crop's rooting depth, evapotranspiration rate and soil type. This option was applied with the fixed depth alternative recommended in Poland.

- c) Rainfed agriculture.

Using monthly rainfall data, soil moisture storage was monitored under exclusive rainfall conditions. Yield reductions due to rainfall deficits were determined. The evaluation process used several criteria such as scheduling efficiency, yield level and rainfall efficiency.

RESULTS

Comparison of the number of irrigations in the existing Polanowice irrigation scheme (table 3) shows that the use pattern varies substantially over time (between crops and seasons). For each crop the number of simulated irrigation applications per season was found to agree quite closely with the number of irrigations applied by the practical method in the wet seasons (1984, 1985, and the very wet 1987).

The number of sprinklings varied from only 1 to 3. However, for dry and average seasons the time option defined by the practical method gave a much lower number of irrigations. For example, according to the CROPWAT model, sugar-beet needed 11 irrigations in 1983 as compared with 8 sprinklings actually applied in the field. This underirrigation led to a yield reduction of 9.5 % in the case of sugar-beet, and 7-8 % for maize and spring wheat. The maximum yield reduction (35 %) occurred for field beans, when only 1 irrigation was applied in 1983 instead of 8 as simulated by CROPWAT. However, yield reduction levels for the average and wet seasons agree closely with the options when irrigation is applied according to actual field data from the Polanowice irrigation scheme (Table 3). Irrigation schedule efficiencies of the supplied water, in most options, approached 100 %. In some cases they reveal overirrigation in the average and wet seasons of 1986 and 1987 for sugar-beet, spring wheat, pasture and grasses (Table 3).

CONCLUSIONS

The full set of evaluations shows that the practical method of sprinkling irrigation scheduling can give accurate results in Central Poland. The timing and amounts of irrigation correspond to those obtained from the CROPWAT model. Comparison of 2 supplementary water supply schedules shows that the application pattern may vary substantially in time during the irrigation season and between seasons.

For each crop the Drupka practical method, which represents the actual recommended irrigation practice in the Kujawy region, gave results similar to the computer simulation. The high seasonal irrigation depths obtained by the Drupka method in the dry year of 1989: [sugar-beet (225 mm), pasture (340 mm) and grasses (336 mm)] were wholly confirmed by the CROPWAT model.

Studies showed yield increases due to irrigation scheduling by the practical method even in the wet years, and the increase in the dry years reached the following high levels: sugar-beet 18,2 t/ha, maize 29,3 t/ha, spring wheat 1,72 t/ha, pasture 23,1 t/ha and grasses 49,4 t/ha. The unit increase of yield per mm of applied water was also high: sugar beet 103 kg/mm, maize 216 kg/mm and grasses 200 kg/mm. It has been confirmed that the Drupka practical method which uses basic data (temperature and rainfall) from a single climatic station still can be used successfully in sprinkler irrigation scheduling in Central Poland.

REFERENCES

- BAC S. 1982: Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce. PWRiL, Warszawa.
- CLARKE D., SMITH M., EL-ASKARI K. 1998: New software for crop water requirements and irrigation scheduling. *ICID Journal*, vol. 47, no. 2.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O. 1977: Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 24*, FAO Rome.
- DRUPKA S. 1967: Obliczanie zapotrzebowania wody przy projektowaniu nawodnień deszczownianych. Instrukcja Tymczasowa Ministerstwa Rolnictwa. Warszawa: IMUZ ss. 61 (in polish)
- DRUPKA S. 1976: Bilansowa metoda sterowania nawodnieniami deszczownianymi. *Mater. Instr.* 20. Falenty: IMUZ ss. 21 (in polish)
- DZIEŻYC J. 1988: Rolnictwo w warunkach nawadniania. Warszawa: PWN ss. 414 (in polish)
- GRUSZKA J. 1996: Znaczenie i warunki stosowania nawodnień deszczownianych w rolnictwie regionu Kujaw. Rozprawa habilitacyjna. W: Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. (in polish)
- MOSIEJ J. 1996: Metoda oceny wpływu wilgotności gleby i ewapotranspiracji na wysokość plonów w warunkach nawodnień. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* z.438: 141-146.
- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S. 1988: Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. W: Materiały Instruktażowe nr 66. IMUZ Falenty. (in polish)

SMITH M. 1992 CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage Paper 46, Rome: FAO ss. 132

Streszczenie: *Praktyczna metoda sterowania nawodnieniami deszczownicami w regionie Kujaw.* W pracy na podstawie danych polowych dotyczących terminów i stosowanych dawek deszczowania w latach 1983-1990, w stacji Polanowice k./Kruszwicy, dla upraw buraka cukrowego, kukurydzy silosowej, pszenicy jarej i ozimej, bobiku oraz pastwisk i traw w uprawie polowej, poddano ocenie efektywność bilansowej metody sterowania nawodnieniami deszczownicami. Do obliczeń symulacyjnych i porównań wykorzystano model komputerowy CROPWAT według M. Smitha, FAO, 1992 r., który umożliwia sprawdzanie harmonogramów nawadniania, w tym liczbę deszczowań i dawki wody.

Dla oceny sterowania deszczowania wykorzystano wskaźnik efektywności sterowania oraz wskaźnik redukcji wysokości plonu w stosunku do plonu potencjalnego. Poddano ocenie plony rzeczywiste i przyrosty plonów w wyniku deszczowania, które wystąpiły nawet w latach mokrych. Analiza ilości nawodnień deszczowniczych w stacji Polanowice wykazuje, że harmonogram nawodnień zmienia się znacznie w czasie dla upraw i sezonów wegetacyjnych, a w latach suchych liczba deszczowań może sięgać 9 dla buraka cukrowego i 12 dla traw w uprawie polowej. Obliczenia za pomocą modelu symulacyjnego CROPWAT wykazały prawidłowość sterowania nawodnieniami w Polanowicach przy wykorzystaniu metody bilansowej oraz potwierdziły zalety tej metody w eksploatacji deszczowni.

Authors' addresses:

Stanisław Drupka, Institute for Land
Reclamation and Grassland Farming (IMUZ)
Falenty 05-090 Raszyn

Jan Gruszka, IMUZ
Wielkopolska-Pomorski Research
Centre, al. Ossolińskich 12,
85-093 Bydgoszcz

Antoni Kuźniar, IMUZ
Małopolska Research Centre
ul. Ułanów 21B, 31-450 Kraków

The role of environmental management systems in protection of water resources in Poland

PIOTR HEWELKE, JUSTYNA SAMOL, JOANNA MAŁEK

Department of Environmental Engineering and Land Reclamation, Warsaw Agricultural University

Abstract: *The role of environmental management systems in protection of water resources in Poland.* The paper presents the concept of environmental management systems, a brief characteristic of formalised and non-formalised systems, the system structure, procedures and operation (based on the example of ISO 14000). The second part is committed to Polish experience in the field, presenting reduction of environmental effects achieved in five chosen plants that have implemented such systems with a special regard to water pollution and consumption.

Key words: environmental management, system, environmental impact, water quality, water consumption

INTRODUCTION

The quality of water in a river basin in Poland is predominately affected by industry that consumes about 8381 hm³ of water annual, a 75% of a total consumption. At the same time, industry produces 8269 hm³ of sewage, 1157 hm³ classified as requiring treatment. Of this volume, 681 hm³ undergoes only a mechanical treatment and 103 hm³ is discarded to the surface waters in crude form. Apart from effluents treated and not treated, industry releases to the atmosphere about 2.3 millions of tones of sulphur dioxide and 1.1 millions of tones of nitrogen oxides (GUS, 1998). These pollutants, washed out from the atmosphere by precipitation reach the earth surface and increase the adverse impact on water resources quality.

The industrial waste disposal is another source of effluents that cause deterioration of water quality. In environmental protection, particularly water resources protection, two basic approaches may be observed. The first one is to remove the negative effects on the environment caused by production and consumption. The second one, a widely

understood prevention. The first approach aims at keeping the volume of pollutants discarded to the environment below allowable emission levels, that are often based on present results of man's activities and ignore the long-term impact on ecosystem.

From an environmental engineering perspective, most methods based only or mostly on removal of negative effects are ineffective over a longer period of time.

Such methods should then be applied as a final stage of overall activities with strategic objective aiming at removal of causes of an unfavourable effect. Thus, the concept of environmental protection, realised through management systems directed to reduce threats and implement rational resource management, must be considered superior to the effect removal concept (Hewelke and Kacprzak, 1997).

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEMS

In quality management, including also management of environmental quality and safety, the following stages of operation can be distinguished:

- legislation based management,
- task-oriented management,
- improvement-oriented management,
- values-oriented management.

What is characteristic, each stage concept includes in its basis the concepts of stages below. These concepts are present in different formalised and non-formalised environmental management systems. An environmental management system may be defined as an organisation structure, division of competence, responsibility, processes and resources used to eliminate or minimise the adverse impact on the environment of a given unit. An example of a non-formalised system is a Waste Minimisation Opportunity procedure, developed by the US' Environmental Protection Agency. The procedure, referred to as Cleaner Production (CP), consists of a continuous application of strategies to reduce the resource consumption and minimise the waste generation in production processes. As far as a product is concerned, the procedure assumes the reduction of environmental impact during whole life cycle, i.e. from resource acquisition to its take-back phase. The crucial issue in organisation structure of a CP programme is the assessment phase, in which the chosen element of a production

process is being reviewed. The resulting environmental impact assessment finds a basis for an improvement programme by means of technology, resource, and product and organisation changes, aiming at waste reduction and recycling. The CP procedure is a continuous one because each of the resource streams entering production and each of the resource generation points undergoes examination. Besides, the successful preparation and implementation of a programme is followed by a return to the assessment phase, where new objectives are set and the already implemented solutions are evaluated.

Apart from recommended in 1999 by United Nations Environmental Programme (UNEP) Cleaner Production strategy, several other non formalised management systems exist, such as: Responsible Care, Green Lights, Strategies for Today Environmental Partnership or Comparative Risk Analysis. In order to harmonise the efforts in a field of environmental management; standards describing the requirements such systems should meet have been established.

A model solution is a British standard BS 7500 (British Standard Institutions, 1994) (Chelstowski, 1996). The standard served as a model for European Union guidance (Environmental Management and Auditing Systems - EMAS, 1995) and a series of international standards ISO 14000 (International Standard Organisation, 1996) (Wrzesińska, 1996). The aim of ISO 14000 standards is to provide a basis for a homogeneous environmental management system, that could be applied by an economic unit of any type and size, operating under any geographical and cultural conditions. An implementation of these standards by a company is a multistage process.

In a first phase, the company's management undertakes an obligation to improve the efficiency of environmental protection-related actions. Organisational actions and determination of measures for system implementation support this. Then, based on the company's field of operation review, its environmental policy is formulated and disseminated to the public.

In order to realise the accepted policy; a necessary organisational structure is created, characterised by a specific division of competencies and responsibility. In the following phase the methods to identify threats, to review and assess the environmental impact imposed by the company are developed. The standard obliges the company to record the

environmental effects caused by its activity, and also to keep a record of a current environmental legislation.

The environmental impact assessment, the record of effects and the financial and external conditions analysis provide a basis to define objectives and tasks, the realisation of which corresponds with the previously formulated environmental policy.

In the first phase the objectives and tasks are specified by means of technical and economic analysis and accepted for implementation by individual sections as partial programmes.

During the system operation, periodical checkouts of its efficiency and audits evaluating consistence of management processes with accepted procedures and guidelines play an important part. The standard obliges the company to keep a relevant record on the system's structure and operation. Such records should enable to evaluate the consistence of undertaken actions with the accepted policy and to estimate the scope the objectives and tasks have been realised within. An important procedure in the system is an operation checkout, requiring collection of environmental samples and relevant measurement instruments.

THE EFFECTS OF IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESSES

The most often applied non formalised environmental management system in Poland is Cleaner Production. It has been already implemented by over 600 companies in different interests and it is popularised by Polish Cleaner Production Center, submitted to Polish Federation of Engineering.

It is estimated that the system actions undertaken by companies that had implemented CP in a period 1991-1996 have resulted with, among other things, a 25% average reduction of sewage, solid waste and emission to the atmosphere (SO_2 , NO_x , particulate matter) (Nowak, 1997). The other important results of CP implementation are significant savings in resources, especially water and energy.

One of the CP leaders is Pulp and Paper Mill in Swiecie. The organisational and modernisation activities taken by this company as a part of a CP programme, after only

one year of operation have allowed significant water savings, improvement in quality of sewage and reduction of emission to the atmosphere (table 1) (Libecki, 1993).

Table 1. Emission reduction achieved in Pulp and Paper Mill in Świecie during the first year of Cleaner Production system operation.

Resource or effluent stream undergoing reduction	Before CP implementation	After a yearly function of CP	Reduction [%]
Average daily consumption of fresh water [10 ³ m ³ /day]	180	150	23
ChOD in sewage [t/day]	65	51	22
Suspension in sewage [t/day]	27	23	15
Emission to the atmosphere from technological processes as a % of total emission	42	26	16

During the years that followed, the projects have been realised, concerning, among other things, reduction of sulphur dioxide emission (50%), sulphuretted hydrogen and mercaptanes (76%), use of waste as an energy source (bark, sawdust) and, as calcium fertilisers (caustic sludge, coagulation sludge and decarbonization residues), in agriculture. Apart from these, the activities aiming at further reduction of fresh water consumption and sewage volume have been continued.

According to the basic rule of CP, all the resources entering production and all the points where waste is generated undergo a continuous inspection. A consequent realisation of CP has also brought the company significant financial benefits as a result of, among other things, decrease in water consumption payments, payments for ChOD load and emission to the atmosphere.

Realisation of a CP programme by industrial facilities founds a good basis for implementation and certification of an ISO 14001 system. As examples of consequent environmental policy can be mentioned, other, Amica Wronki (ovens, refrigerators), Philips Lighting Poland (fluorescent lamps and lighting systems) and Fabryka Kabli Ożarów (wire, telecommunication wire). The Amica company in the first stage

modernisation of management process had implemented the quality system ISO 9001. Subsequently, the company introduced an environmental management system ISO 14001, acquiring in both cases relevant certificates. As a result of implementation of an overall environmental policy in the area of water and sewage management, the company has reduced the water consumption from 0,68 to 0,27 km³ (by 60%) and the sewage volume from technological processes from 0,54 to 0,18 km³ (by 67%) counted for 1000 production units. The environmental effects of ISO 14001 implementation in Philips Lighting Poland are predominately: reduction of NO_x, SO₂, CO, halones and particulate matter emission to the atmosphere, and a radical change in a solid waste management structure. As far as NO_x and SO₂ pollutants, the main causes of "acid rains", are concerned the achieved emission reductions reached correspondingly 66 and 76%. In case of solid waste management, the efficient utilisation factor has reached 99%.

One of the most important initiatives of Philips Lighting Poland is a system of collection and processing of used up fluorescent lamps, posing a serious threat for the environment due to mercury content.

Fabryka Kabli Ożarów SA possesses a management system compliant to the ISO 9001 standard and was among the pioneers of Cleaner Production implementation followed by the environmental management system ISO 14001. As a result of overall integrated actions of quality and environmental systems, the water consumption and sewage discharge volume have been reduced by, correspondingly 43 and 53%, with a complete liquidation of cooling sewage discharge. The company has also managed to realise the declared in environmental policy reductions of nitrogen dioxide by 80% and sulphur dioxide by 95%.

A similar leader in quality and environmental management is ABB ELTA Ltd. in Elbląg (design, production and installation of heating networks). The company initially had implemented a management system compliant to BS 7750 (there was no ISO standard by the time) and then, in 1997 was the first company in Poland to obtain an ISO 14001 management certificate.

What is characteristic for management process in ABB ELTA is an integrated attitude towards quality and environmental management.

As a consequence of such attitude the common policy towards quality and environment was formulated, resulting with appointment of common objectives and a common quality record, as well as procedures applied in these both areas of management.

The adopted approach corresponds to the latest world trends, expressed in, so-called, Total Quality Management concept that includes also safety issues.

CONCLUSION

The quality of water resources is very strongly affected by industry, its most important consumer. Therefore, the prevention measures undertaken in this field result with significant benefits both in improvement of water quality and more effective management of its available resources. The up to now experience shows, that, due to their complexity, the management systems make a very efficient tool in water protection.

The application of environmental management system to a production process in case of water resources means implementation of relevant changes in technology and organisation, that would lead to continuous reduction of, among other things, water consumption, sewage volume and load of pollutants and other emissions, directly or not affecting the quality of water. The discussed management systems characterising themselves with positively preventive relation towards the environment make at the same time an element shaping the economy of a company. The protection of the environment and resources, treated as a management issue may influence vitally the company's cost structure, by resource, energy consumption and treatment costs reduction.

Apart from the direct, production process-related financial benefits, a company implementing an environmentally conscient policy may achieve substantial benefits in marketing, due to improvement of its public image. A possession of an environmental management system certificate becomes a requisite for access to the market, as well as quality certificates. Such situation takes place recently, despite the voluntary character of implementation of both formalised and non-formalised systems. The launch of environmental protection actions improves the relations between the company, the authorities and local community. This facilitates acquisition of relevant permits and

rights and increases the access to capital. In a field of not formalised environmental management systems implementation, Poland possesses a vital experience in Cleaner Production programme operation. The application of formalised systems and certification procedures are in their early stage. The accredited body in this field in Poland is Polish Centre for Research and Certificate (Polskie Centrum Badań i Certyfikacji).

REFERENCES

- CHELSTOWSKI B. 1996: Czystsza produkcja a sformalizowane systemy zarządzania środowiskiem. , "The Proceedings of First Cleaner Production International Conference" Rydzyna, Poland, p. 117-126.
- HEWELKE P., KACPRZAK D. 1997: Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. , "Edukacja podyplomowa w zarządzaniu środowiskiem wiejskim", Hewelke P., SGGW, p. 9-15
- WRZESIŃSKA E. 1996: System zarządzania i jego certyfikacja według norm ISO 14000. , "The Proceedings of First Cleaner Production International Conference" Rydzyna, Poland, p. 127-133.
- LIBECKI E. 1993: Problematyka ochrony środowiska w ZCiP "Celuloza" S.A. Świecie., Przegląd Papierniczy No 2, p. 57-60.
- NOWAK Z 1997: Cleaner Production – Czystsza Produkcja. UNEPIE/PAC No 4. Ochrona Środowiska 1998. Informacje i opracowania statystyczne GUS.

Streszczenie: *Rola systemów zarządzania środowiskiem w kształtowaniu i ochronie zasobów wodnych w Polsce.* Ochrona zasobów wodnych odbywa się na dwóch poziomach zarządzania. Pierwszy stanowią działania w kierunku minimalizacji zużycia i zanieczyszczenia wód, natomiast drugi obejmuje działania związane z ich odnawianiem. Na jakość i zużycie zasobów wodnych w szczególności oddziałuje przemysł, który jest ich największym konsumentem. W pracy przedstawiono ramowe zasady funkcjonowania systemów zarządzania środowiskiem, stanowiących struktury organizacyjne oraz procesy służące do wyeliminowania lub minimalizacji oddziaływania na środowisko procesów produkcyjnych. Zaprezentowane efekty ekologiczne wdrożeń systemów zarządzania środowiskiem przejawiają się w szczególności racjonalizacją zużycia zasobów oraz ciągłym ograniczeniem emisji do środowiska. Systemy te przyczyniają się istotnie do poprawy jakości oraz efektywniejszego gospodarowania zasobami wodnymi, stanowiąc ważne narzędzie służące realizacji zrównoważonego rozwoju.

Autor's address:

Piotr Hewelke, Justyna Samol, Joanna Malek
Katedra Kształtowania Środowiska, SGGW Warszawa
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166, Poland.

Soil water reserves dynamics in a different soil suitability complexes considering winter wheat leaf area index and dry matter accumulation

JANUSZ IGRAS

Institute of Soil Science and Plant Cultivation Pulawy

Abstract. *Soil water reserves dynamics in different soil suitability complexes considering winter wheat leaf area index and dry matter accumulation.* The regression models of soil water reserves considering leaf area index (LAI) and winter wheat dry matter accumulation are presented. Monitoring of soil moisture and plant biometrical measurements were carried out in 5.4 ha productive field on a 24 x 24 m grid. The content of soil water up to 1 m depth was measured in 10 day intervals by means of neutron probe provided with date logger. At the same terms LAI and dry matter accumulation were measured. Significant correlation between the LAI and dry matter production to water reserves was found during shooting to flowering. The soil water reserves to a depth of 60 and 100 cm decreased with increasing LAI and dry matter accumulation. The water reserve decrease with LAI and dry matter increas was dependent on the soil suitability complex.

Key words: regression models, water reserve, leaf area index, plant biomass of winter wheat

INTRODUCTION

The crop biomass is depend on quantity of accessible water for plants, especially in critical phases of their growth (Doorenbos 1979 and Igras 1998). In that means the course of soil moisture in vegetative season is very important for respect of crops yield. However executing of immediate measurements of soil moisture in plants canopy is much difficulties from regard on their labour-consuming - at use of traditional methods, and also from regard on high cost of undestructive methods.

Besides frequency of measurements both in spatial arrangement how also in each levels of profile is enough arduous. More and more often so seeks oneself of indirect methods, which would make possible estimation of soil moisture across measure vegetable parameters or their estimated characterizations (Anstay 1990, Faber 1996 and Gardner

1983). Descriptions or else development analyses of plants did not find as autonomous uses in quantitative methods of estimation conditions of vegetation.

The influence of soil moisture is very clearly for photosynthesis surface of plants and leaf area index (LAI) (Benbi 1994 and van Keulen 1986), because shortage of water causes acceleration of leaves decay, and indirectly LAI reduction. With plants biomass increase the soil water depletion is going up together and limited her accessibility (Doorenbos 1979 and Igras 1998).

The aim of the research was estimation of LAI and increase of plants biomass influence for water reserve storage in profile on the field of winter wheat cultivated on different soil suitability complexes.

METHODS OF INVESTIGATION

The field experiment was carried out in 1998 year on productive field (5.4 ha) of winter wheat (cv. Almari) in Experimental Station Baborówko (voivodship Wielkopolskie – central part of Poland). Soil moisture and also plants biometrical measurements were carried out in regular 24 x 24 m grid in the course of vegetation period with frequency 10 days. In whole field were 101 measuring – points (fig. 1). The every each points were marked in lasted manner making possible identification any time.

The content of soil water up to 1 m depth was measured in 10 day intervals by means of neutron probe provided with date logger on 7 profile depths: 20, 30, 40, 50, 60, 80 and 100 cm. At the same terms LAI and dry matter accumulation were measured. The plants were taken on from area of 0.25 m² in nodal nets points (characteristic for each soil complexes) 485, 488, 490, 494, 497 for dry matter estimation.

The experiment was localised on the different soil type: pseudopodsolic soil, braun and black earth typical. The soil physical properties (mainly granulometric composition) were depends on the soil type.

The every each measuring - points were differed, because soils of field belonged to 5 different complexes ie. to complex 2 – 24 points, to 4 – 47, to 5 – 16, to 6 – 11 and to 7 – 3 points. Each complexes were estimated at the help of synthetic coefficient of condition of agricultural land (soil suitability complex valuation) worked out by Witek (1981).

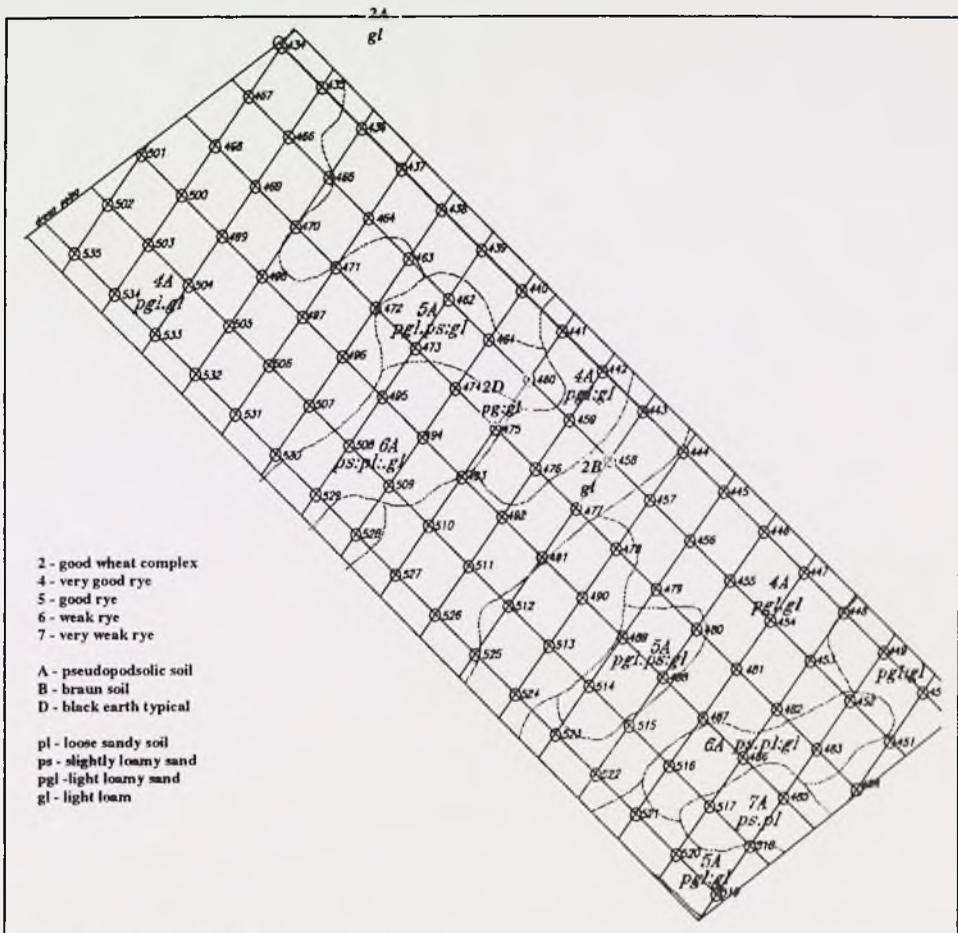


Figure 1. Field experimental map

RESULTS

The soil water reserves of two separated profile of layers was significantly differed on the each soil suitability complexes. For all complexes the statistical differences between water reserves was given in both separated layers with exception of complexes 2 and 4, 5 and 6 and 6 and 7. The water reserves on good wheat complex was twice higher in relation to weak rye, at what quantity of water in layer 0 - 60 cm showed almost lineal decrease in direction to more weak complexes. The water decrease in profile 0 to 100 cm was a little less regular from regard on a almost smaller trend consumption of water

in layer below 60 cm. Range of changes of soil water reserves in layer 0-60 cm was fluctuated from about 131 mm on complex 2 to 57 mm on very weak rye complex. The greatest variability of water content in profile 0 - 100 cm was observed on rye good complex.

Table 1. Average water reserves in the separated soil depths

Soil suitability complex	Soil suitability complex valuation pt.	Depth 0-60 cm			Depth 0-100 cm		
		Average water reserve mm	Variability range		Average water reserve mm	Variability range	
			+	-		+	-
2	80	100,3	171,7	40,0	204,7	299,2	122,3
4	70	97,2	176,8	37,9	214,5	305,7	116,4
5	52	80,4	156,3	26,2	184,3	290,1	80,7
6	30	71,8	130,3	26,5	164,4	246,3	81,9
7	18	55,2	87,2	28,7	140,1	191,2	82,1

The influence of winter wheat leaves area for soil water formation were carried out from of beginning of shooting to successes LAI maximum, ie. to phases of heading. In this as period follows almost lineal increase LAI what immediately puts into final crop dry biomass (Nieróbea 1998). The influence of accessibility and utilization of water by plants in phases from shooting to heading is also very important for potential crop yield (Doorenbos 1979 and Feddes 1978).

The dependences among soil water reserves or else with water consumption by crops and leaf area index are described largely at help of exponential function (Dieckkruger 1995, Feddes 1978 and Rawls 1985).

Tabela 2. Dynamic of soil water reserves in various soil suitability complexes depending on winter wheat LAI from shooting to heading (n=390)

ZW – water reserve (mm), K – soil suitability complex valuation (pt.)

Soil depth	Equation	R ²	RRMSE %
0-60 cm	$ZW = 103,52 - 5,82LAI + 0,66K + 0,09LAI^2$	61	18,9
0-100 cm	$ZW = 153,30 - 4,45LAI + 2,69K - 0,02K^2$	60	13,0

Water reserve (mm)

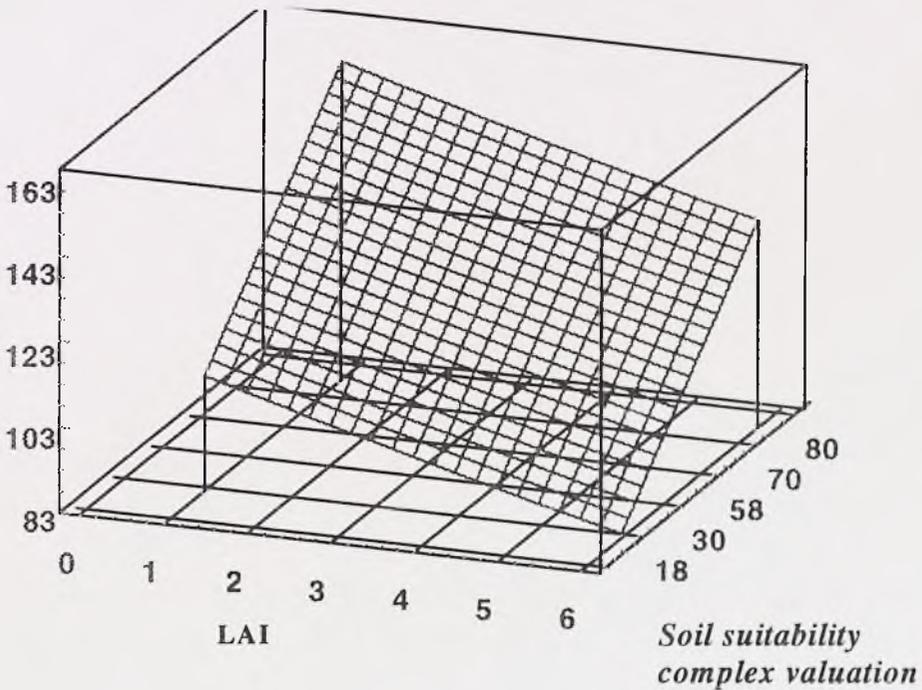


Figure 2. Soil water reserve in the depth 0-60 cm in various soil suitability complexes considering LAI from shooting to heading

The significant was made both for water reserves and complexes, also LAI in phases from shooting to heading (tab. 1, figs. 2 and 3). One obtained for layers from 0 to 100 cm a little better function fitting for given real data from measurements, from regard on

smaller changes quantities of water in the bottom soil layers. Greatest soil water reserve was given on the soils of winter wheat good (soil suitability complex valuation - 80) and very good rye (soil suitability complex valuation - 70) complexes, at fully developed leaves area. Soil water reserve in profile from 0 to 100 cm on the complex 7 (soil suitability complex valuation - 18) for LAI maximum was about 100 mm less than water content of soils on good wheat complex at fully developed leaf area index.

Water reserve (mm)

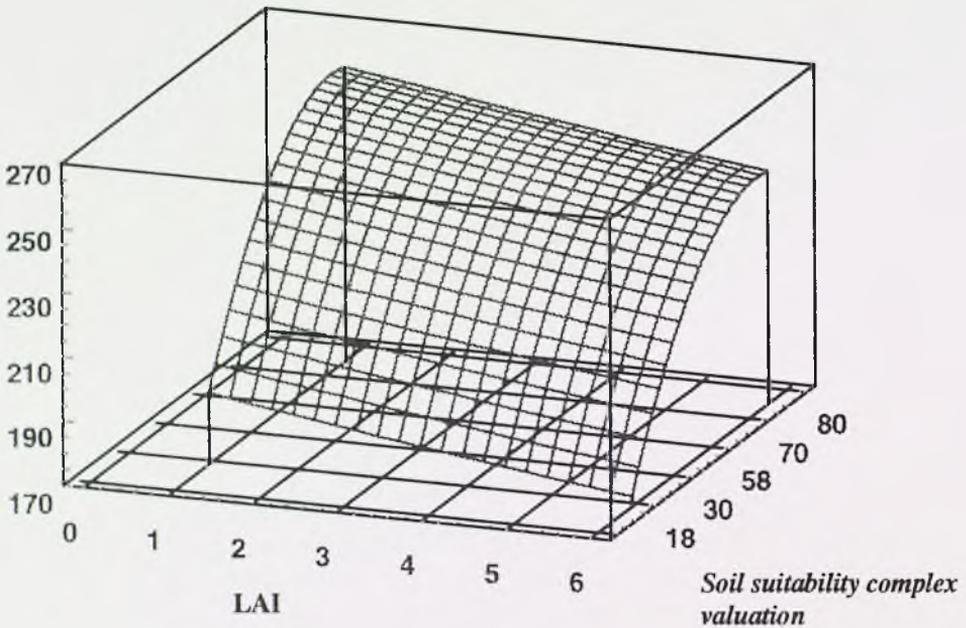


Figure 3. Soil water reserve in the depth 0-100 cm in various soil suitability complexes considering LAI from shooting to heading

The influence of dry matter increase for soil water reserves, similarly as for LAI, was diverse on each soil complexes (tab. 3). Soil water reserves decreases with increasing of dry matter of winter wheat accumulation (figs. 4 and 5). The function fitting was a little better than for LAI ($R^2 = 73$ and 82). Relative standard errors of equalizations for soil water reserves in profile 0-100 cm were less from 15 %. In the profile from 0 to 60 cm reserve of water on complex 2 (soil suitability complex valuation - 80) for LAI

maximum was about 100 mm greater than soil water content of most weak complex i.e. very weak rye at weakly fully developed leaf area. In the layer 0 - 100 cm differences was yet more distinct and reached to 150 mm (fig. 5).

Table 3. Influence of winter wheat dry matter accumulation rate in various soil suitability complexes on water reserve ZW – water reserve (mm), K – soil suitability complex valuation (pt.), SM – dry matter (q/ha)

Soil depth	Equation	R ²	RRMSE %
0-60 cm	$ZW = 56,41 - 7,40SM + 1,03K + 0,44SM^2 - 0,06SM \cdot K$	73	14,3
0-100 cm	$ZW = 142,43 - 14,42SM + 1,98K + 0,44SM^2 - 0,009K^2$	81	9,3

Water reserve (mm)

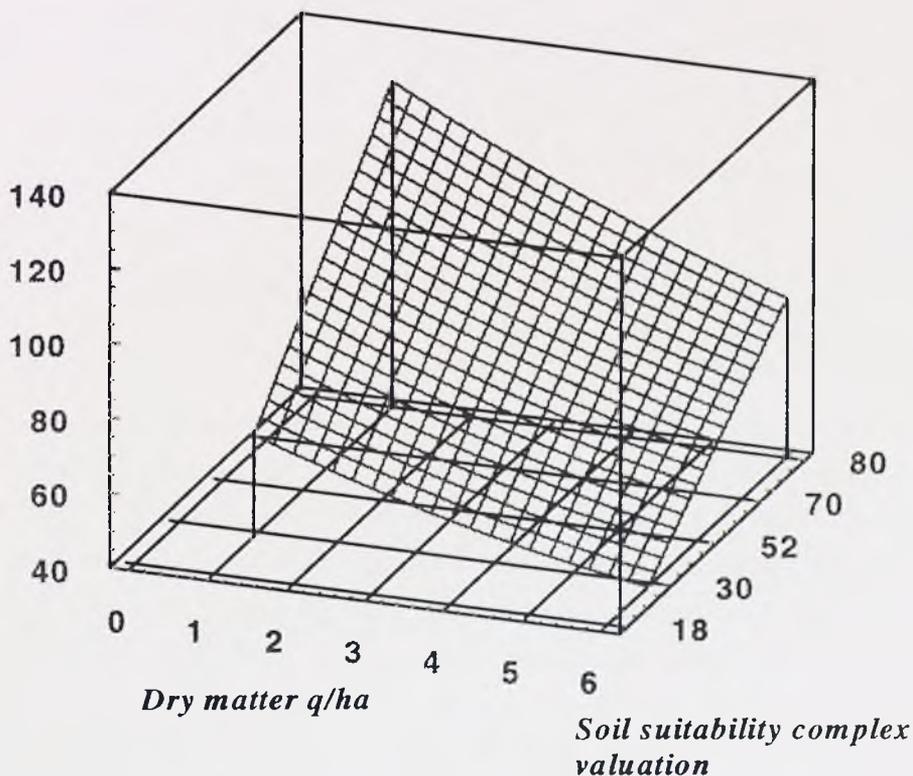


Figure 4. Soil water content in the depth 0-60 cm in various soil suitability complexes considering winter wheat dry matter accumulation

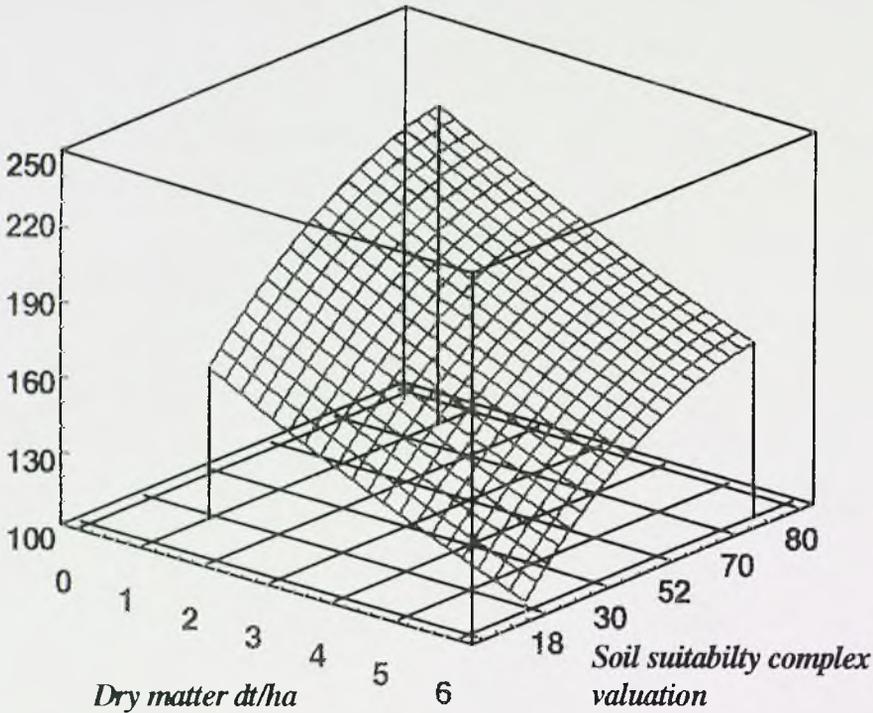
Water reserve (mm)

Figure 5. Soil water content in the depth 0-100 cm in various soil suitability complexes considering winter wheat dry matter accumulation

The relationships between plants assimilation surface, with dry matter accumulation and the quantity of water in soil and influence of these factors on crops yield appear self-evident, to however quantitative seizures do not surrender easily. With difficulty is as to go down with relative standard error of simulation below 10 % for given date from measurement. One obtained a little better fitting model describing changes of soil water reserves by dry matter than assimilation leaves surface. However is this intelligible, because reserve of water is function of water consumption, then in turn significantly correlation with increase dry matter accumulation then with area of leaves. Similar dependences obtained by Goss and other (1984) in Great Britain.

In work one presented non-typical approach for soil water reserve estimations - on the ground of development of plants parameters. However such approach to be well-

founded, especially from regard on fact of remote methods development estimation of canopy parameters also from regard more and more frequent cheaper research methods of estimation of environment parameters on the basis of plant development. This investigations can be useful to soil moistures estimation on the basis of bimetric plant measurements. The further investigations reaches necessity of research in this range, how also improvement the remote technics measurement of plant development.

CONCLUSIONS

1. Significant correlation between the LAI and dry matter production to water reserves in the depths 0-60 and 0-100 cm was found during shooting to flowering.
2. The soil water reserves to the depth of 60 and 100 cm decreased with increasing LAI and dry matter accumulation. The rate of water decreasing was dependend from different soil suitability complexes.
3. Differences of water content in separated soil profiles reached to 50 % among good wheat and very weak rye complex for a such oneself values LAI and dry matter of winter wheat.

REFERENCES

- ANSTAY T., H., FOROUD N., JAMA Y., W., 1990: *ICID Bulletin* 40/1, pp. 1-11.
- BENBI D., K., 1994: *J. Agric., Sci., Camb.* 122, pp. 13-20.
- DIEKKRUGER B., ARNING M., 1995: *Ecol. Model.* 81, pp. 83-85.
- DOORENBOS J., KASSAM A.H., 1979: *FAO Irrigation and Drainage Paper*, no. 33. Rome, pp. 1-176.
- FABER A., 1996: *Analiza stosowalności zagranicznych metod prognozowania plonów w warunkach Polski. II. Modele deterministyczne.* Wyd. IUNG, st. 43-93.
- FEDDES R., A., KOWALIK P., J. ZARADNY H., 1978: *Simulation of field water use and crop yield.* Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen.
- GARDNER W., R., 1983: *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production.* American Society for Agronomy, Madison, Wis., pp. 45-64.
- GOSS M., J., HOWSE K., R., 1984: *J. Agric., Sci., Camb.* 103, pp. 189-199.
- IGRAS J., JANKOWIAK J., 1998: *Fragm. Agron.* 2(58), str. 87-95.
- NIERÓBCA A., 1998: *Fragm. Agron.* 2(58), str. 33-45.
- RAWLS W., J. BRANKESIEK D., L., 1985: *Prediction of soil water properties for hydrological modelling.* In: *Proceedings of the symposium watershed management in the eighties.* Denver, pp. 293-299.
- VAN KEULEN H., WOLF J. 1986: *Modelling of agricultural production: wheather, soils and crops.* PUDOC, Wageningen, pp. 479.

WITEK T. 1981: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski według gmin. Wyd. IUNG A-40, str. 2-8.

Streszczenie. W pracy przedstawiono regresyjne modele opisujące kształtowanie się zapasu wody w glebach różnych kompleksów w zależności od indeksu powierzchni liści (LAI) i tempa przyrostu suchej masy pszenicy ozimej (odm. Almari). Monitoring wilgotności gleby jak również pomiary biometryczne roślin prowadzono na polu produkcyjnym o powierzchni 5,4 ha w regularnej siatce kwadratów o wymiarach 24 x 24 m. Uzyskane wyniki mogą być przydatne do symulowania wilgotności gleby jak również do prognoz plonów roślin.

Autor's address:

Janusz Igras

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

24-100 Puławy

ul. Czarторыskich 8

Elected methods for define of the soil losses as result of water erosion in mountain region

TOMASZ JAKUBOWSKI

Department Ecological Fundamentals Engineering of Environment, Agriculture University of Kraków

Abstract: *Elected methods for define of the soil losses as result of water erosion in mountain region.* In the paper are presented of the elected regional methods, which define intensity of water soil erosion in the mountain terrains. For the basin of upper Vistula it made according to Stonawski method (1993), universal and modified equation of soil losses (USLE and MUSLE) and also the Lipski method (1991) used at the calculation of greatnes of water erosion in Western Carpathian.

Key words: water erosion, soil erosion

INTRODUCTION

Water erosion is the process of destruction of surface soil layers by rainfalls (Ziemnicki, 1968). It rels on unstrick and tear off soil particle from undersol and their transfer to the other places. The decrease of soil particles is named denudation and their deposition is named accumulation.

Denudation contributes to the lower of hills and accumulation to the redimentation and shallowing valleys and equalising of surface (Lipski and Jakubowski, 1998). In the result accumulation of soil materials the valley bottoms are shallow and also deltas at the seaside. We can distinguish the natural soil erosion and accelerate, which is connection of natural erosion and human activity (Józefaciuk and Józefaciuk 1966, Ziemnicki, 1968).

For the effective struggle with the soil erosion we ought to know the mechanism of these process, intensity and place of occurrence. At present the science has at one's

disposal number methods about different exactitude of diagnosis erosion phenomenon (Koreleski, 1993).

The main aim of the paper is presentation of four methods to the soil erosion investigation. They are useful in the engineering practice and especially in agronomy and hydrotechnic. For the upper Vistula basin took advantage the method according to Stonawski (1993), and also universal and modified equation of the soil losses (USLE, MUSLE) and the method of Lipski (1991) for calculation of intensity soil erosion in the Western Carpathian.

CHARACTERISTIC SELECTED METHODS

A. FORMULA FOR UPPER VISTULA BASIN

Unwanted consequence of water erosion of soil is sedimentation of hydrotechnic objects, what makes difficult their function and even destroys (Lipski and Jakubowski, 1998), Stonawski (1993) presents the factors, which influence on the sedimentation of hydrotechnic objects. He elaborated formulas and counted yearly average sedimentation. (Zr) for the first period of fill up of reservoir in hm^3 . According to mentioned author the main factor which moves the river sediments is the rainfalls on the surface of river basin and in consequence greatness of river flow to the reservoir. Fundamental meaning has also the structure of utilisation of land for example the percentage share of arable lands grasslands, forest and hypsometry of watershed and density of hydrographic net.

The author of this method specified some other factors as: geological construction of watershed, soil percolation geomorphology of reservoir and the state of regulation streams in watershed. In elaborated formula authors did not emphasise of there factors from the following causes:

- a) sediment floats by water descents first of all from the surface water erosion of waste and in the minor part also from the terrace sediments which are very easy eroded,
- b) erosion of the river beds only in the little part sediments thy hydrotechnic objects because creates first of all gravel materials,
- c) geomorphology of water reservoir influences in the biggest grade on the products of abrasion processes, of which share is about 4 %. Besides the abrasion

products there are in unused zone of reservoir however the abrasion increases utility capacity of reservoir,

d) the state of stream regulation influences only in the little grade on the dimension of sedimentation because limits the movement of the drag sediments to the reservoir. The drag sediment is deposited especially in the water regression and upper. Therefore it his not influence on the utility capacity of reservoir.

In the light of this only some hydrologic parameters influence on the sedimentation of the water reservoirs. Stonawski (1993) pays attention, which belongs to there following: mean yearly flow to the reservoir from many years (SSQ), mean yearly flow to reservoir (ΣQ), qubature of the flood waves (V) and the group physiographic parameters.

Parameters characteristic to the watershed under sake hipometric.

Average elevation of basin $H_{d\text{cer}}$ for formula:

$$H_{d\text{cer}} = \sum F_i \cdot h_i / F_c \text{ (a.s.l.)}$$

where:

F_i - part surface, which there is between neighbour line, levels in km^2

h_i - average elevation of basin between line levels in m.a.s.l.

F_c - whole surface of basin in km^2

Inclination of watershed (I_d)

$$I_d = \sum L_{\text{cer}} \cdot h_w / F_c$$

where:

L_{cer} - average longevity of level line in km

h_w - elevation between level - lines in km

F_c - whole surface of basin in km^2

- **Coefficient of the watershed sloping (Ψ) according to Kajetanowicz**

$$\Psi = W / (F_c)^{0.5} \qquad W = 2(W_s - W_d)$$

where:

F_c - watershed surface in section researched in km^2

W_s - average elevation of the watershed in m.a.s.l.

W_d - elevation of section researched in m.a.s.l.

Parameter characteristic of the watershed for hydrografic sake.

- **Density coefficient of a water net (g):**

$$g = \sum L_{rz} / F_c \text{ (km/km}^2\text{)}$$

where:

L_{rz} - length of streams together with recipient in km

F_c - whole watershed area in km^2

Parameters of utilisation of the watershed terrain:

- **Area of arable lands (F_o) km^2**

- coefficient of arable lands in (%) $K_o = (F_o/F_c) \cdot 100$

- grassland area (F_p) in km^2

- pasture coefficient and meadow in (%) $K_p = (F_p/F_c) \cdot 100$

- forest area (F_l) in km^2

- afforestation coefficient in (%) $K_l = (F_l/F_c) \cdot 100$

On the base mentioned coefficients: arable lands, grassland and afforestation the author elaborated one coefficient K_z named coefficient of establishment of terrain and presents such dependence

$$K_z = K_l / (K_o + K_p)$$

F_c - whole area of watershed in km^2

K_z - coefficient of the terrain establishment

Stonawski (1993) researched correlation alliances and testation of parameters. Besides mentioned parameters he introduced also combinations for particular parameters:

- hydrologic parameter (α_n) defined as dependence:

$$\alpha_n = V_n / \sum Q$$

- debris parameter (Φ_r)

$$\Phi_r = Z_r / V_n$$

V_n - reservoir capacity at the normal level of fulfilment (NNP) in km^3

$\sum Q$ - yearly mean addluent to reservoir in km^3

Z_r - yearly mean sedimentation from the first period exploitation of water reservoir in km^3

After of analysing correlation alliances between elected parameters the author selected parameters for the formula. He received parameters: hydrologic of reservoir (α_h), rubbish (Φ_r), establishment coefficient of watershed (K_z) and slop coefficient (Ψ_r).

After determined approximate function [$y = a \cdot \exp. (b \cdot x)$] and in substitution ($a = 1,022$, $b = -0,053$) and transformations, he has received:

$$1) 100 Z_r / V_n = 1,022 \exp (-0,053 \cdot 100 V_n / \sum Q)$$

$$2) Z_r^h = 0,01 V_n \exp (-0,168 V_n / SSQ)$$

Both physiographic coefficients (Ψ , K_z) of slope and terrain establishment the author of the formula substituted only one value (K_f) specific as physiographic coefficient. After elaborated of function dependence $K_f = f(\Psi, K_z)$ he has received:

$$K_f = 0,1 \Psi \exp. (-0,168 V_n / SSQ)$$

B. USLE

System USLE (Universal Soil Loos Equation) was elaborated in USA and then adapted in Germany for the Bawaria conditions. Last this method is applied also in other countries of Europe. In our country the first researches made in Centre OPOLIS in Geodesy and Cartography Institute in Warsaw and also in IUNG (Institute of Cultivation, Fertilisation and Science Soil) in Puławy, where was made adaptation of this pattern to the conditions of loess up-lands.

USLE method gives possibilities definition the soil erosion intensification on the slope in t/ha during the year. The maps made on this base inform about losses of soil and permit on the protection of soil erosion and establishment of agriculture land. This system permits also on definition factors of the terrain establishment and intensity of soil erosion. Lets also to project lots about proper dimensions and their utilisation against soil erosion.

Exactitude of soil losses estimation is very big. The losses of soil we can calculate on the base of equation parameters. Possible is also use calculation by way very simple.

Supported on recognisable of the erosion elements and adequate mathematics pattery. This simple method takes advantage dates concerned in the tabelaric form.

Equation is constructed on the six factors of soil erosion:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P. (t \cdot ha^{-1}, year^{-1})$$

where:

- A - yearly soil losses in t/ha (average from many years). Soil losses origin from defined rain conditions soil morphology and land utilisation,

- R - yearly mean precipitation defined on the base many years or only from the summer period. In the simple way supported on the yearly sum of rainfall. This parameter does not include soil erosion from the snow smelt. German explorers propose that in the places, where there are very strong snow - smelt phenomenon, to the factor N add. 0,1 of the rainfall sum from the period 1.XII to 31.III. Factor R we can consider as:

a) descent N yearly rainfall: $R = 0,083 \cdot N - 1,77$ ($r = 0,942$)

b) descent N` of rainfall from the summer half year (1.V. to 31.X.)

$$R = 0,141 \cdot N` - 1,48$$
 ($r = 0,961$)

- Parameter K - facility on the soil erosion can be identified (in the case of completely recognising physical and chemical proprieties of soil) according to adequate mathematical pattern or monogram. In the simple way we can to do according to a kind of soil and humus content.

About a little resisted of soil against erosion decided first of all such factors as: granulometric composition (percentage share in the soil particles $< 0,002 - 0,1$), content of the organic matter, dimension of aggregates and percolation of the soil.

Parameters L i S, length and inclination of slope, at the use adequate mathematical pattern or monogram. Length of the erosion slope it is distance measurement to the slope direct-between the point where the flow begins on the surface and the point at the it food, where begins the material accumulation.

At irregular slopes must be divide on the identical parts about the same length, and inclination. For each part we must to know inclination and value of monogram. Each particular value of an index LS (origin from tables) we ought to multiply weigh coefficient.

- Parameter C. Land utilisation defines two main features and namely: kind of plant cover and cultivation of soil. This parameters is calculated according to relative soil

losses in dependence from the crop rotation, quantities of precipitation and their tension and also from date of phases of plant development.

- Parameter D concerns plant protection activities. Therefore we must to recognise which plan protection activities are appreciated and also parameters of terrain morphology according to tabelaric values. The antierosion activities it is first of all the cultivation of soil across to inclination and tape cultivation of soil.

Important factor of agriculture which lower soil erosion is terraces of the slopes. However the terraced terrain ought to be related at the parameter of morphology of terrain (α). Parameter P indicates on the soil losses at the application plant protection activities to the soil losses without of these activities (Koreleski, 1993).

C. MUSLE

MUSLE or Modified, Universal Soil Loss Equation, was elaborated on the base USLE. The shape of modified equation is in principle the same as universal equation but the rainfall factor (R) is substituted by run water factor, maximal tension of flow wave (Q and V), whole capacity of flood. In the way eliminate necessity calculate of the affluent factor of rubble (DR). Equation assume fashion:

$$A = a (V \cdot Q)^b \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P (t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1})$$

where:

a,b - a factors according to Williams as constants (a = 11,8; b = 0,56)

V - whole capacity of flood in m^3

Q - maximal tension of flow wave in $m (m^3 \cdot sec^{-1})$

AKLSCP - are the same like in USLE equation (Banasik and Madeyski, 1990)

D. METHOD TO CALCULATION OF THE WATER EROSION DIMENSION ACCORDING TORACJONAL FORMULAS IN WESTERN CARPATHIANS

On the base of the results of researches in the terrain Lipski (1991) elaborated the formulas to calculation of dimension the water soil erosion. This method is regional method and ought to be applicated especially on the Western Carpathian area in a little, mountain watershed. Formula takes attention five physiography parameters like: afforestation, index of afforestation developing according to Lambor, yearly mean

precipitation, mean elevation of watershed a.s.l., coefficient of changeable of the flow run during daylymean (Lipski 1991, Lipski and Jakubowski 1998).

$$1. ER = 10,5522 \cdot C_v^{0,1037} \cdot L^{0,5393} \cdot E^{-0,5679}$$

for the formula (1) $R = 0,347$; $F = 1,508$; $a = 0,231$

$$2. ER = 0,012556 \cdot P_s^{0,55798} \cdot H_s^{0,4793} \cdot E^{-0,3579}$$

for the formula (2) $R = 0,422$; $F = 2,022$; $a = 0,134$

$$3. ER = 0,012556 \cdot P_s^{1,301878} \cdot C_v^{0,20903} \cdot E^{-0,2699}$$

for the formula (3) $R = 0,422$; $F = 2,022$; $a = 0,134$

C_v - changeable coefficient of mean daily flow run

E - coefficient of developing of afforestation

H_s - average elevation of watershed in m.a.s.l.

L - % afforestation

P_s - yearly mean waterfall in mm.

After calculated of mentioned methods (formulas) and their statistical estimation according to correlation coefficients multidimensional and of Snedecor test (F) and it level of significant (a) it was found which of there formulas (2) about correlation coefficient multidimensional $R = 0,446$ and Snedecor test $F = 2,319$ significant on the level $a = 0,097$ and content about 10 % of influence other casual factors. Formula (3) has a little dependence and formula (1) very little.

CONCLUSION

1) Discussed methods though did not need long period of hydrological observation and knowing of the terrain. They are simple in calculation and give relatively little mistakes.

2) Advantages of the Stonawski's method (1993) are exact results concern yearly mean sedimentation of water reservoirs, low value of mistake in the comparison with other methods (3-8 %), fast and unsophisticated it utilisation in practice engineering. This method is typical regional method, which can be use only in the upper Vistula watershed.

3) Universal and modified equations are parametric methods for evaluation of the erosion losses of soil. Their application in practice need further researches in the terrain

in the aim of the verification of particular factors and their adaptation to the physiographic condition of our country. The researches of Banasiak and Madeyski (1990) show such need. In their opinion modified equation elaborated by Williams, gives in little watershed streams in Carpathian region higher results.

4) Formulas of Lipski (1991) give a prognosis of intensity water erosion of soils with the factors, which conditional this process. Therefore this methods is regional. It can be use on the non-controlled areas and especially in little mountain watershed (in each profile, which locks the watershed) in Western Carpathian.

REFERENCES

- BAC S. 1962: Leśne melioracje wodne. PWRiL, Warszawa.
- BANASIK K., MADEYSKI M. 1990: Próba wykorzystania zmodyfikowanego równania strat glebowych do oceny ilości rumowiska unoszonego w falach wezbraniowych małych zlewni karpackich. Post. Nauk Roln.
- JÓZEFACIUK A. I CZ. 1996: Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. Warszawa.
- KORELESKI K. 1993: Propozycja metody oceny natężenia erozji wodnej rzeczywistej w górach. Biuletyn Regionalny Zakładu Doradztwa Rolniczego AR w Krakowie.
- KORELESKI K. 1993: Możliwość zastosowania metody USLE na potrzeby urzędzenioworolne w Polsce. Przegląd Geodezyjny nr 1 r. LXV.
- LIPSKI CZ. 1991: Ocena natężenia erozji w małych zlewniach górskich w Karpatach Zachodnich Rozprawa habilitacyjna nr 156, AR Kraków.
- LIPSKI CZ., JAKUBOWSKI T. 1998: Struktura odkładów materiału erodowanego ze zlewni zamkniętych zaporami przeciwrumowiskowymi w małych zlewniach górnego dorzecza Raby. Bibliotheca Fragmenta Agronomica T.4A, s. 109-116.
- MICHALCZEWSKI M. 1987: Elementy środowiska geograficznego czynnikiem reżimu przepływów niskich w rzekach na obszarze Polski. Kraków.
- STONAWSKI J. 1993: Hydrologiczno-fizjograficzne kryteria w prognozie załadowania zbiorników retencyjnych w dorzeczu Górnej Wisły. Rozprawa doktorska PK w Krakowie. Kraków.
- ZIEMNICKI S. 1968: Melioracje przeciwoerozyjne. PWRiL, Warszawa.

Streszczenie: *Wybrane metody określające ubytki gleby w wyniku działania erozji wodnej w terenach górskich.* Przedstawiono wybrane metody regionalne określające natężenie procesów erozji wodnej gleb w terenach górskich: metodę dla dorzecza Górnej Wisły wg Stonawskiego (1993), uniwersalne i zmodyfikowane równanie strat glebowych (USLE i MUSLE) oraz metodę Lipskiego (1991) obliczania wielkości erozji wodnej w Karpatach Zachodnich.

Author's address:

Tomasz Jakubowski

Department Ecological Fundamentals Engineering of Environment

Agriculture University of Kraków

Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

Water management in the Wikrowo polder using a mathematical model and an advanced measuring system

EDMUND KACA, LESZEK ŁABĘDZKI, TYMOTEUSZ WALTER
Institute for Land Reclamation and Grassland Farming at Falenty

Abstract: *Water management in the Wikrowo polder using a mathematical model and an advanced measuring system.* The paper presents the model approach used in controlling water management in the Wikrowo polder located in the Żuławy region. The purpose of the model is to aid water management for keeping soil-water conditions within the required range. The pumping station and the water intake structure for irrigation is the main water control constructions. The present article focuses on the description of a model and a measuring system as well as the preliminary results of the verification of the model obtained during the one-year water management actions. The developed model is an operational polder water balance model. It determines the amount of water to be supplied to or to be pumped out from the polder in relation to the actual hydro-meteorological conditions. An advanced measuring system is implemented to provide the model with input data. On the basis of the results obtained in the first year of the implementation of the system the authors find the model and the measuring system as a highly useful tool for solution tasks of local water resources management.

Key words: water management system, polders, operation, mathematical model

INTRODUCTION

Water management system in the Wikrowo polder is a pilot one in the project of automatization of Żuławy realized by the Electrotechnical Institute in Gdańsk and the Institute for Land Reclamation and Grassland Farming at Falenty. The water management control system is operational, using the real time information approach (Brouwer, 1993). It consists of the water system, which is controlled using a controller, regulators and a measuring system. The mathematical model is a base for the controller. The pumping station and the irrigation water intake structure are the regulators. Water table depth sensors and a meteorological station constitute the measuring system, which supplies actual information concerning parameters describing the state of the water system and the disturbances.

The model is intended to aid the water management and the operation of the water system in the polder. Real time operation of the water system in the polder should result in keeping soil-water conditions within the range required for crops cultivated in the polder. The other purpose of the operational water management control is the minimalization of energy used by the pumping station and the effective use of water supplied to the polder for irrigation.

The operational polder water balance model was developed. The model determines the amount of water to be supplied to or to be pumped out from the polder in relation to the actual hydro-meteorological conditions. These conditions are described by groundwater levels and water levels in ditches as well as evapotranspiration and precipitation. A water balance of the saturated zone of soil with the time step of 1 day is calculated in the model. The water capacity of ditches and channels are also taken into consideration in a balance equation. Using the model one can determine the quantity of water that should be taken in when irrigation is needed and pumped out when the groundwater level is too high for crops cultivated in the polder. An advanced measuring system is implemented to provide the model with input data. Using the measured meteorological and water levels data the model is performed every 7 days calculating the water balance in the polder area with the time interval of 1 day. Based on the meteorological forecast the estimation of the quantity of water to be taken in or pumped out is done for the consequent 10-day period. The system operates with the fully automated pumping station, remotely sensed controlled using GSM network.

CHARACTERISTIC OF THE SITE

The Wikrowo polder is located near Elbląg as a part of the Fiszewka polder. The area of the Wikrowo polder amounts to 110 ha. The water system consists of a network of canals and ditches, the pumping station for pumping out drainage water to the Elbląg river, the main intake structure for supplying irrigation water from the Nogat river to the systematic ditch network and several small control structures for raising water levels in canals and ditches as well as for controlling water intake (irrigating the polder) and water runoff (draining the polder). For the purpose of water management control the polder is divided into three operational units: A1+A1, B and S, with the area of 48, 27

and 35 ha, respectively. Two cultivation types dominate in the polder: meadow and pastures in the units B and S and arable crops, mainly vegetables, in the unit A1+A2.

The soils in the area are peat-moorsh soils, which belong to the drying and periodically dry soil-moisture regime complex in the unit A1+A1, to the moist and periodically drying complex in the unit B and to the moist and periodically wet complex in the unit S (Okruszko, 1994). The required groundwater levels for keeping soil moisture content in the root zone within allowable limits (between the maximum and the minimum allowable moisture content), are presented in Tab. 1. The maximum groundwater depth H_{max} , controlled by irrigation, corresponds to the minimum allowable moisture content which is moisture content of the soil at a tension of pF 2.7 in the root zone. The minimum groundwater depth H_{min} , controlled by drainage, corresponds to the volumetric air content of 6% in the root zone. H_{min} in the unit A1+A1 corresponds to the 10% volumetric air content because vegetables and arable crops are cultivated in this area.

Table 1. The required groundwater depths in the operational units of the polder Wikrowo

Unit	Required groundwater depth (m)	
	H_{max}	H_{min}
A1+A2	0.70	0.35
B	0.85	0.30
S	0.95	0.35

DESCRIPTION OF THE MODEL

The polder is treated as a water system with disturbances (precipitation, evapotranspiration) and the one controlled input (water intake) and the one controlled output (water pumped out) as well as uncontrolled input (groundwater inflow recharging the polder) and uncontrolled output (groundwater outflow discharging the polder). Modelling flow rate and discharge through the pumping station and the intake structure at the given course of water stages at the polder and measured or predicted disturbances (precipitation, evapotranspiration) was the basic problem to be solved. It was the question of the form, elements and variables of the polder water balance equation which describes the behaviour of water resources in the given area (volume)

and time interval. The saturation zone of the separated unit with the representative observation well is the modelled area.

The basic formula expressing the relationship between the water characteristics of the unit is the water balance equation. It has been assumed that the equation with two variables (groundwater stage and ditch water stage) can be used with the accuracy sufficient for practical purposes. Three additional assumption have been made:

1. groundwater losses (groundwater outflow) are propotional to the groundwater stage
2. effective capillary rise is propotional to the precipitation deficit and the groundwater stage
3. areal water retention is characterized by the areal storage coefficient and the groundwater stage

The basic equation used in the model has the form (Kaca, in press):

$$Q \cdot \Delta t + \sum_{i=1}^n [Q_v + G] \cdot F \cdot \Delta t = \mu \cdot \sum_{i=1}^n \Delta H \cdot F_p + \sum_{i=1}^n \Delta h \cdot F_d \quad (1)$$

where: Q - discharge through the water intake structure or the pumping station (m^3/d), Q_v - vertical flow rate between aquifers (m/d), G - capillary rise flow rate (m/d), F - area of the unit (m^2), F_p - arable area (m^2), F_d - ditch area (m^2), H - groundwater level (m), h - water level in ditches (m), μ - areal storage coefficient, Δt - time interval, n - number of operational units.

Vertical flow rate between aquifers and capillary rise flow rate $Q_v + G$ is calculated as:

$$\begin{aligned} Q_v + G &= S [(z_p - z_s) - H] - (ET - P) && \text{dla } (z_p - z_a) < H \leq z_p \\ Q_v + G &= S [(z_p - z_s) - H] - (ET - P) \frac{H}{z_p - z_a} && \text{dla } 0 \leq H \leq (z_p - z_a) \\ Q_v + G &= S [(z_p - z_s) - H] && \text{dla } H < 0 \end{aligned} \quad (2)$$

where:

S - coefficient of groundwater losses, z_p - depth of reference level equal $H_{max} + z_a$ (m), z_s - groundwater level at which vertical flow rate between aquifers is zero (m), z_a - groundwater depth at which capillary rise satisfies crop water deficit (m).

A MEASURING SYSTEM

Designing the measuring system two aspects were been taken into account: type and number of measured parameters required for the model input data and the way of collecting, transmitting and processing data. After analysing these aspects and the requirements of the water management control system in the polder the measuring system was designed and implemented.

The measuring system installed in the polder consists of the network of measuring points of groundwater levels and ditch water levels. In each point the observation well is installed with the accurate self-recording instrument of a „Diver” type with a pressure transducer sensor and a data logger. Such instrument is also installed in the well at the short-crested weir with trapezoidal control section in the channel below the pumping station to measure the amount of water pumped out the polder (Dąbkowski et al., 1997; Kaca, 1996). To measure and regulate the flow rate and to determine the amount of water taken in to the polder the „Diver” instruments are installed in the wells above and below the intake structure. Groundwater levels and water levels in ditches are measured and recorded in the internal memory every 12 hours while water levels at the pump station and at the intake structure are recorded every 2 minutes.

The results of the measurements of water levels are the absolute pressure values. This means that they are not only the water pressure but also the barometric pressure. An additional „Diver” sensor is used to measure the compensation for barometric pressure. It records air pressure every 2 minutes. In order to arrive at the correct water pressure, the barometric pressure is subtracted. To achieve the actual water depth this difference is referenced to the water depth measured manually at the moment of instrument installation.

An electronic rain gauge with a data logger and a termo-hygrograph are installed in the polder for basic meteorological measurements.

CALIBRATION OF THE MODEL

The areal storage coefficient μ and the coefficient of groundwater losses S are the basic parameters in the water balance equation. They are specific for an area the equation is used for. Their values were determined with the methods of parameter identification.

The coefficient μ describes changes of ground and soil water retention in the zones of saturation and aeration resulting from changes of groundwater levels. The coefficient S is a proportional coefficient in dependence of groundwater losses on groundwater stage. It describes losses resulting from percolation to deeper aquifers, deeper canals, outside the area and water losses at hydraulic structures.

Because these parameters are unmeasurable they have to be determined using the derived water balance equation. The equation (1) is linear in relation to these two parameters, what means that they can be identified with the least square method. After transforming the equation (1) calculations were done during the ongoing water management control in 1999 using measured groundwater levels, water levels in ditches, flow rates and discharges in the intake structure and the pumping station as well as precipitation and meteorological parameters for the estimation of evapotranspiration.

The coefficient μ was identified in the range 0,002-0,019, the coefficient S in the range 0,000-0,005. These values approximates those identified in subirrigation-drainage systems in the Noteć river valley (Czaplak et al., 1995).

SOME TEST RESULTS OF THE 1999 YEAR

The operation of the water management control system consisting of the measuring system and the model started on the 1st May 1999 in cooperation with the Land Reclamation and Water Structures Board in Elbląg and the Electrotechnical Institute in Gdańsk. Water management was mainly effected by meteorological conditions, which are presented in Tab. 2. Precipitation and temperature approximated multi-year average values when taking the annual mean, but they varied considerably in months. May was critical for drainage of the polder. The amount of rainfall was almost two times greater than the annual mean value and temperature was less. This resulted in very unfavourable conditions for evaporation. Contrary August and September were dry with a shortage of rainfall. The risk of crop water deficit and the necessity for irrigation appeared.

Table 2. Meteorological conditions in the Wikowo polder in 1999

Month	Rainfall (mm)	Mean rainfall in 1951-1990 (mm)	% of mean rainfall	Temperature (°C)	Mean temperature in 1970-1995 (°C)	% of mean temperature
May	88.6	49	181	9.7	12.6	77
June	95.8	74	129	15.6	15.3	102
July	69.2	90	77	17.5	17.3	101
August	61.6	84	73	16.3	17.0	96
September	14.6	75	19	14.2	12.8	111

Groundwater table depths in the polder were the result of precipitation, evapotranspiration, drainage and irrigation as well as uncontrolled recharge and discharge of the polder. The courses of groundwater depths in the operational units A1+A1, B and S are shown in Fig. 1. In the units B and S with grasslands the groundwater table depths were in the admissible range during almost the whole vegetation period. In the first ten-day period of July the groundwater table lowered below H_{max} in the unit B and approximated this value in the unit S. In the unit A1+A2 the lowering of the groundwater table below H_{max} was greater, more frequent and lasted longer. It indicates the difficulties in possibilities of groundwater table controlling in this unit. The groundwater table depth was greater than H_{min} in all units during the growing period, only in the unit S the groundwater table depth was less than H_{min} until the 15th of May. The permanent decrease of the groundwater table in the polder observed till the end of August correlates with drainage of the polder through the pumping station (Fig. 2). Irrigation started at the end of August and caused the rise of the groundwater table by 0.8 m in the unit A1+A2, 0.6 m in B and 0.4 m in S. The groundwater rise was caused not only by irrigation, but also by reduction of drainage and reduction of the amount of water pumped out as well as by great rainfall amount in August. It is presumed that uncontrolled water recharge of the polder was also the reason of the groundwater table rise in this period.

The amount of water to be pumped out or supplied was - besides forecasted rainfall and evapotranspiration - influenced in the great extend by the planned required groundwater and ditch water levels at the end of ten-day periods. The required levels were determined dynamically, using the UPF and the GRAIRR models (Łabędzki, 1997), in dependence of local soil parameters, actual and forecasted meteorological conditions.

the actual state of water system described by actual groundwater depths and water depths in ditches. They should assure effective capillary rise in dry periods and minimum air content in the root zone in periods with rainfall excess. The planned groundwater table depths in the three operation units are shown in Fig. 1. The computed amounts of water that should be pumped out or supplied in the ten-day period of planning are shown in Fig. 2 in the background of the amounts really pumped out and supplied.

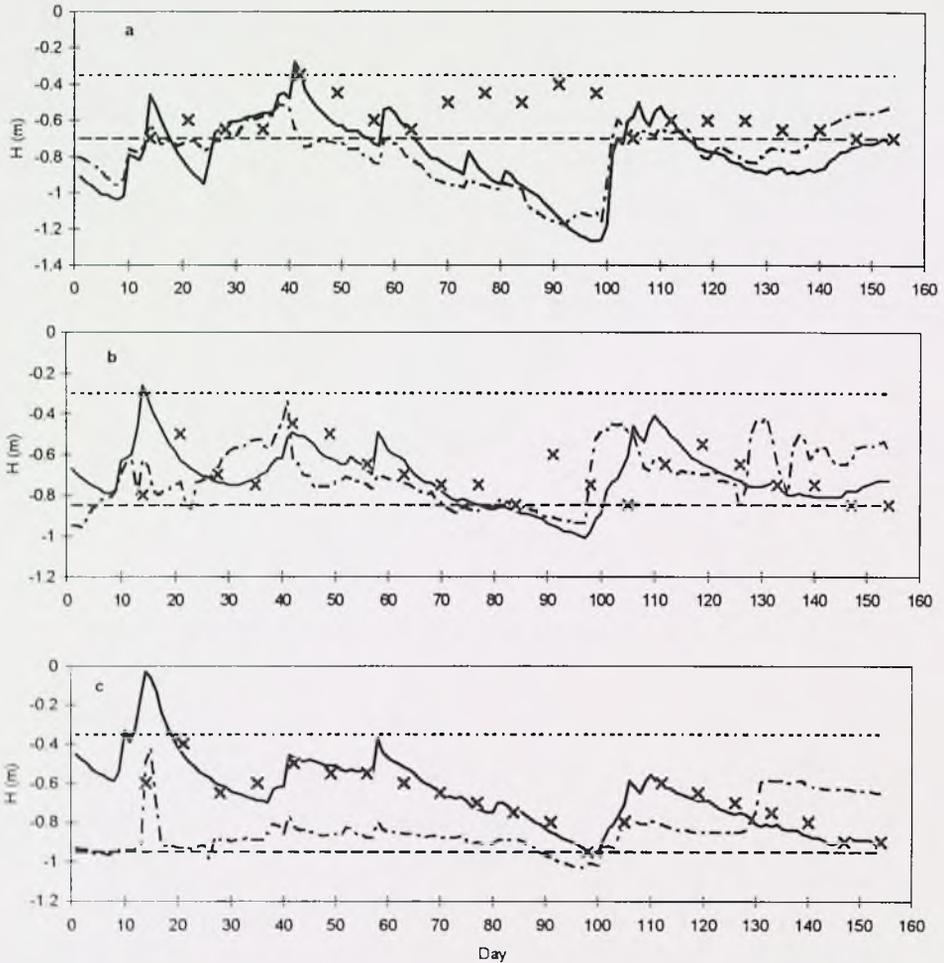


Fig. 1. Course of the measured groundwater depth H_{gr} (—), the measured water table depth in ditches H_d (- · -) and the planned groundwater depth H_{plan} (x) in the unit A1+A2 (a), B (b) and S (c); H_{max} (---) - the maximum allowable groundwater depth, H_{min} (---) - the minimum allowable groundwater depth; day 0 - 2.05.1999

The planned and actual groundwater table depths were of good agreement in the periods when the actual levels were higher than the minimum allowable ones. Irrigation was planned in those periods to raise groundwater tables to meet crop water demands. Comparing Fig. 1 and 2 one can see the correctness of the estimation of irrigation and drainage demands: the higher groundwater levels were planned the greater amount of water was to be supplied for irrigation. The similar relation can be observed when the amount of water to be pumped out the polder was planned.

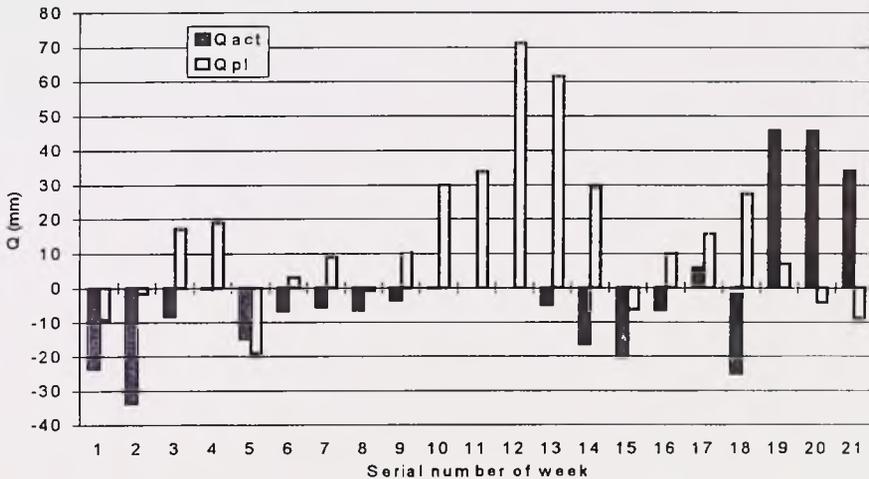


Fig. 2. Drainage (-) and irrigation (+) actual (Q_{act}) and planned (Q_{pl}) in the succeeding weeks in the period 3.05.-3.10.1999

CONCLUSIONS

On the basis of the results obtained in the first year of the implementation of the system under conditions of operation of the polder the authors find the model and the measuring system as a highly useful tool for solution tasks of local water resources management. Water management actions performed in the polder with the aid of the developed model is more realistic and more reasonable in relation to actual and forecasted weather situation and to the actual state of water system. The model, based on the available and easily measured soil-plant-atmosphere parameters, is operational and simple to use. It gives a reliable description of water transfer in a soil-plant-atmosphere continuum.

The measurements and observations made in 1999 confirm the expected relationships and effects of real and predicted water management operation in the polder. The full verification of the amounts of water predicted in the model and the estimation of the effects of water management performed with the aid of the model require that the operation of the pumping station and the intake structure should go on entirely according to the model outputs as well as the investigations should be continued in the years of various weather conditions.

REFERENCES

- BROUWER R. 1993: The impact of real time information on system management. Transactions of the 15th ICID Congress, The Hague, September 1993, 1-J: 103-111.
- DĄBKOWSKI L. S., JĘDRYKA E., KACA E., KOVALENKO P., CALYJ B., MICHAJLOV J. 1997: Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach wodno-melioracyjnych. Bibl. Wiad. IMUZ 91 ss. 149.
- KACA E.: 1996: Wzorcowanie budowli wodnomelioracyjnych. Bibl. Wiad. IMUZ 87 ss. 48.
- KACA E. (in press): Modelowanie nawodnień podsiąkowych. Bibl. Wiad. IMUZ.
- CZAPLAK I., KACA E., ŁABĘDZKI L. 1995: Rozrząd wody w zlewni rzecznej. Podsumowanie badań projektu badawczego KBN nr 556599102. IMUZ (maszynopis).
- ŁABĘDZKI L. 1997: Potrzeby nawadniania użytków zielonych - uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. habil. Falenty IMUZ, ss. 121.
- OKRUSZKO H. 1994: System of hydrogenic soil classification used in Poland. In: Taxonomy of hydrogenic soil and sites used in Poland. Bibl. Wiad. IMUZ 84 s. 5-27

Streszczenie: *Gospodarowanie wodą na polderze Wikrowo z wykorzystaniem modelu matematycznego i nowoczesnego systemu pomiarowego.* W pracy przedstawiono model matematyczny i nowoczesny system pomiarowy zastosowany do gospodarowania wodą na polderze Wikrowo na Żuławach. Celem modelu jest wspomaganie gospodarowania wodą dla utrzymania warunków glebowo-wodnych w wymaganym zakresie. Podstawowymi urządzeniami sterującymi są stacja pomp i ujęcie wody dla nawodnień. W artykule skupiono się na opisie modelu i systemu pomiarowego, jak również przedstawiono wstępne wyniki weryfikacji modelu uzyskane w czasie rocznego prowadzenia gospodarki wodnej. Opracowany model jest operacyjnym modelem bilansu wodnego polderu. Określa on ilość wody, która powinna być dostarczona na polder lub odpompowana z polderu, z uwzględnieniem rzeczywistych warunków hydro-meteorologicznych. W celu pozyskiwania danych wejściowych do modelu zainstalowano nowoczesny system pomiarowy. Na podstawie wyników uzyskanych

w pierwszym roku eksploatacji modelu i systemu pomiarowego autorzy stwierdzają, że opracowany model i system pomiarowy można uznać za wysoko efektywne narzędzie rozwiązywania zadań lokalnego gospodarowania zasobami wodnymi.

Authors' addresses:

Edmund Kaca

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach
05-090 Raszyn

Leszek Łabędzki

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych
Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy
w Bydgoszczy

85-093 Bydgoszcz, al. Ossolińskich 12

Tymoteusz Walter

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych
Żuławski Ośrodek Badawczy w Elblągu
82-300 Elbląg, ul Giernków 5

Water engineering projects and the spread of water-born diseases in tropical areas of Africa and Asia

IZABELLA ŁECKA

Institute of Developing Countries, Faculty of Geography and Regional Studies Warsaw University

Abstract: *Water engineering projects and the spread of water-born diseases in tropical areas of Africa and Asia.* In the literature there is a clash of views and opinions concerning water projects and their effects on environment and man. That induced myself to penetrate these changes, which appears in the zone of influence of water projects. So the subject of this study is one of the most controversial side effects of water projects - spread of water born diseases. Both sides (proponents and opponents of water construction) most often make us of their own statistical data, which are frequently divergent and their mention their own examples. In such circumstances it start to be very interesting for me to investigate influence of water projects built in Africa and Asia on spread of tropical diseases like: schistosomiasis, malaria, filariasis with onchocerciasis. All of this sickness are the most widespread and danger in tropical zone. Differentiation's of environmental and social conditions affect possibilities of water-born prevalence. There are several factors that might modify process and tempo of sick rate. So in order to take into consideration most of this modifying elements I choose to investigate such factors like:

- type of hot climate, where water projects are localized;
- environmental attributes like, in example chemistry of water, temperature of air and water, etc., which may affects existence of vector of diseases;
- hygienic habits and cultural practices (particularly division of labor);
- migration

In this study are annalist more then 30 water projects in many African and Asian countries (most of them African).

Key words: irrigation, water-born diseases, Africa, Asia

INTRODUCTION

The numerous, frequently quite opposite opinions, which exist in the literature, concerning the influence of water engineering projects on natural environment and on man, motivate to paying a deeper attention to changes appearing in the zone of such influence. Both the supporters and the opponents of such investment projects use in respective discussions different data, and refer to different cases, allowing them to

justify their opposing opinions. In this situation it is interesting to carry out an in-depth analysis of the most controversial side effect of construction of the water engineering structures, namely - of their influence on the development of vector borne diseases of man linked with aquatic environment. Analysis was carried out on the instance of projects implemented in Africa and Asia. The choice of these two continents was by no means incidental. The highest indicator values in the world are observed there in terms of occurrence of the so called tropical diseases, and the water engineering projects which are implemented there serve multiple purposes, such as flood control, water storage in man made lakes, ensuring its constant supply, even in dry months and years, development of irrigated agriculture, facilitated navigation, as well as recreation and hydropower generation. Production of electricity is not the most important purpose, as it is the case with the majority of this type of projects carried out in Latin America (e.g. the hydropower stations in Mexico and Brazil).

DISEASES ACCOMPANYING THE WATER ENGINEERING PROJECTS

The present report is devoted to the spread of schistosomiasis (the bladder variety - *Schistosomiasis haematobium*, and the intestine variety - *S. mansoni* and *S. japonicum*, appearing only in Asia), malaria, Bancroft's and Malayan filarioses, as well as onchocercosis ("river blindness"). Such a particular selection was motivated by the fact that these are the most common and dangerous of the parasitic infections appearing in tropical areas, and their spread exactly in the vicinity of water dams and reservoirs is often emphasized in the literature. Vectors of these diseases are linked with water, because they are amphibious (like snails - the intermediate hosts of the *Schistosoma* parasite) or they spend in water their larval stage of development (like mosquitoes, transmitting malaria and both filarioses considered, Bancroft's and Malayan, as well as a gnat *Simulium*, the intermediate host of the *Onchocerca volvulus* parasite).

The purpose of the present report is to verify whether realization of water engineering projects in Africa and Asia is always correlated with an increase in occurrence of the diseases considered. Further - whether spreading of these diseases in the tropics of the

two continents analysed takes place in the areas of water engineering projects in a similar manner.

I suppose that although in many cases after a dam has been constructed and an artificial reservoir created, as well as a network of irrigation channels has been established, an increase in the disease occurrence is observed, the projects in question do not always lead to a spread of the diseases considered. The difference in natural and social conditions prevailing on the two continents entails a distinct difference in the possibility of appearance of parasitic diseases. A number of factors may appear which modify the course and the rate of occurrence of diseases, namely:

- the type of equatorial or tropical climate in which a given water engineering project is being carried out;
- a number of local features of nature, such as, for instance, physical and chemical properties of water, which condition appearance of the disease vectors (snails, mosquitoes, gnats);
- the hygienic habits and cultural customs of the local and regional societies, and especially the traditional division of labour;
- migrations.

SOURCE MATERIALS

The analysis of changes in the spread of parasitic diseases of man in the tropical zone has been carried out on the basis of: geographical literature and the publications from the broadly conceived human ecology, medical literature, as well as own research of the present author, conducted in Egypt in the years 1986/87, 1989 and 1995.

RESULTS

The relation between the occurrence of parasitic diseases of man and the construction as well as functioning of water engineering structures has a very complex nature. The analysis conducted allowed to draw the conclusions which are presented below.

1. The emergence of water engineering projects is most often conducive to the spread of these parasitic diseases of man, whose appearance is linked with water. Not always, though, this dependence takes place automatically, and numerous exceptions are observed.

Most frequently, after the artificial reservoir and the network of irrigation canals have been created, the spread of schistosomiasis takes place (like, for instance, on a significant area of Egypt, within the Ghazira system in Sudan, and Kisumu in Kenya, in the vicinity of reservoirs of Bakoloria and Kainji in Nigeria, etc.), while the increase of morbidity related to malaria is observed somewhat less frequently. Although always, after termination of a water engineering project, a change in the species composition of mosquitoes is observed (toward those more effective in transmitting the malaria parasite *Plasmodium*), this does not necessarily lead to an increase in the percentage share of persons sick of ague (as it occurred, for instance, in the rice fields of the systems of IADP in Sierra Leone and Mayo-Danai in Cameroon).

It is hard to justify, for the two continents, the increase in the spread of filarioses (Bancroft's and Malayan) by the emergence of water engineering projects, primarily due to lack of adequate studies concerning this problem. Filarioses, though, seem to be easier to control. The actions oriented against malaria, undertaken both in Africa and in Asia, often succeed in eliminating effectively just the filarioses (as this occurred in the areas of artificial reservoirs of Kainji in Nigeria, Akosombo in Ghana, and Mahaweli on Sri Lanka).

The influence of water engineering projects on the spread of onchocercosis is always distinct in the vicinity of spillways on dams, where advantageous conditions for vectors arise and where the hazard of infection increases. On the other hand, though, formation of an artificial reservoir entails quite an opposite situation, since disadvantageous breeding conditions for the gnats *Simulium* arise, and the reach of occurrence of sickness either gets limited or the disease is entirely eliminated from the vicinity of the reservoir. Onchocercosis, occurring in definite foci, is relatively easily controlled outside of its endemic area in West Africa, owing to application of chemical actions of destruction of the breeding grounds of the vectors. The cases of onchocercosis have not been, on the other hand, noted in Asia until now at all.

2. The increased intensity of spreading of malaria and philharioses (Bancroft's and Malayan varieties) is observed within the areas of water engineering projects in South-East Asia (especially in Indonesia, Malaysia, Sri Lanka and India). The increase of sick rate regarding these diseases in the neighbourhood of artificial water reservoirs in Africa is observed less frequently, in spite of the fact that they are common on numerous areas of this continent. Examples are known of land improvement systems in Gambia, Burkina Faso, Cameroon, Mauritania, and of the reservoirs of Akosombo on Volta river, Kariba on Zambezi, and Owen Falls on the Nile, where appearance of these structures has not resulted in an increase of morbidity among the local population. In some cases (like near to the reservoirs of Akosombo on Volta and Kariba on Zambezi) construction of water engineering projects could only insignificantly add to the percentage shares of the sick, since even before this indicator had been close to 100%.

Schistosomiasis and onchocercosis constitute the greatest threat in Africa, where they are endemic on a significant area. Bilharziasis (*S. japonicum*) occurs only locally in South-East Asia, in small foci, although in many regions the conditions for development of the parasite *Schistosoma japonicum* are perfect there. Most probably, this state of things is largely due to the decision of limiting construction in numerous Asian countries (e.g. in Indonesia, Philippines, Malaysia) of the large scale projects, especially those, where the surface area of the irrigation system would exceed 16 thousand hectares.

3. It is quite exceptional - in spite of the opinions often voiced in the literature - that the parasitic diseases here considered be introduced for the first time into the areas where they have not been noted before. The analysis of data available indicates that such cases appeared solely in the process of spread of schistosomiasis on the tropical areas of Africa. After the water engineering projects had been finished this disease appeared for the first time on the areas of the irrigation systems of Ghazira and Khashm-el Girba in Sudan and within the areas surrounding the reservoirs of Diama in Senegal, Bakoloria in Nigeria, and Kariba in Zambia and Zimbabwe, as well as locally on the improved areas in Ethiopia. In case of the remaining parasitic diseases considered here there is in principle lack of data confirming the first introduction of these diseases into the areas affected by a water engineering project during its execution. The sole confirmed cases concern the renewed appearance of malaria on some areas which had

been thought already clean of the disease. Yet, the return of the ague, after years of break in transmission, occurs rather frequently, also on these territories, where no new water engineering projects have been implemented. The phenomenon of return of malaria has been observed on many territories of South and South-East Asia.

4. It was only in the case of malaria that we succeeded in demonstrating the relation between the spread of a disease and the type of climate within whose reach a given water engineering project is being realized. In case of other diseases no such regularities were uncovered.

5. The presence of vectors of parasitic diseases does not have to be necessarily linked with the spread of diseases. Cases are known of appearance of snails capable of transmitting schistosomiasis on the areas where this disease is not observed (like, for instance, the lower part of Awash valley in Ethiopia, and locally in Egypt). The examples also occur of the areas where mosquitoes are numerous (like close to the reservoirs of Owen Falls in Uganda and Ubolratana in Thailand, as well as in the rice fields in Burkina Faso and Cameroon), but they do not transmit neither malaria nor filariasis. Similarly, the reach of appearance of *Simulium* gnats is much bigger than the area of occurrence of onchocercosis.

6. It seems that realization of the large scale water engineering projects is connected with the risk of appearance of a number of parasitic diseases considered, as this was the case of Akosombo, Bakolori, Kariba, and High Aswn Dam. Construction of the smaller land improvement systems entails an increased hazard of spread of just one disease, for instance schistosomiasis in the region of Malumfashi (Nigeria) and in the district of Bandiagara (Mali), or malaria - in the region of Seligue.

7. The negative influence of the more recent water engineering projects (constructed starting with the second half of 1970s) is definitely smaller than in the case of the older ones. This is especially well seen in the process of spread of schistosomiasis and malaria (rice field in Sierra Leone, Burkina Faso, Cameroon and Mali). Such a situation, though, is not a rule. Appearance of the Diama reservoir in Senegal and the Chao Nen reservoir in Thailand in the 1980s contributed in a clear manner to the increase of the number of cases of bilharziasis (Diama) and ague (Chao Nen).

In case of philharisoses it seems that the time of construction of a water engineering project has no essential significance. This disease has been spreading on the areas of both the new projects, like the irrigated fields of Solulor in Gambia, or the areas located in the vicinity of Bakoloria reservoir in Nigeria, and the quite old ones, like the irrigated fields in Egypt. Within the areas of projects terminated already some time ago the chemical actions of stemming morbidity, primarily with respect to malaria, gave an advantageous effect in terms of curbing the occurrence of Bancroft's philharisosis (like in the regions of Kariba, Kainji and Akosombo).

8. The modifying influence of tradition and cultural habits is observed in cases of such diseases as schistosomiasis, malaria and the two philharisoses (Bancroft's and Malayan). On the other hand, no such influence was noted with respect to the process of spread of onchocercosis.

REFERENCES:

- BISWAS A.K. 1985: Health, environment and water development: an understanding of the interrelationships in: *The environment professionals: The Official Journal of the National Association of Environmental Professionals (NAEP)*. vol.7. pp. 128-134
- ENTZ B.A. 1984. A synthesis and evaluation of activities of FAO/UNDO projects on five African man-made lakes: Kainji, Kariba, Kossou, Nasser-Nubia and Volta, FAO, Rome
- ENVIRONMENTAL HEALTH IMPACT ASSESSMENT OF IRRIGATED AGRICULTURAL DEVELOPMENT PROJECTS, December 1983. WHO. Geneva
- GOLDMAN CH. R. 1976. Ecological aspects of water impoundment in the tropics in: *Rev. Biolog. Trop.* vol. 24 (Supl. 1). pp. 87-112
- LUGARD A.A. 1996. Health problems associated with irrigation development: a case of Bakolori dam, Sokoto, Nigeria in: *Proceedings of international conference on aspects of conflicts in reservoir development & management*, Department of Civil Engineering. London. pp. 235-240
- MAB. Expert panel on Project 4: Impact of human activities on the dynamics of arid and semi-arid zone ecosystems, with particular attention to the effects of irrigation. Final Report. 1976. UNESCO. Paris
- MOBARAK A.B. 1982. The Schistosomiasis problem in Egipt in: *Am. J. Trop. Med. Hyg.* vol. 31, no. 1. pp. 87- 918
- STANLEY N. F. ALPERS M.P. ed. 1975. *Man-made lakes and human health*. Academic Press. New York
- VECTOR-BORN DISEASE CONTROL IN HUMAN THROUGH RICE AGROECOSYSTEM MANAGEMENT. Proceedings of the workshop on research and training needs in the field of integrated vector-born disease control in riceland agroecosystems of developing countries 9 - 14 march 1987. International Rice Research Institute. Philippines.

Streszczenie: W pracy omówiono zmiany w zachorowalności na choroby pasożytnicze wśród mieszkańców międzyzrotnikowych regionów Afryki i Azji. Analizie został poddany wpływ jaki na rozprzestrzenianie się bilharcjazy, malarii i filarioz (w tym ślepoty rzecznej) mogą mieć realizowane na tych terenach inwestycje wodne, takie jak budowa zapór, kanałów nawadniających, wypełnianie zbiorników zaporowych, a w konsekwencji powiększające się obszary rolnictwa nawadnianego.

Autor's address:

Izabella Łęcka

Instytut Krajów Rozwijających Się, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Uniwersytet Warszawski

00-324 Warszawa, ul. Karowa 20, Poland

Amount and quality of water in catchments characterised by various degrees of afforestation

ANTONI MILER, DANIEL LIBERACKI, DARIUSZ PLEWIŃSKI

Department of Land Improvement and Environmental Development, The August Cieszkowski Agricultural University of Poznań, Poland

Abstract: *Amount and quality of water in catchments characterised by various degrees of afforestation.* In the paper results of monitoring amount and quality of water in two micro-catchments of differentiated land utilization were analyzed. The analysis was carried out on the basis of hydro-meteorological and chemical measurements made in 1998 and 1999 in the Hutka (0.52 km²) and the Potaszka (1.33 km²) river catchments. These catchments are located near Poznań in the southern part of the Wielkopolska Lake District, Poland. The obtained reduces of outflow changes and water retention in the Hutka afforested catchment in contrast to the Potaszka agriculturally utilized catchment were significant. The results of calculations point out that afforestation is the main factor affecting water storage capacities in small lowland catchments. The water quality of investigated rivers in 1998 and 1999 was evaluated as very good and good. The water of the Potaszka river was in the first class of cleanness (Polish standards), whereas in the water of the Hutka river in summer and autumn months, very low concentration of dissolved oxygen and high concentration of phosphates were noted. The phosphates from soluble compounds of phosphorus were produced in anaerobic conditions.

Key words: small catchment, water quality, afforestation, water retention

INTRODUCTION

Water and matter cycles are primarily determined by the physical, geographical and climatic factors prevalent in a given catchment. The smaller the catchment is, the more significant the non-climatic parameters are in terms of their effect on the water cycle. Forest cover plays a special role in the Wielkopolska region in shaping the so-called small retention (connected with the lengthening of the time and distance of the water cycle, and the intensification of autopurification processes) (Miler, 1998). Wielkopolska is a region characterised by the biggest water deficits in Poland, especially since they are increasing constantly (Woś, 1994). For this reason, comparative studies on the water and matter cycles in catchments with varying forest covers are valuable not only from the theoretical, but also practical point of view.

THE AIM, RANGE AND METHODOLOGY OF THE STUDY

The aim of the study was to present the water cycle and selected water quality parameters in two lowland micro-catchments with differing land uses, i.e. afforested catchment of the Hutka river, and the Potaszka river catchment with its agricultural use. They are both situated in the central part of the Wielkopolska region, approximately 20 km north-east from Poznań (in the Zielonka forest itself and on its edges). The natural landscape is of the Young Glacial type, Pleistocene and Holocene formation (moraine plains and heights). The parent material of the soils in the investigated catchments was basically postglacial drift, deposits from the Poznań stage of the Würm glaciation. To develop the characteristics for the investigated catchments, the authors used their own data collected since the middle of 1997 (on the basis of comprehensive field studies of the amount and quality of water), as well as some archival materials (Kosturkiewicz, 1976). Some meteorological data from the station in Arboretum-Zielonka (a part of the Agricultural University of Poznań) were also used in the paper. Non-climatic physiographical parameters of the catchment were developed on the basis of 1: 10 000 survey maps and the data from the Forest Management Plan (1994) and the Site General Map (1995).

DESCRIPTION OF THE INVESTIGATED CATCHMENTS

The micro-catchment of the Hutka stream to the Huta Pusta gauge station with the area of 52 hectares is covered with forest in 89%. The remaining 11% consists of swamps and wasteland (5.5%) and arable land (5.5%). The catchment area is folded with the mean fall of approximately 10‰. In the Hutka catchment basically two types of soil may be found: weakly podzolic soils covering 89.8% and marshy soils covering 10.2% of the total area. The Hutka stream catchment is typically forest in character. Pine is the dominant species, but oak, alder, larch and some spruce trees may also be found. The dominant sites are fresh mixed coniferous forest, fresh coniferous forest and alder swamp forest.

The Potaszki micro-catchment to the Potasze gauge station is twice as big in area with its 133 hectares. Forests cover approximately 14.7%, whereas arable lands

approximately 85.3% of the catchment area. Numerous undulations are found, some of them with quite steep slopes. The mean fall is 16‰. The catchment soils are in the stage of weak podzolization. In the forested areas of the Potaszki catchment the dominant species is pine, found in the following sites: fresh mixed coniferous forest, moist coniferous forest and fresh coniferous forest.

RESULTS AND DISCUSSION

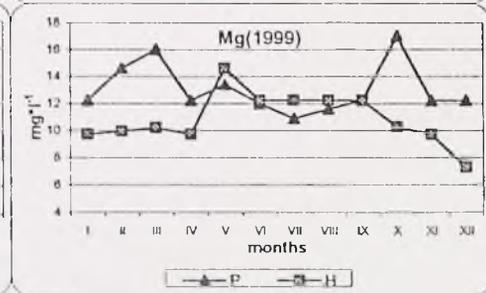
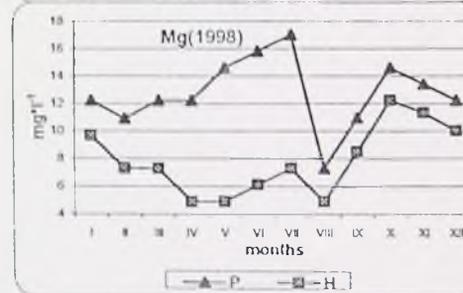
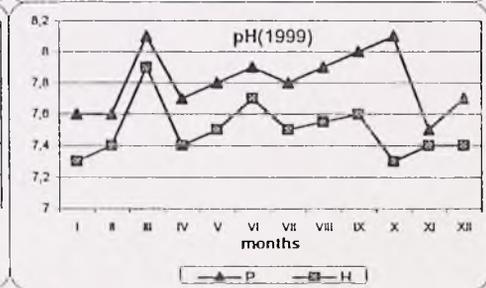
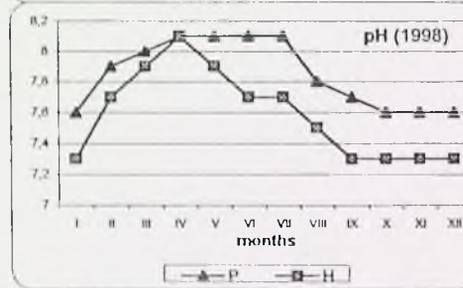
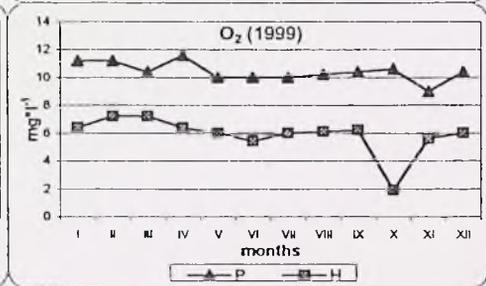
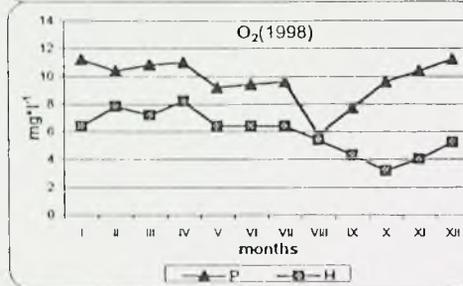
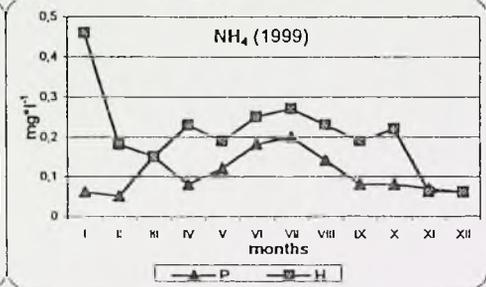
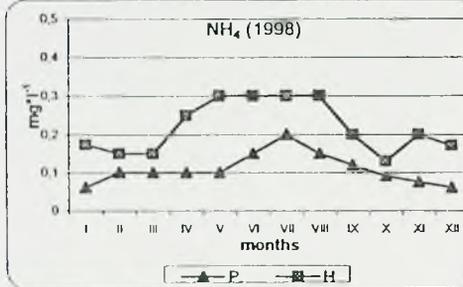
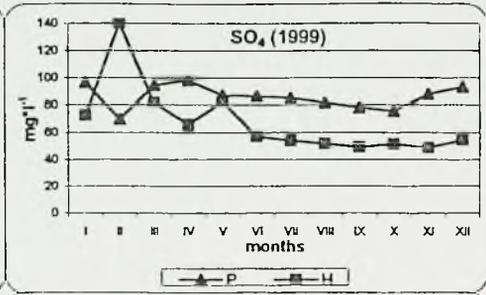
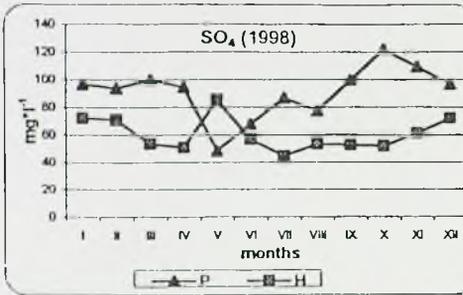
The contrasting physiographical parameter of the investigated catchments is their land utilisation. The Hutka catchment, with its almost 90% covered by forests, is characterised by significant water retaining capacity in comparison to the Potaszka catchment, used agriculturally on approximately 85% of its area. It is evident in the highly reduced flow (by approx. 35%) and evaporation higher by 25% in the Hutka catchment (Table 1). The values of monthly outflows and monthly retention changes in the catchment also indicate it has big retentiveness potential. Generally, it points to the considerable effect of forest cover of a given area on the increase in the water retaining capacity, i.e. small landscape retention. Afforested areas are thus especially important in the lowland regions of the central part of the Warta basin, which is characterised by water deficits.

Within the framework of studies in the Hutka and Potaszka micro-catchments, apart from standard observations and hydrometeorological measurements, samples of water from the streams were collected regularly once a month. Physico-chemical analyses of water included the determination of 20 indexes and components describing physical properties (pH, temperature), aerobic conditions (oxygen content), organic matter concentrations (BOD₅, solid residue), the occurrence of biogenes (nitrogen and phosphorus compounds) and mineral composition (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cl⁻, SO₄⁻² contents). Water analyses were carried out in accordance with the "The Register of Standards on the Analysis of Water and Sewage" (1993). Time series of the monthly values for the selected indexes of water quality determined on the basis of samples of water obtained in the streams of the investigated micro-catchments are presented in Figure 1.

Table 1

Components of equable water balances in investigated micro-catchments in 1998 and 1999

Component of water balance	Catchment of river	Year of investigation	Months												Year I-XII
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Precipitation [mm]	Hutka	1998	33,5	20,6	38,7	35,2	26,8	69,6	54,0	80,0	81,9	72,8	52,0	49,9	615,0
		1999	48,2	33,7	56,2	61,8	44,5	60,4	40,9	46,4	27,5	36,3	33,7	48,3	537,9
	Potaszka	1998	32,2	27,5	40,4	25,3	24,9	59,7	46,0	60,3	88,9	73,3	37,0	48,8	564,3
		1999	48,3	33,3	53,0	60,3	52,8	46,5	46,0	21,8	21,0	34,4	38,6	48,3	504,3
Evaporation [mm]	Hutka	1998	38,1	44,3	41,7	58,5	69,1	79,9	69,1	52,3	42,5	32,8	23,9	30,1	582,3
		1999	12,5	11,3	32,7	51,7	63,4	85,4	83,3	65,9	64,3	19,4	8,0	10,2	508,1
	Potaszka	1998	30,3	35,2	33,1	46,5	54,9	63,4	54,9	41,5	33,8	26,0	19,0	23,9	462,5
		1999	11,3	10,2	29,6	46,9	57,5	77,4	75,5	59,7	58,3	17,6	7,3	9,2	460,5
Out flow [mm]	Hutka	1998	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	19,1
		1999	2,1	2,8	2,4	3,3	3,3	2,5	1,6	1,4	1,2	1,9	1,3	2,6	26,4
	Potaszka	1998	0,4	1,8	5,0	2,8	0,5	0,6	0,7	0,4	3,2	1,5	4,4	7,9	29,2
		1999	3,4	3,5	3,7	4,5	6,3	3,7	2,6	0,3	0,03	1,1	2,4	4,2	35,7
Change of water retention [mm]	Hutka	1998	1,2	15,3	14,4	1,8	-52,2	-60,3	-10,8	7,9	40,1	12,6	15,5	28,1	13,6
		1999	27,3	18,0	26,7	17,2	0,60	-18,7	-28,6	-57,9	-21,9	-1,4	32,1	10,0	3,4
	Potaszka	1998	53,1	-18,0	-25,2	-84,0	-22,5	-24,5	11,7	48,9	35,8	35,8	-55,8	117,4	72,6
		1999	28,7	18,0	-5,4	17,2	-80,6	-16,2	-20,9	-5,0	10,4	23,8	28,1	10,0	8,1



The contents of sulphates (SO_4), nitrogen compounds (ammoniacal NH_4 , nitrate NO_3), chlorides, reaction (pH), and five-day biochemical oxygen demand (BOD_5) qualify water in both investigated streams as the first quality class (Decree of the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry, 1991). Dissolved oxygen content and dissolved phosphates concentration (PO_4) in the water of the Potaszka stream within the whole years (1998, 1999) qualify the water to the first quality class. However, in the Hutka stream water very small contents of dissolved oxygen (minimum in October- water not conforming to the quality class) and very large amounts of phosphates (maximum in August- also water not conforming to the quality class) were observed in the summer and autumn months. The increase in the phosphates content along with a simultaneous reduction of the dissolved oxygen content may result from the release of these soluble phosphorus compounds in anaerobic conditions. These processes are enhanced due to the relatively slow flow velocity in the Hutka stream and the limited effect of wind resulting from afforestation predominant in the area.

CONCLUSIONS

The contrasting physiographical parameter of both investigated catchments is their land utilisation. The Hutka catchment covered in almost 90% by forests is characterised by high water retaining capacity in comparison to the Potaszka catchment with its predominant agricultural use (only approximately 15% of forest cover). It is evident in the significantly reduced flow (approx. 35% lower) and higher evapotranspiration (by approx. 25%) in the Hutka catchment. It is also manifested in the balanced values of monthly outflows and rather slight monthly retention changes. All the above mentioned characteristics prove a highly significant effect of afforestation on the water retaining capacity of a given area, the so-called small landscape retention.

The quality of water in the investigated streams in 1998 and 1999 should be assessed as very good and good. The Potaszka stream waters were in the first quality class, whereas the Hutka stream waters in the summer and autumn months were characterised by very low contents of dissolved oxygen and very high amounts of phosphates. The increase in phosphates content with a simultaneous reduction of dissolved oxygen content in these waters may result from the release of soluble phosphorus compounds in anaerobic conditions.

REFERENCES

- KOSTURKIEWICZ A. 1976: Variability of outflow from small catchments with varying degrees woodiness. PTPN, Wydz. Nauk Rol. i Leś. Vol. 17, 67-73 (in Polish).
- The Site General Plan of the Zielonka Forest Experimental Division of the Agricultural University of Poznań (1995), (in Polish- unpublished).
- MILER A. 1998: Modelling area variability of different retention measures. Wyd. AR Poznań (in Polish).
- The Forest Management Plan of the Zielonka Forest Experimental Division of the Agricultural University of Poznań. for the period of Jan. 1st, 1994- Dec. 31st, 2003 (1994), (in Polish- unpublished).
- The Decree of the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry of Nov. 5th, 1991 on the classification of water and conditions to which sewage entering water or ground should conform to. The official statute book "Dziennik Ustaw RP". no. 116, item 503, Warszawa.
- WOŚ A. 1994: The climate of the Wielkopolska lowland. Wyd. UAM, Poznań (in Polish).
- The Register of standards on the analysis of water and sewage (1993). Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej- Zespół Normalizacji, Warszawa (in Polish).

Streszczenie: *Ilość i jakość wód w zlewniach o zróżnicowanym zalesieniu.* W pracy analizowano wyniki monitorowania ilości i jakości wód w dwóch mikrozelewniach o zróżnicowanym użytkowaniu terenu. Analizy prowadzono bazując na hydro-meteorologicznych pomiarach wykonanych w latach 1998 i 1999 w zlewniach rzecznych Hutki (0,52 km²) i Potaszki (1,33 km²). Zlewnie te położone są blisko Poznania w południowej części Pojezierza Wielkopolskiego, w Polsce. Uzyskane redukcje zmian odpływu i retencji wodnej w zalesionej zlewni Hutki w przeciwieństwie do użytkowanej rolniczo zlewni Potaszki były istotne. Rezultaty obliczeń wskazują, że zalesienie jest głównym czynnikiem odpowiedzialnym za zdolności wodnej retencji w małych zlewniach nizinnych. Jakość wód w badanych ciekach w latach 1998 i 1999 należy ocenić jako bardzo dobrą i dobrą. Wody ciek Potaszka były pierwszej klasy czystości. Natomiast w wodach ciek Hutka w miesiącach letnich i jesiennych odnotowano bardzo małe zawartości tlenu rozpuszczonego oraz bardzo duże ilości fosforanów (uwalnianie się rozpuszczalnych związków fosforu w warunkach anaerobowych).

Authors' address

Antoni Miler, Daniel Liberacki, Dariusz Plewiński

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu
60-625 Poznań, ul. Wojska Polskiego 71 E. Poland.

The issue of agricultural irrigation in the Masurian Lake District

ZYGMUNT NOWICKI, KATARZYNA GLIŃSKA

Department of Land Reclamation and Environmental Management
Warmian and Masurian University in Olsztyn, Poland

Abstract: *The issue of agricultural irrigation in the Masurian Lake District* The problem of agricultural irrigation in the Masurian Lake District (North-Eastern Poland) is analysed in the paper. At present, irrigated arable lands take the area of 23.2 thousand of ha, including 1.6 thousand of ha irrigated with sprinklers there. That ought to be regarded as a minimal part of the total irrigation needs estimated at 193.0 thousand of ha in the region. The social and economical crisis characterised by the decrease of production and the disturbances in the social and cultural spheres are the main factors limiting agricultural irrigation programme in the Masurian Lake District. The existing social and economical trends would indicate the necessity of undertaking organisational activities towards stabilisation of the agricultural irrigation level to the limit of 121 thousand of ha. The priorities of arable lands irrigation are following: vegetables and fruit cultivation, grasslands and fodder cultivation, root plants as well as consumptive grain crops.

Key words: irrigation, sprinkling, arable lands, The Masurian Lake District

INTRODUCTION

The Masurian Lake District, called the Land of Thousand Lakes, is famous for its differentiated land relief, a significant lakes number, large forested areas and a dense river network. The region belongs to the most valuable ones on a scale of Poland as well as Europe (Michałowski K., 1993; Nowicki Z., Solarski H., 1995).

The total agricultural usage of the Masurian Lake District is dated to the years twentieth and thirtieth of XXth century. Since then, the basis of agricultural production like reclamation investment, house and livestock building as well as a main and side roads network has been developed.

The dekapitalisation degree of primarily made reclamation systems reached from 50 till 100% of their initial value as a result of war destruction. In the years 1950 – 1960 the rebuilding of the systems destroyed during the war was finished. In the period 1960 – 1975 ‘new’ investments were made. They dealt with the water management in larger

river valleys and new draining systems on arable areas. The agricultural intensification, on large areas, was obtained through the water and slurry sprinklers usage.

Since the eighties all forms of crisis (political, economical and cultural ones) have been increasing and disrupting in evaluation economical processes. The agricultural production regress, existing since 20-ties, has deepened the reclamation systems dekapitalisation. The potential of irrigations decreased till the vestigial values: 23.2 thousand of ha, including 1.6 thousand of ha of sprinklers and the dekapitalisation degree of draining systems is estimated as 50 – 60%, what gives the area of 250 thousand of ha on the Masurian Lake District scale.

The diagnosis of irrigation needs in the Masurian Lake District is attempted in the paper. The derivative function of that aim is to estimate a degree of urgency in the environmental and economical conditions of the Masurian Lake District which were formed during the period of 1980-1995.

The analysis of that matter entails the need of analysis of the recorded state of irrigation against the background of increasing crisis. The intention in the analytical part of the paper is to indicate the possibilities of irrigation realisation in the conditions of changeable economical situation.

METHODS OF INVESTIGATION AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

The principle of simultaneous analysis of more important elements influencing the agricultural situation of the study area was used due to the assumed aims in the paper. These elements are: environmental conditions, economical potential of agriculture, conceptions of water management on rural areas, social and cultural problems of farmers.

The subject of hydrological and reclamation research are following rivers' basins: the Łyna river with the Guber, Omet, Węgorapa with Gołdapa and Pissa, Szeszupa, Czarna Hańcza, Rospuda-Netta with Szczeberka and the Augustowski Canal, The Upper Biebrza, Lega, Elk, Pissa with Krutynia, Szkwa, Rozoga, Omulew, Orzyc, Wkra (Działdówka with Nida and Szkotówka), Drwęca with Wel and Hławka, the Upper Osa, The Upper Liwa, the Upper Dzierzgonka, Pasłęka with Drwęca Warmińska and Wąsza (fig. 1). The total study area amounts 23408,6 km².

One of the most important tasks is to estimate the irrigation problem in the environmental as well as social and cultural conditions. The conditions are closely related to agricultural irrigation. That is why the irrigation usage is so significant in agricultural production.

The Masurian Lake District is the geomorphologically separated area which divides two large hydrological systems: the Vistula and the Pregoła rivers. Its total area is estimated as 13184 km².

An average annual precipitation on that area amounted 600 mm and varied within the range of 500 –700 mm in the period of 1931 – 1990. Higher precipitation is usually observed in the lower part of the Rospuda-Netta rivers basin and in the basins of the Wel and Osa rivers. The average summer precipitation sums (IV-IX) range from 300 – 400 mm, while dry summers are characterised by precipitation of 140 - 220 mm, what makes 30% of total.

The average annual temperature of The Masurian Lake District is limited by isotherms of 6.0 and 7.0 °C. The temperature shows a zonal character which increases from the east towards the south-west. The isolines of average monthly temperatures enable to establish following ranges: IV:6-7°C; V:11-13°C; VI:15-16.5°C; VII:17-18.5°C; VIII:16-17°C; IX:12-13°C. The relative air humidity in the period of IV-V ranges from 55-60%, in July and August shows the value of 60-62,5%, and during September achieves 65%.

The soil cover of the Masurian Lake District is highly differentiated on a scale of water management regions (river basins). Brown soils formed from light, medium and heavy loam are dominant in that region. They cover about 60% of rural area. The second place (20%) is taken by leached brown soils formed from light, medium and heavy loamy sands. The area covered by podsoles is estimated as 10% and they are built with sparse sand, weak-loamy sands and loamy sands. Almost 10 % of area is taken by peat soils which are located in the lowest parts of the rivers and lakes valleys. In the valuation soil system, the IVa class dominates on the arable lands and covers 32%, the IVb class covers 22%, the IIIa and IIIb classes cover 19% of the area. The average quality soils (the IIIrd and IVth classes) prevail on grasslands.

In the soil and climatic conditions of the Masurian Lake District water shortage for agricultural cultivation range from 30 – 350 mm (Komisja...1983; Rojek M, 1994). The division into more valuable types of cultivation is as follows:

- Meadows and pastures grass 100 – 350 mm
- Spring wheat 60-80 mm
- Potatoes 30-100 mm

The analysis of the isolines of water shortage N 20% allows for the Masurian Lake District division into three zones. The highest water shortage at the level of 300-350 mm appears in the Rospuda-Netta and the Czarna Hańcza rivers basins. The zone of the values of 250-300 mm includes the Sandr Lowland and the Łyna, Drwęca and the Upper Pasłęka rivers basins. The area of relatively low water shortage at the level of 200–250 mm covers the central and lower parts of the Łyna river basin and the upper part of the Pisa and the Krutynia rivers basins.

The existing state and economical potential of agriculture is an effect of the interaction of some environmental, social as well as historical and cultural factors complex (Michałowski K., 1993; Mydlak M., 1994; Nowicki Z, Solarski H., 1995). The synthetic assessment of last few years shows the decreasing trends value both in the terms of agricultural production as well as social and cultural spheres. The situation is shown by indices of social and economical conditions in the table 1. Other comments on agricultural situation in the Masurian Lake District are specified in the organising conceptions of arable lands irrigations.

RESULTS

During the period of 1990 – 1995 the agriculturally irrigated area in the Masurian Lake District (former Olsztyn and Suwalki provinces) ranged from 21.0 - 23.2 thousand of ha depending on the climatic conditions as well as organising possibilities of agriculture. The dominant position belongs to the upward irrigation of grasslands which are used on 21.6 thousand of ha. Sprinklers make up 7% (1.6 thousand of ha in 1995) of the area. The regulated outflow, as a not highly efficient irrigation system, is used on the area of 18.1 thousand of ha (80%) due to limited disposal water resources. The irrigation with

sprinklers are locally used on the area of 10 400 ha. It is highly dispersed throughout the following rivers basins: the Upper Drwęca, Pasłęka, Łyna, Pisa and Węgorapa.

The setting of the irrigation usage criteria is crucial in the estimation of the irrigation needs of arable lands. With reference to the Masurian Lake District, the criteria at present social and economical conditions are immensely difficult and complex (Mydlak M, 1994; Nowicki Z., 1990; Nowicki Z., Solarski H., 1989). Some effective symptoms in that kind of studies may be visible after the stabilisation of the agricultural trends and disciplines connected to agriculture and the sphere of production and food consumption. The regression of all the values measured with the production, consumption and culture (table 1) shows profound changes which can not be comparable with any other historical period (Michałowski K., 1993; Nowicki Z., Błaszczuk. M, 1994; Nowicki Z, Solarski H., 1995). Hence, theoretical assumptions of the already existing reclamation ideas, especially irrigational ones, lose their meaning and have to be successively modified.

One of the element of a sustainable economical system is an attempt of ecologisation of all production processes including agriculture. In natural and economical conditions of the Masurian Lake District, ecologisation of agriculture is connected to the agricultural space restriction (a gradual increase rate of wildlife reserves, landscape parks and protected areas), food quality improvement (healthy food) and broadening of private forms of ownership.

The draft of problems presented above determines the sense of reclamation solutions. The research which has being carried out on the land reclamation problem (Nowicki Z., 1990, Nowicki Z., Błaszczuk. M, 1994; Nowicki Z, Solarski H., 1995; Solarski H., 1989) for many years allows to precise some rules in the field of drainage, drainage-irrigation, irrigation systems. Taking into account the agricultural ecologisation, in the first order the technical reclamation as arable lands drainage, open ditches network on grasslands, post-reclamation usage of grasslands, channels, pipelines as well as a number of pump stations should be limited. The area equipped with the conventional drainage systems network and drainage-irrigation systems anticipated as 691.6 thousand of ha should be decreased till 460 thousand of ha in the future.

Table 1. Social and economical conditions of the Masurian Lake District population* in the years 1994-95.

Tabela 1. Warunki społeczno-gospodarcze mieszkańców Pojezierza Mazurskiego* w latach 1994-95.

Contents / Wyszczególnienie		Unit Jednostka	Number or value Wartość lub ilość
Population Ludność	total ogółem	thous. pers tys.os. pers./km ² os./km ²	1253.9 54.0
	- density of population zaludnienie		412.9
	-workers pracujący	} thous.pers tys.os	262.7
	-employed zatrudnieni		158.5
	-unemployed bezrobotni	} nb/100 thous.pers. liczba / 100tys.os.	1084.9
	-sick rate zachorowalność		822.0
-deaths zgony			
Arable lands Użytki rolne	total razem		1204.3
	- arable land & orchards gr. orne z sadami	thous. ha tys.ha	811.3
	- grasslands użytki zielone		393.0
Reclaimed arable lands Zmelior. użytki rol.	arable lands grunty orne	thous.ha	306.9
	grasslands użytki zielone	tys.ha	199.0
Abandoned lands and fallows & meadows and pastures excluded from agricultural usage Odłogi i ugory oraz łąki i pastwiska Wyłączone z użytkowania rolniczego		thous.ha tys.ha	285.5
Harvest Zbiory	grain crops zboża	thous.tonnes	1070.4
	potatoes ziemniaki	tys.ton	568.6
	vegetables & fruit warzywa i owoce		121.7
Crops Plony	grain crops zboża		23.7
	potatoes ziemniaki	q/ha	121.0
	sugar beets buraki cukrowe		239.0
Cattle Bydło		numb./100ha of a land SD/100ha uż.rolnych	31.9
The mechanisation of agriculture Mechanizacja rolnictwa		Ar. land area./ tractor Pow.uż roln/1ciagn.	23.8
Environ- mental Protection Ochrona Środowiska	Lands of protected landscape obszary chronionego krajobrazu;		1050.0
	National and landscape parks as well as wildlife reserves	thous.ha tys.ha	122.0
	Parki narodowe i krajobrazowe oraz rezerwaty przyrody		
Social acceptance of ecological agriculture Społeczna akceptacja rolnictwa ekologicznego.		%	29.7
The education need declared by farmers about environmental hazards Deklarowana przez rolników konieczność posiadania wiedzy n.t. zagrożenia środowiska		%	83.0

* within the former Olsztyn and Suwałki provinces

* w granicach byłego województwa olsztyńskiego i suwalskiego

The programme of retention reservoirs building which has been cancelled due to financial limits should be adapted to present possibilities and economical trends of the region. According to the effects of the research works the on the reservoirs building for agricultural and energetic purposes (Nowicki Z.,1990), the synchronisation of small hydropowers and meadows, pastures and arable lands irrigation needs is possible. The useful capacity of these reservoirs in the Masurian Lake District may increase up to 692,1 mln of m³. The program of small hydropowers building is advanced to a large extend. There are 51 hydropowers, of total power 8140 kW, functioning at present (according to the state at the end of 1998).

Although the realisation of that enterprise influences the increase in disposal water resources, the problem of the irrigated area increase beyond the present scale still exists. Taking into account such phenomena as the cattle breeding decrease, the decrease in meadows yielding (Gajda J., Mikołajczyk Z., 1995; Nowicki Z., Solarski H., 1995), the increase in fallows area as well as grassland area excluded from agricultural production, the irrigated rural areas should be restricted to efficient systems only.

The trends in healthy-food development indicate the need of sprinklers usage in horticulture (Kawecki Z., Ilasz Z., 1983, Kryńska W., Martyniak B., 1986). The existing level of horticultural production is very low in the region. There are only 11 kg of fruit and 86 kg of vegetables per person while the feeding standards recommend the annual consumption of 80 kg of fruit and 200 kg of vegetables per person. The preferable direction of sprinklers usage should be in the following order: 1. horticulture, 2. fodder roots crops, 3. grasslands, 4. grain crops.

The research conducted by the Department of Horticulture and the Department of Land Reclamation at the Warmian and Masurian University in Olsztyn (Poland) showed a purposeful and significant role of irrigation with sprinklers in the Masurian Lake District. The experimental sprinkling irrigation allowed to achieve following effects: the increase rate in hay yield within the range of 1.3 – 4.9 t/ha, the 30% - 60% rise of vegetable yield (Kawecki Z., Ilasz Z., 1983, Kryńska W., Martyniak B., 1986, Solarski H.,1989).

In the light of existing environmental, economical and social conditions, the more important irrigation criteria could be specified as follows:

- Environmental and agricultural valorisation of the area (W) in accordance with the 100-points scale regarding to soil, water and climate (according to IUNG in Puławy)
- Water shortage (20%) on grasslands (N),
- The grain crops yield (P) gained in 1995 as a measure of environmental and economical potential of agriculture,
- Agriculture ecologisation conditions (WE) as a statistical parameter describing the social and cultural situation in the region (health food production, the environmental values protection, ethical level of farmers). Four conditions are used in the valuation: WE=1 – very favourable; WE= 2 -medium favourable; WE=3- favourable WE=4 –unfavourable.

Four sub-regions of the differentiated urgency of irrigation may be separated due to synthetic formulation of the criteria mentioned above. As for the most preference areas, the grasslands and arable lands are located in the of the Łyna with Guber, the Upper Pasłęka rivers basins. An adequate indices qualifying the sub-region in the 1st class of urgency are as follows: $W=57.9 - 83.9$ points; $W_{avr}=75$ points, $N=220 - 300$ mm; $P=22 - 35$ q/ha; $P_{avr} = 30$ q/ha; $WE=1$ and $WE=2$. The second class of urgency is characteristic for the Upper Drwęca river with its tributaries: Wel and Hławka and for the Wkra, Osa, Dzierzgoń and Liwa basins. The third place, having the irrigation needs in consideration, is taken by the areas of properly used fertile soils located in the basins of Lega, Elk, Rospuda, Czarna Hańcza, Szeszupa and Węgorapa with Goldapa. The fourth class, in the scale of the urgency, is located mainly in the valleys of Sandr Lowland. It means in the basins of the Pisa with Krutynia, Szkwa, Rozoga Omulew, Orzyc. There are also some close meadows complexes located in the direct valleys of the Biebrza and the Lower Netta rivers. Statistical parameters of the IVth class of urgency can be characterised in a following way: $W= 33,1 - 64,3$ points; $W_{avr}=52$ points, $N=250-360$ mm; $P=20-26$ q/ha; $P_{avr} = 23$ q/ha; $WE=1$.

Defined in the paper the irrigation needs as 193030 ha result from the identifying of soil and topographical conditions and hydrological situation: peat and mineral soils are characterised by moisture deficiency, land relief allows for the usage of upward irrigation or mechanical sprinklers, favourable amount of disposal water resources. All these natural criteria are submitted to the rules of organising abilities of agriculture e.g. the valorisation level of agricultural production space defined by IUNG in Puławy,

current grain crops yield, the possibility of ecological family-farms reactivating as an environment conducive to cultural values of farming.

The area being classified for agricultural irrigation in the way shown above makes 39.7 % of the whole soil area requiring that kind of intervention. According to IUNG in Puławy the total soil area of the permanent water deficiency amounts 134688 ha, while the seasonal one 351545 ha.

Table 2 The needs of arable land irrigation in the river basins in the Masurian Lake District (within the former Olsztyn and Suwałki provinces borders)

Tabela 2 Potrzeby nawodnienia użytków rolnych w zlewniach rzek Pojezierza Mazurskiego (w granicach byłego woj. olsztyńskiego i suwalskiego)

No Lp	River Rzeka	Basin Zlewnia km ²	System nawodnienia Irrigation system		Razem Total	Stopień pilności Degree of urgency
			upward irr. podsiąkowe	sprinkling deszczownicane		
1.	Łyna with Guber, Omet, Oświnka	5591.4	23470	53030	76500	I
2.	Węgorapa with Goldapą, Pisa	1800.8	1840	4870	6710	III
3.	Szeszupa	300.4	660	700	1360	III
4.	Czarna Hańcza	1289.4	3620	-	3620	III
5.	Rospuda-Netta, Augustowski Canal	2322.4	15030	900	15930	III IV
6.	Lega	748.8	220	2960	3180	III
7.	Elk	1155.5	840	500	1340	III
8.	Pisa with Krutynia	3198.8	11180	4540	15720	IV
9.	Szkwa	274.0	1760	410	2170	IV
10.	Rozoga	231.2	7040	-	7040	IV
11.	Omulew	1264.8	9870	980	10850	IV
12.	Orzyc	763.9	4010	-	4010	IV
13.	Wkra	502.4	4830	5700	10530	II
14.	Drwęca	2772.1	11220	9960	21180	II
15.	Osa	143.5	610	-	610	II
16.	Liwa	18.8	70	-	70	II
17.	Dzierzgon	32.5	170	-	170	II
18.	Pasłęka	997.9	4870	7170	12040	I
Total Razem		23408.6	101310	91720	193030	

Thus, the area of real irrigation needs is estimated as 486233 ha. The soils requiring agricultural irrigation make 40.4% of arable lands. As regards the climatic criterion, which is widely used in Europe, it shows that the maximal irrigated soil area in large farms ranges from 10-20% of arable lands (taking the latitude of the study area into account). Thus, some other interventions should be undertaken towards the water deficiency decrease on the areas (293203 ha) not provided for irrigation.

CONCLUSIONS

The research on the agricultural irrigation problems in the Masurian Lake District shows the very complex environmental and economical as well as cultural and social situations. Taking into account all the problems connected to the agricultural irrigation methodology, the following conclusions can be derived:

1. Trace amounts of present agricultural irrigation estimated as 21.0 - 23.2 thousand ha (1.8 % of arable lands) indicate the need of irrigated area enlargement at about 10 – 20% on the region scale.. The total area of irrigation systems requires 193030 ha what makes 16% of arable lands there. The area of that size does not break the climatic and organising criteria of agriculture.
2. Conventional methods of agricultural organising have been applied for last 50 years during both socialistic and capitalistic systems and do not cherish hopes of the economical trend increase as for agricultural irrigation intensifying. One of the alternative methods is reactivation of ecological family-farms of a high ethical and cultural level.
3. The possibilities of upward irrigation or sprinkles usage is limited to those farms (mentioned in the 2nd point) where the arable lands take 15 – 20% of area. The unfavourable for agricultural production, soil and water as well as climatic factors, in conditions of global crisis, create a barrier for productive and organising efforts. Thus, theoretically evaluated irrigation needs in face of declining agricultural potential should be treated as a rough estimation – extremely difficult to become realised. Nevertheless, the research on that domain enables to determine some catastrophic phenomena's origin what could help counteracting critical situations.

-
4. The decreasing amount of domestic live-stock should be treated only as a signal of changes in the consumption structure. Plant food has gained a predominant role over milk and meat products. In the light of healthy, ethical and economical aspect it can be treated as a positive trend of preventive treatment.
 5. Both the theory as well as practice show the influence of feeding trends on organising changes in agriculture. On one hand, the consumptive cultivations seem to be indispensable, and on the other – the feed cultivations should be in the exerted regress.
 6. Significant effects for agriculture may be obtained under condition of irrigation techniques dissemination.
 7. Preferential character of irrigation usage in the section of horticultural consumptive cultivations is confirmed by the studies on the water needs carried out with the method of effective evaporation by IUNG in Puławy (Poland). According to these studies, in the period of 1970 –1990 the decades number with the soil drought in the Masurian Lake District is divided into following sections:
 - 105 – 170 – potatoes
 - 18 – 140 – sugar beet
 - 20 – 80 - winter wheat
 8. The present research should aim at the synchronisation of horticulture regionalization with the irrigation needs.
 9. Advanced program of hydropowers building related to surface retention reservoirs should be adapted to the water distribution into irrigated areas.
 10. The method of water deficiency decreasing with the reclamation and fito-reclamation techniques should be used due to lower investment and working costs. The possible increase rate of the soil retention is estimated as 2554 mln m³, whereas the present soil retention amounts 1560 mln m³.
 11. The propositions presented in the paper, could have an influence on setting back of the critical situation in the region, although it may seem to be irreversible.

REFERENCES

- DRUPKA S., KRYŃSKA D., KUŹNIAR A., 1997, Klimatyczno-rolnicze kryteria oceny potrzeb nawadniania w Polsce, z. 39, Falenty IMUZ, s. 9-18
- GAJDA J., MIKOŁAJCZYK Z., 1995: Zasady użytkowania łąk i pastwisk oraz konserwacji pasz objętościowych w świetle współczesnych wyników krajowych i zagranicznych. Zesz. Nauk. SGGW Warszawa. Kierunki rozwoju łąkarstwa na tle aktualnego poziomu wiedzy w najważniejszych jego działach s. 36-50.
- KAWECKI Z., ILASZ Z., 1983: Oplacalność produkcji wybranych gatunków roślin sadowniczych w warunkach makroregionu północno-wschodniej Polski. Zesz. Nauk. ART Olsztyn. Wybrane zagadnienia z opłacalności produkcji rolnej, s. 85-111.
- Komisja Planowania przy Radzie Ministrów: Zespół planowania Regionalnego (1983): Podstawowe problemy gospodarki wodnej w Makroregionie Północno-Wschodnim, Białystok.
- KRYŃSKA W., MARTYNIAK B., 1986: Efektywność nawodnień deszczownianych roślin warzywnych uprawianych w Polsce Północno - Wschodniej w świetle wieloletnich badań. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. ,z. 268, s. 565-581.
- MICHAŁOWSKI K., 1993: Zamierzenia i kierunki rozwoju rolnictwa w obszarach chronionych Makroregionu Północno-Wschodniego. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Olsztynie. Ochrona walorów środowiska przyrodniczego woj. olsztyńskiego oraz kierunki rozwoju rolnictwa w obszarach chronionych. s. 27-57.
- MYDLAK M., 1994: Społeczno - kulturowe uwarunkowania świadomości ekologicznej rolników. Autonomiczny Komitet Ekspertów Ekologicznych Olsztyn-Warszawa. Człowiek i świat przyrody -edukacja ekologiczna. s. 184-193.
- NOWICKI Z., 1990: Hydrologiczne i techniczne możliwości retencjonowania wód na Pojezierzu Mazurskim. Acta Acad. Agricult.Tech. Olsz. Geod. Ruvis regulatio, No 20, s.185-193.
- NOWICKI Z., BŁASZCZYK M., (1994): Od wpływ na sieci rzecznej wskaźnikiem zmian atmosferycznych. ART Zakład Agrometeorologii. Olsztyn, s. 136-138.
- NOWICKI Z., SOLARSKI H., 1995: Melioracje ekologiczne obszaru Polski Północno-Wschodniej. Probl. Kompleksowego Urząd. Gmin. cz. V, Ossolineum, s.47-54.
- ROJEK M., 1994: Niedobory opadowe wybranych roślin uprawnych na terenie Polski w okresie 1951-1990. ART Zakład Agrometeorologii, Olsztyn, s. 143-150.
- SOLARSKI H., 1989: Ekologiczne podstawy gospodarowania wodą w rolnictwie Pojezierza Mazurskiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 343, s.9-17.

Streszczenie: *Problematyka nawodnień rolniczych na Pojezierzu Mazurskim.* W pracy przeanalizowano problematykę nawodnień rolniczych na Pojezierzu Mazurskim. Aktualnie wykonane zabiegi nawadniające na powierzchni 23,2 tys. ha należałoby traktować jako formę śladową w stosunku do potrzeb określonych na wartość 193030 ha. Priorytetowe uszeregowanie użytków nawadnianych winno być następujące: użytki zielone, uprawy warzywnicze i sadownicze, paszowe uprawy polowe, okopowe, zboża konsumpcyjne.

Authors' address:

Zygmunt Nowicki, Katarzyna Glińska
Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Plac Łódzki 2
10-759 Olsztyn-Kortowo
e-mail: irecym@moskit.uwm.edu.pl

Impact of area management on the cleanliness of Trybska Rzeka water stream

ZENON PIJANOWSKI, WŁODZIMIERZ KANOWNIK

Department of Land Reclamation and Environmental Development, Agricultural University of Cracow

Abstract: *Impact of area management on the cleanliness of Trybska Rzeka water stream.* The study presents results of research, carried out in the period 1994-1998, that was concerned with measuring concentrations of the following chemical compounds and elements: NO₃, NH₄, PO₄, SO₄, K, Ca, Na, Mg, Fe, Cl, and determining pH, dry remains and remains after parching. On the basis of the measurements taken, guaranteed concentrations were calculated using the method of estimating distribution parameters at different probability (guarantee) levels.

Key words: surface water chemism, contamination, water quality

INTRODUCTION

Water is a very important element that shapes the natural environment, accompanying all living functions of both organisms and ecosystems. For this reason, the quality of surface water must be under current control in order to assess the cleanliness of water and determine the degree of efficient protection against contamination. This is done on the basis of the Regulation of the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry of November 5th, 1991, which sets up a three-level classification of inland surface water cleanliness and provides values of 57 contamination indicators (in Appendix 1 to the Regulation) that determine the cleanliness class and the scope of eventual exploitation for the water tested.

In order to assess water quality, indicator values measured in the water tested must be compared against respective normative values included in Appendix 1 to the Regulation.

However, no guidelines are provided with regard to the comparison process. For this reason, several various methods have been developed to calculate the expected value of e.g. typical concentrations, reliable concentrations and guaranteed concentrations.

The typical concentrations method, introduced in 1967 with the Regulation of the President of CUGW, was the basis for determining water quality. The method consists in calculating the arithmetical average of two least favourable values of an indicator. The main disadvantage of this method is that the final outcome of the assessment strongly depends upon the number of measurements taken within a given period of time. The reliable concentrations method (Mańczak, 1963) is based on the assumption that there is a relation between the concentration of contamination and the water flow volume in the water-course. The method consists in calculating the expected value of an indicator, given the average-low water flow over a period of many years - SNQ. The method is particularly work- and time-consuming as well as costly, and, according to Dojlidy (1999), the very rare good correlation values for particular points and indicators do not demonstrate any regularity.

The guaranteed concentrations method refers to concentrations that are not exceeded during $p\%$ of the period tested. An advantage of the method is that the guaranteed concentration value does not depend upon the number of data items, and the strictness of the assessment may be easily regulated by setting the guarantee level p as required by substantial reasons (economic, ecological or social) (Stojda, 1982).

This study contains a statistical analysis of selected flowing surface water characteristics, measured at four control points in the water-basin of the Trybska Rzeka stream, in the region of Polish Spisz, in the period 1994-98.

RESEARCH SCOPE AND METHODS

Measurements of the chemical content in surface and underground water in the water-basin of the Trybska Rzeka stream started in 1994. The assessment covered the measured concentrations of the following chemical compounds and elements in water: NO_3 , NH_4 , PO_4 , SO_4 , K, Ca, Na, Mg, Fe, Cl, as well as pH, dry remains and remains after parching. Water samples for chemical analyses were taken systematically every two weeks in the summer season and once a month in the winter season. The content of chemical compounds was measured in laboratory conditions. K, Ca, Na, and Mg content was determined using the flame photometry method, NO_3 content - using the distillation method, PO_4 and Fe - colorimetrically, SO_4 - through precipitation, Cl - titrimetrically, pH - potentiometrically, dry remains - in 105°C , remains after parching - in 550°C .

On the basis of the measurements, descriptive characteristics were calculated for the indicators measured, distribution parameters were prepared and guaranteed concentrations were calculated using the method of estimating distribution parameters at different probability (guarantee) levels.

CHARACTERISTICS OF SAMPLING POINTS

The sampling points are located in the water-basin of Trybska Rzeka, which issues into Bialka - a right-bank inlet to the Czorsztyn water reservoir, set up on the Dunajec River. In administration terms, the water-basin is situated in the area of districts of Łapsze Wyżne and Bukowina Tatrzańska, Małopolska Province. The area of the water-basin belongs to the macroregion called Pogórze Spiskie.

According to Gumiński, the water-basin area shall be classified as part of the 21st Carpathian District, with mountain climate. According to Hess's classification, the area is situated within the second climatic stage: moderate cold with average annual temperatures ranging from +4 to +6°C (from 700-750 to 1040 m above sea level). Vegetation period is 170-190 days long. Annual rainfall ranges from 740 to 840 mm. Summer rainfall is much greater than winter rainfall. The first snow cover appears at the end of September and in the beginning of October.

Autogenous, brown-green soil, of brown lixiviated and acidic soil class and proper brown soil class, is predominant. Acidic soil with a great share of skeletal parts can be mostly found under forests, other brown soil is mostly exploited for agricultural purposes. Due to the small permeability of Flysch layers, natural underground water outflows, such as sources, marshes and wetness, leakage and exudation, are abundant in the area discussed.

Pure mineral fertiliser consumption per 1 hectare of arable land amounted to approx. 35 kg NPK in the period of testing. Stable and liquid manure fertilisation is common, particularly in late fall, winter and early spring. 8 characteristic hydrometric profiles, referred to as points where water was sampled for physical and chemical testing, were selected in the water-basin. However, due to the limited volume of the publication, results from just 4 points are discussed, and the spatial location of the points in the water-basin is shown on Figure 1.

Point 1, located on the hydrometric overflow, closes the 0.129 km² large microbasin, of north-western exposure, east of the Trybszanka stream. 74% of the basin area is covered by mountain forests, and 26% of the upper part of the basin is permanent green land. There is a 0.430 km long, 6th class water-course in the basin, which is a right-bank inlet of Trybszanka, into which it issues at 1+880 km.

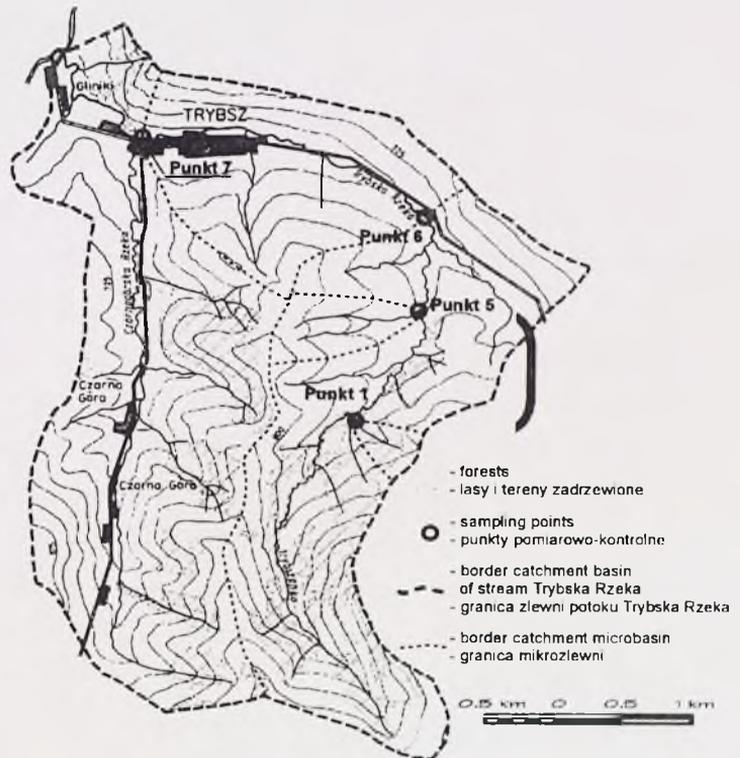
Point 5, situated on the hydrometric overflow, closes the 0.406 km² large microbasin of the Second Stream, located on an eastern slope, west of the Trybszanka stream. The water-basin is almost entirely exploited for agricultural purposes, permanent green land is predominant, covering 60% of the total area, arable land - 18%, barren land - 19%, and wooded land - 3%. The main water-course of the microbasin - "Second Stream", 0.980 km long (6th class), is a left-bank inlet of the Trybszanka river, into which it issues at 0+670 km.

Point 6, located on Trybska Rzeka at 3+800 km, closes the 5.25 km² large basin. The water sampling point is situated upstream of the settlement area in the Trybsz village. There are no buildings and no other permanent structures that might constitute a source of contamination which could reach surface water and affect the quality of this water in the basin - this was the main reason for selecting this place. 80% of the basin area is exploited for agricultural purposes, and just 20% of the area is covered by forests (the regional average is 42.3%).

Point 7, located on Trybska Rzeka at 1+350 km, closes the 7.60 km² large basin. The water sampling point is situated within the building area in the Trybsz village, approximately 50 m upstream of the Czarnogórska Rzeka's mouth in order to avoid any eventual impact on the quality of the water tested. This location was principally selected in the attempt to determine the impact of contamination generated in settlement areas, which may reach - through various ways - surface water flowing in their direct proximity.

The Trybsz village is inhabited by 759 people, and is characterised by a very compact housing and farm building structure. It is the only village in the district of Łapsze Niżne that is partly covered by a sewage drainage system. The sewage system network lies under the pavement on the right-hand side of the road from Nowy Targ to Łapsze Niżne. 535 m long section is located behind the slope, issuing partly into the Łazy stream, and partly into the Trybska Rzeka stream. The remaining 270 m long section

issues into the Trybska Rzeka stream. The sewage network is adjusted to absorb rainfall that falls down from the road through grating holes.



The main problem of the water and sewage management is the lack of water treatment plant, resulting in releasing household sewage, via the collector, directly to water-courses. Most farms, particularly those situated away from the sewage network course, have cesspits, which are often incorrectly constructed and improperly used.

RESEARCH RESULTS

The study presents results of measuring concentrations of selected chemical substances in the period 1994-1998.

Table 1 presents descriptive statistics of the chemical substances tested: arithmetical averages of the concentrations, minimum and maximum values measured during the testing period, standard deviation and skewness.

In the testing period, the highest average concentration of contamination in water could be observed in point 7, located within the building area in the Trybsz village. The greatest differences between water sampling points were recorded for dissolved phosphate concentrations that were over 4 times as high in the building area as values from the remaining points, chlorine concentrations - almost 3 times as high, potassium concentrations - twice as high.

The table also contains maximum concentration values of particular water indicators at each of the points discussed, recorded during the testing period. This provides information about the possibility of extremely high concentrations of contamination that may occasionally occur in test points in consequence of unpredictable circumstances.

The highest maximum concentrations were observed mostly in point 7, reaching the following values, e.g. Cl - 10.10 mg/dm³, PO₄ - 1.67 mg/dm³, NO₃ - 16.22 mg/dm³ or K - 4.7 mg/dm³.

Standard deviation, as a measure of data dispersing, determines the average deviation (difference) from the average. The more different the observations, the higher standard deviation.

On the other hand, skewness, as a measure of asymmetry, determines what is the direction of high deviations from the average that are predominant in the population: towards higher or lower values.

The interpretation of skewness may be helpful in determining the type of theoretical distribution that describes the empirical distribution of a given indicator.

Impact of area management on the cleanliness ...

Table 1. Selected descriptive statistics of chemical element concentrations in mg/dm³, general suspension and pH in surface water in particular sampling pointsTabela 1. Wybrane statystyki opisowe stężeń składników chemicznych w mg · dm⁻³, zawiesiny ogólnej oraz pH w wodzie powierzchniowej w poszczególnych punktach pomiarowych

Index Wskaźnik	Point Punkt	Descriptive statistics Statystyki opisowe				
		Arithmetic mean Średnia arytmetyczna	Minimum	Maximum	Standard deviation Odchylenie standardowe	Skewness Skośność
pH	1	7,81	6,18	8,71	0,456	-0,740
	5	7,81	6,90	8,70	0,383	-0,201
	6	7,99	7,02	8,83	0,370	-0,462
	7	8,00	7,11	8,58	0,318	-0,593
N _{NH₄⁺}	1	0,65	0,06	1,51	0,346	0,459
	5	0,63	0,17	1,34	0,284	0,610
	6	0,50	0,11	1,23	0,223	1,051
	7	0,80	0,22	1,62	0,290	0,378
N _{NO₃⁻}	1	4,02	0,22	8,79	2,663	0,202
	5	4,68	0,34	12,88	3,545	0,606
	6	3,90	0,34	11,48	3,243	0,781
	7	4,84	0,45	16,22	3,777	0,861
PO ₄ ⁻³	1	0,057	--	0,196	0,050	0,685
	5	0,060	--	0,225	0,054	1,040
	6	0,062	--	0,375	0,072	2,147
	7	0,276	--	1,670	0,242	3,118
Fe ^{+2/+3}	1	0,076	--	0,536	0,088	3,396
	5	0,131	--	0,358	0,086	0,714
	6	0,067	--	0,337	0,077	1,856
	7	0,139	--	0,521	0,111	1,163
K ⁺	1	0,82	0,03	1,90	0,463	0,405
	5	0,69	0,08	1,60	0,399	0,783
	6	0,88	0,17	2,40	0,544	1,109
	7	1,66	0,05	4,70	1,099	0,808
Cl ⁻	1	1,17	--	2,30	0,674	-0,162
	5	1,09	--	5,10	1,222	1,443
	6	0,86	--	2,20	0,576	0,192
	7	3,19	--	10,10	1,914	1,279
Na ⁺	1	3,79	--	12,30	2,396	1,471
	5	7,38	--	24,08	5,018	1,538
	6	6,00	--	14,16	3,340	0,814
	7	8,47	0,70	19,70	4,736	0,915
Mg ⁺²	1	7,92	0,55	16,57	2,978	0,692
	5	7,70	0,42	18,10	3,667	0,943
	6	7,99	0,52	15,80	2,671	0,250
	7	8,59	0,46	17,24	3,041	0,082
Ca ⁺²	1	44,42	12,31	73,22	14,127	-0,365
	5	44,87	9,61	74,11	16,216	-0,209
	6	45,07	15,00	71,23	12,644	-0,435
	7	54,76	12,01	77,09	13,425	-1,132
SO ₄ ⁻²	1	27,79	10,51	53,35	7,404	1,163
	5	23,04	4,33	89,81	12,485	3,167
	6	31,16	15,86	66,33	9,702	1,067
	7	35,94	9,68	65,30	10,540	0,539
Dry residue Sucha pozostałość	1	196,58	20,00	294,40	54,262	-0,513
	5	202,03	52,00	398,00	73,663	0,269
	6	213,79	78,60	303,40	42,971	-0,600
	7	250,31	54,00	336,80	52,984	-0,983
Remains after parching Pozostałość po prażeniu	1	48,32	8,00	124,80	27,417	0,806
	5	46,98	14,40	129,80	24,559	1,089
	6	42,87	10,80	117,80	24,832	1,100
	7	60,35	18,00	127,00	27,956	0,536

-- trace amount

-- ilości śladowe

Guaranteed concentrations were calculated using the greatest reliability method, on the basis of density function for the tested probability of concentrations. For this reason, a theoretical distribution that approximates the empirical distribution was selected for each indicator. For this purpose, concentration values were grouped into separate classes for each sampling point, distributive series and histograms were prepared.

It was assumed that hypothetical functions describing the empirical distribution of measured concentrations may be close to the normal, logarithmic-normal or gamma distribution. Their parameters were estimated using the greatest reliability method. Then, the distributions were verified with the χ^2 -Pearson concordance test, which consists in comparing the empirical and theoretical numbers in particular ranges, and the λ - Kolmogorov test, empirical and theoretical distribution values were compared. Distributions that conformed with test conditions at $\alpha=0,05$ were subject to further analysis.

Following the physical interpretation of the phenomenon tested, the final selection of the theoretical distribution was made. Due to the fact that contamination values constitute positive random variables, with unlimited top values, distributions with long right-hand end (logarithmic-normal or gamma distribution) were often favoured. Table 2 presents indicators grouped according to the adjusted distributions - the same distribution type, but with different parameters resulting from statistical calculations, was assumed for all points within a single indicator. It was gamma distribution that turned out to be the best adjusted theoretical distribution describing the empirical distribution for NH_4 , NO_3 , Na; logarithmic-normal distribution - for Fe, K, SO_4 and remains after parching; normal distribution - for all other contamination indicators. Now, knowing theoretical distributions that approximate empirical distributions of particular concentrations, guaranteed concentrations were calculated at the appropriate probability level, i.e. that is not exceeded in $p\%$ time during the year, and p is the guarantee (probability) level, e.g. $p=95\%$ means that a lower concentration than the calculated guaranteed concentration of a given contamination may be expected 348 days in the year, and a higher concentration - 18 days in the year.

Impact of area management on the cleanliness ...

Table 2. Theoretical distributions approximating respective empirical distributions of water contamination indicator concentrations, with their respective parameters

Tabela 2. Rozkłady teoretyczne aproksymujące rozkłady empiryczne stężeń wskaźników zanieczyszczeń wody wraz z ich parametrami

Index Wskaźnik	Point Punkt	Distribution Rozkład	Distribution parameters Parametry rozkładu	
			Mathematical expectation μ Nadzieja matematyczna μ	Standard deviation σ Odchylenie standardowe σ
pH	1	Normal Normalny	7.8073	0.4559
	5		7.8082	0.3832
	6		7.9894	0.3698
	7		7.9962	0.3184
PO ₄ ⁻³	1		0.0566	0.0501
	5		0.0601	0.0541
	6		0.0620	0.0720
Cl ⁻	1		1.1673	0.6736
	5		1.0891	1.2215
	6		0.8597	0.5757
	7		3.1929	1.9136
Mg ⁺²	1		7.9216	2.9779
	5		7.7049	3.6667
	6		7.9903	2.6707
Ca ⁺²	1		8.5850	3.0406
	5		44.4205	14.1267
	6	44.8671	16.2155	
	7	45.0733	12.6437	
Dry residue Sucha pozostałość	1	54.7583	13.4254	
	5	196.5800	54.2622	
	6	202.0255	73.6629	
	7	213.7875	42.9708	
			Mathematical expectation μ Nadzieja matematyczna μ	Standard deviation σ Odchylenie standardowe σ
Fe ^{+2/+3}	1	Logarithmic-normal Logarytmiczno-normalny	-2.8557	0.8325
	5		-2.1668	0.6628
	6		-3.0484	0.9716
	7		-2.2751	0.8934
K ⁺	1		-0.4289	0.7954
	5		-0.5574	0.6558
	6		-0.3142	0.6451
SO ₄ ⁻²	1		0.2346	0.8549
	5		3.2911	0.2641
	6		3.0353	0.4440
	7		3.3948	0.2971
Remains after parching Pozostałość po prażeniu	1		3.5361	0.3172
	5		3.7054	0.6231
	6		3.7191	0.5224
	7		3.6025	0.5632
			Scale parameter α Parametr skali α	Shape parameter λ Parametr kształtu λ
N _{NH₄⁺}	1	Gamma Garna	0.2322	2.7904
	5		0.1281	4.9011
	6		0.1037	4.8145
	7		0.1120	7.0974
N _{NO₃⁻}	1		2.4162	1.6634
	5		3.1952	1.4638
	6		2.9431	1.3264
	7		3.1764	1.5236
Na ⁺	1		1.1618	3.2588
	5		2.5896	2.8489
	6		1.6405	3.6576
	7		2.8443	2.9791

However, the literature does not univocally specify the guarantee level p at which the calculated value should be compared with the normative value*, and therefore Table 3 contains guaranteed concentrations calculated using the method of estimating distribution parameters at different probability levels p : 50%, 90%, 95% and 99%.

In comparing guaranteed concentrations, the worst results are observed in case of surface water taken from the building area (point 7), where almost all indicators reach the highest values, with small exceptions, e.g. NH_4 that reaches the highest value, depending on the guarantee level, at $p=90\%$ in point 7 - 1.19 mg/dm^3 , and at $p=99\%$ in point 1 - 1.87 mg/dm^3 .

At the guarantee level $p=50\%$, it was only water taken from the water-course in the settlement area that was classified into class II, due to the concentration of dissolved phosphates that amounted to 0.276 mg/dm^3 . The remaining waters (points 1, 5, 6) were classified into class I.

Water quality radically goes down at the guarantee level $p=90\%$ - water taken from all points was classified into class III, due to the concentration of nitrate nitrogen that exceeded the threshold value of 7 mg/dm^3 , reaching as much as 10.05 mg/dm^3 in the building area. Ammonium nitrogen concentrations in points 1, 5 and 7 and PO_4 concentration in point 7 were within the range specified for class II. Also, pH reaction of water exceeded the top range of values, established at the level of 8.5 for class I water, in points 1, 6 and 7.

At the probability level $p=99\%$, water from points 5, 6 and 7 was assigned the non-class water status, as the content of NO_3 was exceeded - 17.89 mg/dm^3 in point 5; 15.65 mg/dm^3 in point 6 and 18.17 mg/dm^3 in point 7.

* Regulation of the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forests of November 5th, 1991, on water classification 1991. Dz. U. [Journal of Laws] no. 116, item 503.

Table 3. Guaranteed concentrations of water properties at sampling points, calculated using the method of estimating distribution parameters at different probability levels

Tabela 3. Stężenia gwarantowane cech wody w punktach pomiarowo-kontrolnych obliczone metodą estymacji parametrów rozkładu przy różnych poziomach prawdopodobieństwa

Index Wskaźnik		Point Punkt															
		1				5				6				7			
		Probability level Poziom prawdopodobieństwa (gwarancji)															
		50%	90%	95%	99%	50%	90%	95%	99%	50%	90%	95%	99%	50%	90%	95%	99%
pH	Min.	7,81	7,06	6,91	6,63	7,81	7,18	7,06	6,82	7,99	7,38	7,26	7,04	8,00	7,47	7,37	7,18
	Max.	8,56	8,70	8,98	8,44	8,56	8,80	8,60	8,71	8,94	8,60	8,71	8,94	8,52	8,62	8,82	
N _{NH₄⁺}	mg·dm ⁻³	0,57 ²	1,17 ²	1,39 ²	1,87 ²	0,59 ²	1,01 ²	1,15 ²	1,47 ²	0,47	0,80	0,92 ²	1,17	0,76	1,19 ²	1,34 ²	1,65
N _{NO₃⁻}		3,25 ³	8,17 ³	10,12 ³	14,49 ³	3,67 ³	9,80 ³	12,28 ³	17,89 ^N	2,98 ³	8,38 ³	10,60 ³	15,65 ^N	3,83 ³	10,05 ³	12,54 ³	18,17 ^N
PO ₄ ⁻³		0,057	0,121	0,139	0,173	0,060	0,129	0,149	0,186	0,062	0,154	0,180 ²	0,229 ²	0,276 ²	0,587 ²	0,675 ³	0,840
Fe ^{+2/+3}		0,058	0,167	0,226	0,399	0,115	0,268	0,341	0,535	0,047	0,165	0,234	0,455	0,103	0,323	0,447	0,821
K ⁺		0,65	1,80	2,41	4,14	0,57	1,33	1,68	2,63	0,73	1,67	2,11	3,28	1,26	3,78	5,16	9,24
Cl ⁻		1,17	2,03	2,28	2,73	1,09	2,65	3,10	3,93	0,86	1,60	1,81	2,20	3,19	5,65	6,34	7,64
Na ⁺		3,41	6,60	7,76	10,27	6,53	13,24	15,72	21,10	5,46	10,21	11,91	15,58	7,55	15,06	17,82	23,81
Mg ⁺²		7,92	11,74	12,82	14,85	7,70	12,40	13,74	16,23	7,99	11,41	12,38	14,20	8,59	12,48	13,59	15,66
Ca ⁺²		44,42	62,52	67,66	77,28	44,87	65,65	71,54	82,59	45,07	61,28	65,87	74,49	54,76	71,96	76,84	85,99
SO ₄ ⁻²		26,87	37,70	41,49	49,67	20,81	36,75	43,19	58,45	29,81	43,62	48,59	59,49	34,33	51,55	57,85	71,81
Dry residue Sucha pozostałość	196,58	266,12	285,83	322,81	202,03	296,43	323,19	373,39	213,79	268,86	284,47	313,75	250,31	318,21	337,46	373,57	
Remains after parching Pozostałość po prażeniu	40,67	90,37	113,33	173,29	41,23	80,53	97,36	138,99	36,69	75,51	92,66	136,02	53,88	101,50	121,46	170,09	

² - Class II;
² - Klasa II;

³ - Class III;
³ - Klasa III;

^N - Non-class water
^N - woda pozaklasowa

CONCLUSIONS

1. On the basis of testing surface water, main contamination elements contained in water, and at the same time sources of contamination, can be determined, what will provide for working out efficient methods and means of protecting water in the area.
2. Indicators that most often deteriorate the quality of inland surface water include: nitrogen compounds and pH reaction of water - on agricultural land; and phosphorus compounds in settlement areas.
3. Non-class water can be observed only at a very rigorous guarantee level $p=99\%$, due to the concentration of nitrate nitrogen that exceeds 15 mg/dm^3 .
4. The highest concentrations of contamination elements in surface water were observed in point 7, what confirms the thesis that water contamination in rural areas comes mostly from settlement areas.
5. It should be noted that water could not be regarded as "clean" in point 1, which closes the water-basin, almost entirely covered with forests, due to high concentrations of nitrogen compounds.

REFERENCES

- DOJLIDO J., WOYCIECHOWSKA J. 1999: Ocena jakości wód rzecznych - propozycja nowej metody. *Gospodarka Wodna*. Nr 4/1999. 142-147.
- JANIO K. 1990: Ocena czystości wód Prosnicy w latach 1984-1986. *Gospodarka Wodna*. Nr 11/90. 258-259.
- JANIO K., JANKOWSKI J., WIKTOROWSKI S. 1988: Statystyczna ocena czystości Rawki w rejonie Rawy Mazowieckiej. *Gospodarka Wodna*. Nr 4/88. 89-92.
- MANCZAK H. 1963: Zastosowanie metody statystycznej do oceny stopnia zanieczyszczeń wód rzecznych na podstawie wyników periodycznych badań wody w przekrojach pomiarowo-kontrolnych. *Prace Instytutu Gospodarki Wodnej*. T. II.
- PIJANOWSKI Z., KANOWNIK W. 1997: Zmienność stężeń wybranych substancji chemicznych w wodach powierzchniowych przepływających przez tereny wiejskie o

różnym zagospodarowaniu. Roczn. AR Poznań, CCXCIV, Melio. Inż. Środ. 19, cz. 2: 347-358.

PIJANOWSKI Z., RUMIAN A., KANOWNIK W. 1995: Wpływ użytkowania mikrozelewni górskich na skład chemiczny odpływu wód powierzchniowych. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Sesja Naukowa, 45, 23-33.

STOJDA A. 1982: Porównanie niektórych charakterystyk statystycznych jakości wód płynących. Gospodarka Wodna. Nr 6/1982. 86-91.

Streszczenie: *Wpływu zagospodarowania terenu na stan czystości wód potoku Trybska Rzeka.* Opracowanie przedstawia wyniki badań prowadzonych w latach 1994-1998, które obejmowały pomiary stężeń w wodzie powierzchniowej, płynącej, następujących związków i pierwiastków chemicznych: NO₃, NH₄, PO₄, SO₄, K, Ca, Na, Mg, Fe, Cl, oraz oznaczenia pH, suchej pozostałości i pozostałości po prażeniu. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono stężenia gwarantowane wskaźników metodą estymacji parametrów rozkładu przy różnych poziomach prawdopodobieństwa (gwarancji).

Author's address:

Zenon Pijanowski

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska

Akademia Rolnicza w Krakowie

30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28

The effect of polymer barrier on soil water regime under subsurface drip irrigation

WIESŁAW PTACH

Department of Environmental Engineering and Land Improvement
Warsaw Agriculture University

Abstract: *The effect of polymer barrier on soil water regime under subsurface drip irrigation.* Subsurface drip irrigation is a viable water conservation technology in agriculture. However some limitations of this irrigation technique are still evident. One of them is limited horizontal wetting of sandy soils root zone, which is attributed to the rapid water percolation and low water retention capacity of this kind of soils. Improving water retention capacity of sandy soils and reducing water percolation can be achieved by mixing soil with synthetic polymer conditioners. Absorbent polymers are a series of organic water retaining materials specifically designed to improve the capability of soils to hold water and plant nutrients. Laboratory model experiment of water flow in soil irrigated by buried drip lines is presented in the paper. New type of flow barrier as a layer of soil mixed with polymer absorbent conditioner was tested in sandy soil under subsurface drip irrigated lettuce. The barrier was located 5 cm under irrigation emitter and 25 cm below soil surface. The results of experiment demonstrate that polymer soil conditioners can maximize water use efficiency, maintain proper and constant moisture of root zone and significantly decrease water and fertilizers loss by deep percolation.

Key words: subsurface irrigation, polymer soil conditioners, flow barriers, water saving techniques

INTRODUCTION

Low natural productivity and too low rainfall to supply the majority of the irrigated crop water needs are major limiting factors of agricultural production in arid regions of the world. The low productivity of sandy soils which are of widespread occurrence in the Middle East and North Africa is attributed mainly to the low water retention capacity and bad nutrient sorption. The necessity of economic management makes that water application efficiency is, beside the soil moistening uniformity, one of the main estimation criteria of irrigation systems. Water application efficiency might be high, if the technical parameters of the given irrigation system and the irrigation technology were correctly selected. Contrariwise high water losses due to filtration into deep soil

horizons can occur, at an unsatisfactory or uneven moistening of the soil root zone. In subsurface irrigation change of water doses or their application frequency can regulate the soil moisture level. This possibility of an adaptation of the technical system to current water requirements of plants is a great advantage of subsurface irrigation. Another method of seepage elimination in subsurface irrigation is the barriers constructed below irrigation pipes. In the paper the results of laboratory experiments with polymer soil conditioner as a flow barrier are presented.

BARRIERS AND SOIL CONDITIONERS IN SUBSURFACE IRRIGATION

Subsurface drip irrigation (SDI) is a viable water conservation technology in agriculture. However some limitations of this irrigation technique are still evident. One of them is limited horizontal wetting of sandy soils root zone, which is attributed to the rapid water percolation and low water retention capacity of this soils. Water distribution in subsurface irrigation depends on the discharge of emitters and water characteristics of soils. (Fig. 1).

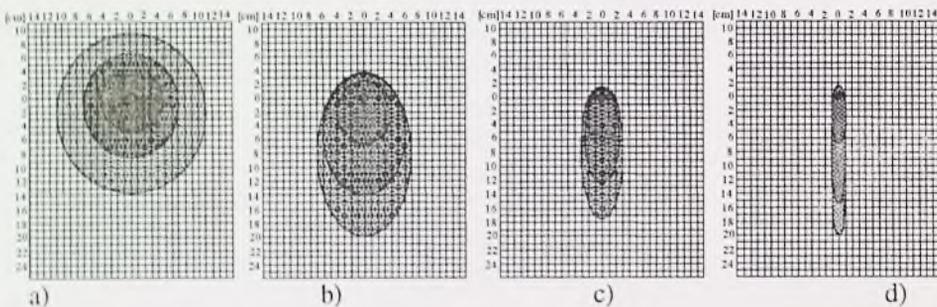


Figure 1. Experimental results of irrigation from buried point source of: a) heavy soils to d) sandy soils (Pierzgalski, 1990).

To improve a technique of manipulation the wetting pattern of subsurface irrigation can be use a several methods, which can be divided on two kinds:

- constructing technical barriers

- improving physical properties of the soils.

Barriers can be constructed from different materials. It has been used between others a clay, bitumen, and polyethylene foils. Influence of narrow strip of foil installed under buried point source on the distribution of soil water according to the model experiment is shown on Fig. 2. Recently most popular are barriers from polyethylene foil installed in various size and shape. That kind of barriers creates microreservoir of water, which can moistening root zone through capillary water flow. A barrier constructed from V-shaped impermeable membrane placed below the subsurface drip lines can viable reduce irrigation water loss through deep percolation (Welsh, Kreuter, Byles, 1995) and also keep the moisture of natural rainfall (Barth, 1995).

Improving water retention capacity of sandy soils can be achieved by mixing natural materials like: organic matter, crop residues or farm manure with soil surface (Balba, 1975). One of new approaches to reduce water percolation is incorporation of synthetic polymers within sandy soils (Helalia, El-Amir, Shawky, 1992). Absorbent polymers are a series of organic water

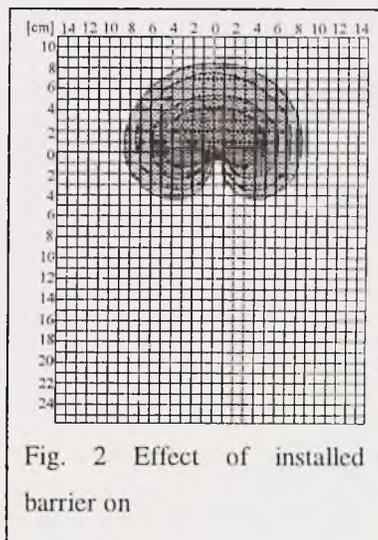


Fig. 2 Effect of installed barrier on

retaining materials specifically designed to improve the capability of soils to hold water and nutrients. Through controlled release of moisture absorbent polymer assists to achieving optimal moisture conditions for maximum plant growth and reduces the amount and frequency of watering and fertilizing required in all plant applications (Silberbush M., Adar E., Malech De Y., 1993a, 1993b). Application of synthetic soil conditioners also can have beneficial effects on soil conservation, by improving the soil structure and reducing the erodibility of soils (Brandsma. 1995).

MATERIALS AND METHODS OF INVESTIGATION

The experiment was designed to determine influence of barrier from soil mixed with polymer, created under subsurface drip line, on soil water content in root zone.

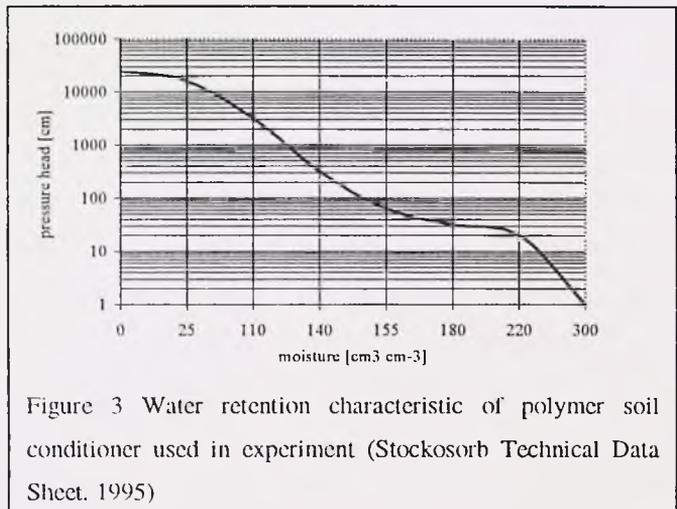
It was conducted in laboratory conditions in two PCV columns (30 cm ID, 100-cm length). On the bottom of both columns were installed a porous ceramic plates (1 bar, HF made by Soil Moisture Corporation) for collecting a percolated water. The columns were packed with sandy soil (98% sand, 2% silt) to average bulk density of $1,7 \text{ Mg m}^{-3}$. Polymer conditioner (Crosslinked acrylamide/acrylic acid copolymer, potassium salt),

Table 1

Physical and chemical properties of polymer used in researches.

Type of polymer soil conditioner	Particle size [mm]	Bulk density [g dm^{-3}]	Plant available water [%]	pH	Swelling time to reach the max. absorption [min]	Maximum absorption dist. water [$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$]	Maximum absorption 0,1 % NPK 20-10-20 [$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$]
Stockosorb 410 K	1 - 3	650 ± 30	95	8,3	45 ± 15	250	100

type 410 K, was separately mixed with dry soil in weight rate 0,4% and packed to the first column as a 5-cm layer on 5-cm under the emitter and 25 cm under the surface. Second container was a control without the polymer barrier. Pressure compensating emitters with a flow rate of $1,2 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$ were installed on 20-cm depth.



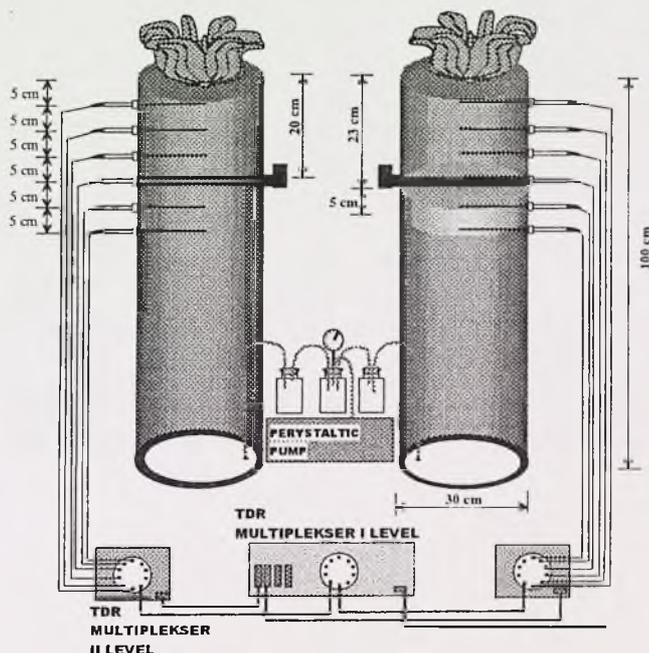


Figure 4

Scheme of columns with time domain reflectometry (TDR) probes and porous plates used for monitoring soil water changes and collecting percolated water.

To measure water content in soil was used Time Domain Reflectometry method. All TDR measurements were made with LOM/RS meter with two multiplexers of second level (EASY TEST, Lublin). The TDR probes (two-rod design, 15 cm long) were installed in columns, on depths: 10, 20, 25 and 30 cm below the soil surface. Results of automatic measurements of soil moisture were collected at 15-min intervals. Lettuce plant (one per column) was planted in the beginning of experiment. The first irrigation realized by emitters was applied for both columns at 15 day after planting. The measurements were started after the first irrigation dose.

RESULTS

Soil moisture dynamics and irrigation rates during experiment in two columns for 4 depths (15, 20, 25, 30 cm) are shown on Fig. 5.1-5.4).

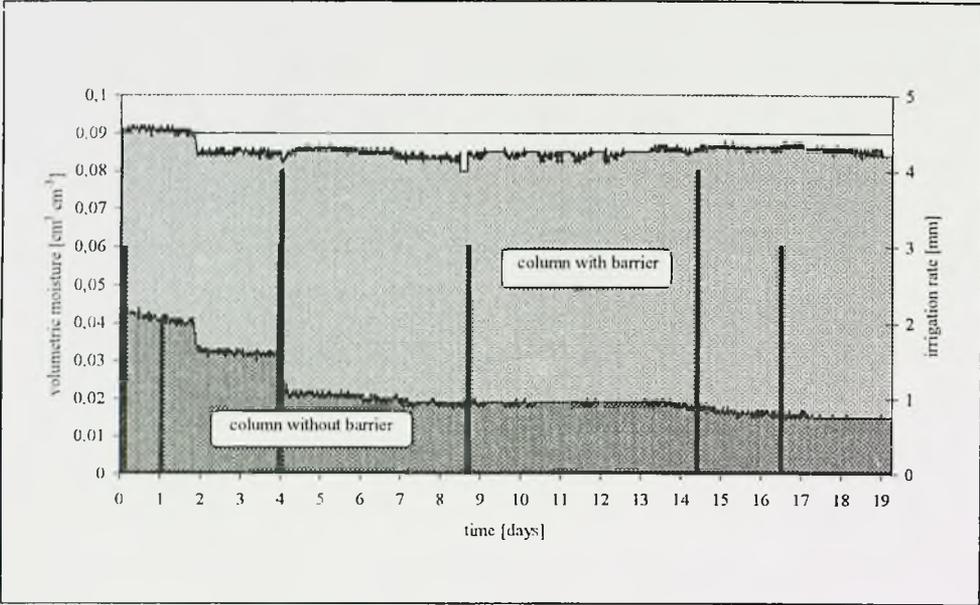


Figure 5.1 Effect of polymer barrier installed under subsurface drip line on soil moisture changes on depth 15 cm.

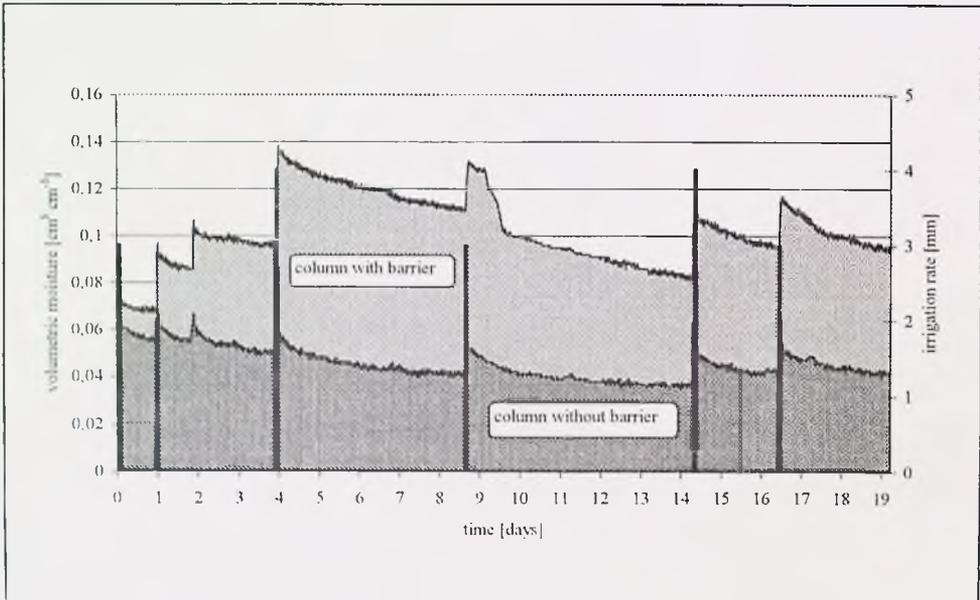


Figure 5.2 Effect of polymer barrier installed under subsurface drip line on soil moisture changes on depth 20 cm.

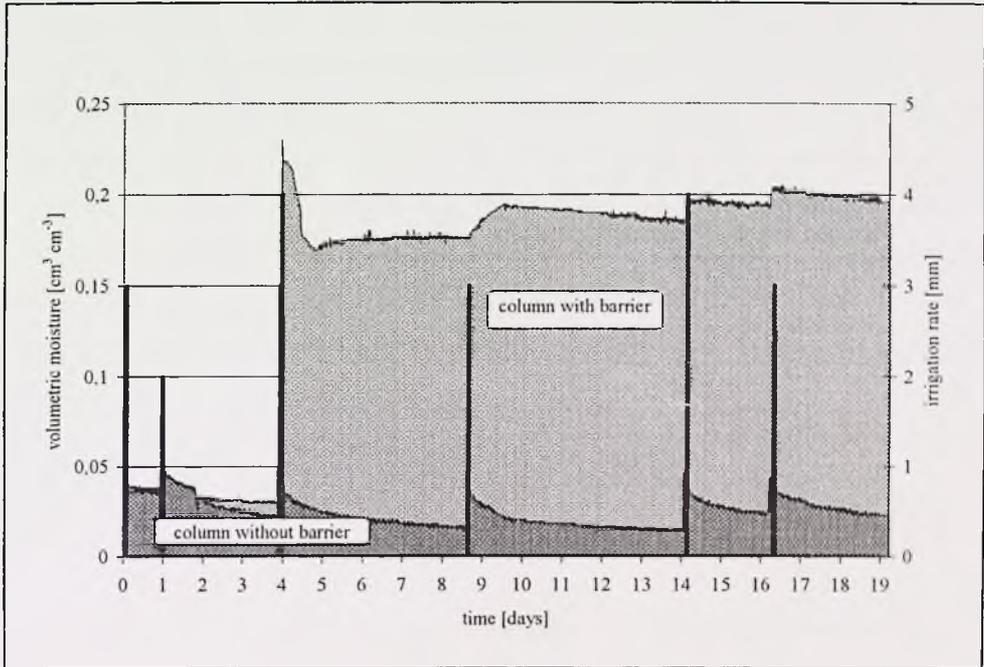


Figure 5.3 Effect of polymer barrier installed under subsurface drip line on soil moisture changes on depth 25 cm.

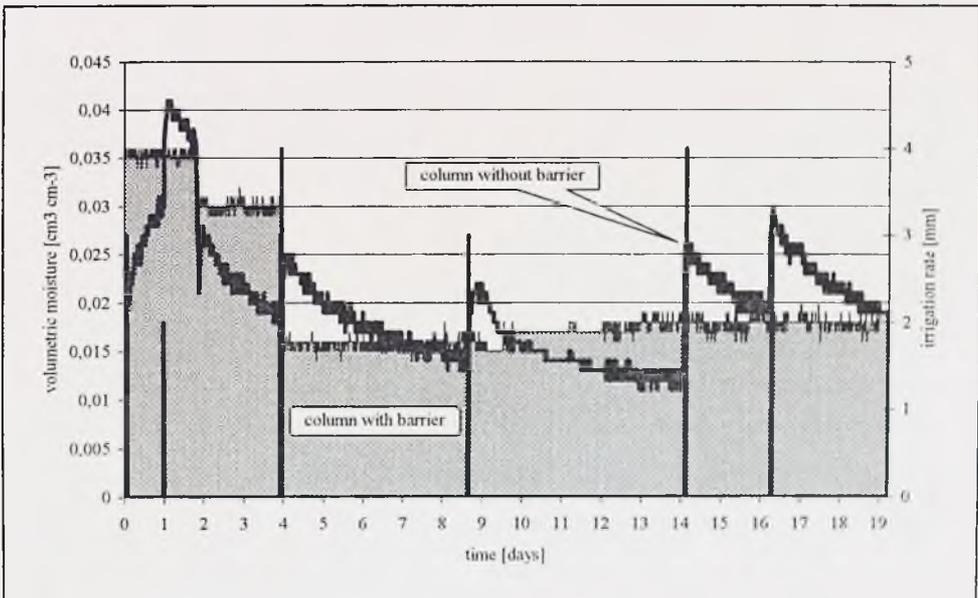


Figure 5.4. Effect of polymer barrier installed under subsurface drip line on soil moisture changes on depth 30 cm.

It can be observed the distinct differences in soil moisture changes between two soil profiles. Water content in column with polymer barrier higher and more stabile. It is spatially important for the layer when exist most of the plant roots (Fig. 4a). Soil retention capacity of the polymer barrier is well visible on the Fig 4c. Where the water content is about 4 times higher than moisture of soil without polymer. On the depth 5 cm below the barrier it can be observed stabile soil water content during experiment in reverse to the control column, where soil moisture changes are in accordance to the irrigation scheduling. It proved that polymer barrier can be successfully used in subsurface irrigation for reducing water loses. However open is the question about durability of such barriers.

CONCLUSIONS

Based on results of studies and laboratory experiment the following general conclusions were made:

1. Soil water distribution in subsurface irrigation depends on the soils. The theoretical solutions and experiments show the distinct differences between the water flow in heavy and sandy soils.
2. In the sandy soil due to rapid percolation and low water retention capacity there exists the high water losses, even if the small irrigation doses with high frequency are applicated.
3. Increase the efficiency of water irrigation is possible by:
 - improving soil retention capacity
 - constructing technical barriers
 - use of polymer barriers
4. According to the experimental results application of polymer barriers installed below SDI lines improved the soil moisture conditions in the root zone and decreased water loses by deep percolation.

REFERENCES

- BALBA A.M. 1975: Sandy Soils. FAO Soils Bulletin No. 25, Rome.
- BARTH H.K. 1995: Resources conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando, Florida.
- BRANDSMA R.T., FULLEN M.A., HOCKING T.J. 1995: Effects of a soil conditioner on soil erosion soil structure and crop performance. Proceedings of XXVI Conference IECA: Carrying the Torch for Erosion Control: An Olympic Task. 25th Feb.- 3rd March 1995. Atlanta, Georgia, USA
- HELALIA A.M., EL-AMIR S., SHAWKY M.E. 1992: Effects of Acrohope and Aquastore polymers on water regime and porosity in sandy soil. International Agrophysics, vol. 6, p19-25, Lublin.
- PIERZGALSKI E. 1990: Soil moisture control by subsurface irrigation. SGGW, Warsaw.
- SILBERBUSH M., ADAR E., MALACH DE Y. 1993a. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes. I Corn irrigated by trickling. Agricultural water Management, 23: 303-313.
- SILBERBUSH M., ADAR E., MALACH DE Y. 1993b. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes. II Cabbage irrigated by sprinkling with different water salinities. Agricultural water Management, 23: 315-327.
- STOCKOSORB TECHNICAL DATA SHEET. 1995. Stockhausen GmbH, Krefeld.
- WELSH D.F., KREUTER U.D., BYLES J.D. 1995: Enhancing subsurface drip irrigation through Vector FlowTM. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando, Florida.

Streszczenie: *Wpływ polimerowej bariery na uwilgotnienie gleby nawadnianej systemem wgłębnym. Nawodnienia wgłębne są zasobooszczędnym systemem nawadniającym. Pomimo licznych zalet posiadają jednak pewne ograniczenia w zastosowaniu. Jednym z nich jest ograniczona zdolność zwilżania strefy korzeniowej gleb piaszczystych, związana z dużą przepuszczalnością i małymi zdolnościami retencyjnymi tych gleb. Poprawę retencyjnych*

właściwości gleby, oraz redukcję strat wody poprzez przesiąki osiągnąć można dzięki zastosowaniu polimerowych kondycjonerów glebowych. Absorbenty polimerowe należą do grupy syntetycznych związków organicznych, specjalnie opracowanych dla poprawy zdolności gleby do retencjonowania wody i związków nawozowych. W pracy przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań nad wpływem polimerowej bariery na przepływ wody w glebie nawadnianej systemem podpowierzchniowym w warunkach uprawy sałaty. Bariere jako warstwę mieszaniny gleby z polimerem usypano 5 cm poniżej przewodu nawadniającego i 25 cm poniżej powierzchni gleby. Wyniki doświadczenia wskazują, że nowy typ bariery dzięki ograniczeniu przesiąków poza strefę korzeniową pozwala na zwiększenie efektywności wykorzystania wody i nawozów w nawodnieniach wglębnych.

Author's address:

Wiesław Ptach

SGGW, Katedra Kształtowania Środowiska

Ul. Nowoursynowska 166

02-787 Warszawa

Control of the ground water table using upward irrigation

ANDRZEJ REINHARD, GRZEGORZ JANIK

Institute of Land Reclamation and Environmental Development, Agricultural University,
Wrocław

Abstract: *Control of the ground water table using upward irrigation.* This paper presents possibilities of controlling ground water table by means of damming up of water in a ditch. The automatic control system was worked out and its operation was verified using the mathematical model based on the Boussinesque's equation. In this model the relationship, worked out on the basis of laboratory tests, describing changes of the draining coefficient in relation to the velocity of water table movement in the soil was applied. Two methods of control were proposed and on the basis of the figure of merit criterion this method was chosen, which ensures the achievement of the assumed accuracy of the water table position in the soil.

Key words: control, mathematical model, water table dynamics in the soil.

INTRODUCTION

The crop yield of plants cultivated on green arable lands depends on the trophic and thermal conditions, genetic character of cultivated herbs, but most of all on air and water conditions in the plant root layer. The humidity of the soil depends on the quantity and frequency of precipitation, evapotranspiration, retention capacity, soil permeability and the depth of ground water occurrence (Brandyk, 1990, Łabędzki, 1993). Taking into account these factors, two types of water balance control in the soil profile may be distinguished: precipitation-water and soil-water. The previous type is present in soils, where the ground water is situated at a low level with respect to the surface level and does not affect the humidity of the root layer. The latter type of water balance control exists in profiles, where the ground water level is situated a short distance from the surface level and the top layer is supplied with, among other things, upward irrigation, and its humidity depends mainly on the capacity of the capillary raising of waters and on the level of ground water (Pływaczyk, 1988). Thus the rational control of water

resources on green arable lands is possible through the use of land melioration systems, serving to control the water level in the soil. This can be achieved by using the automation of land melioration systems. The application of weirs, for example, to control damming up of water in ditches enables the automatic control of water level in the soil. Models, which simulate the operation of various irrigation or drainage systems, give the possibility to choose the optimum solution for given land and atmospheric conditions (Reinhard, 1992, Fedes...,1978). Mathematical descriptions of the operation of weirs, which affect air and moisture conditions in the soil, are essential to design systems of ground water level automatic control and allow also to discover the negative influence of these systems on the adjacent area.

PURPOSE, SCOPE AND METHODOLOGY OF THE PAPER

The purpose of this paper is to describe and analyze the operation of the worked out systems of ground water table automatic control by means of damming up of water using weirs. To describe the water level movement in the soil and the influence of weirs, which raise the water level, on this movement, the suitability of mathematical model based on the Boussinesque's equation was studied. Various boundary conditions were introduced, which relate to the operation of water damming-up weirs, water supply sources and water intakes. The results obtained from numerical calculations and the results obtained from the carried out hydraulic laboratory tests were compared with each other to verify the suitability of the above- mentioned mathematical description.

In the present paper two methods of control were proposed and on the basis of the introduced figure of merit criterion this method was chosen, which ensures the achievement of the required accuracy of the water table level.

SYSTEM OF GROUND WATER TABLE CONTROL

The object of the control is the soil, which should maintain the optimum humidity at a given depth level. The position of the ground water table, which is a controlled variable in the presented example, was regarded as the indirect indicator of humidity. It was assumed that the level of water was essentially influenced by the level in a ditch,

precipitation and actual evapotranspiration. It was also assumed that only through variation of water level in a ditch it is possible to influence, independently of atmospheric and soil conditions, the soil moisture. Therefore this parameter was chosen as the input (controlling) signal.

The operation of systems controlling the weir, which dams up water in a 'complete' ditch (a ditch, whose bottom lies on the impermeable layer), was analyzed, assuming that the soil is homogeneous. The diagram of such systems is shown on figure 1. Two methods of the control were analyzed. In the first method it was assumed that the water level in the ditch should be raised when the average level of the water table H_{av} in the considered region is lower than the required optimum level H_0 . ($H_{av} < H_0$):

$$H_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i, \quad (1)$$

where:

H_{av} - actual, average water level in the region between 0 and $L/2$ (fig. 1),

n - number of measuring points,

H_i - water level in a piezometer with index i .

If $H_{av} > H_0$ then the level of water in the ditch should be lowered. The required water level H_0 is the optimum level, which ensures the appropriate humidity of the top layer of soil. The comparison of the required water level H_0 with the value of H_{av} is done at the summing node 2 (fig. 1). The obtained difference $H_0 - H_{av}$ is subsequently amplified W_z times and fed to the input of the electric motor operation control system (fig. 1), to obtain in effect, at the given time, the water level in the ditch equal to:

$$H_d = H_0 + W_z(H_0 - H_{av}), \quad (2)$$

where:

H_d - water level in the ditch,

H_0 - optimum water level,

W_z - controller amplification

In the second method of control it was assumed that the water level in the ditch should have been raised when the level of the water table at the measuring point, located in the middle of the spacing ($H_{L/2}$), is lower than the required level H_0 , ($H_{L/2} < H_0$), while when $H_{L/2} > H_0$ the water level in the ditch should be lowered. Similarly, as in case of the first method of control, the difference $H_0 - H_{L/2}$ is subsequently amplified W_z times

and the level of water in the ditch should be varied according to the following relationship:

$$H_r = H_0 + W_z(H_0 - H_{L/2}), \quad (3)$$

where: $H_{L/2}$ - water level at the middle of the spacing.

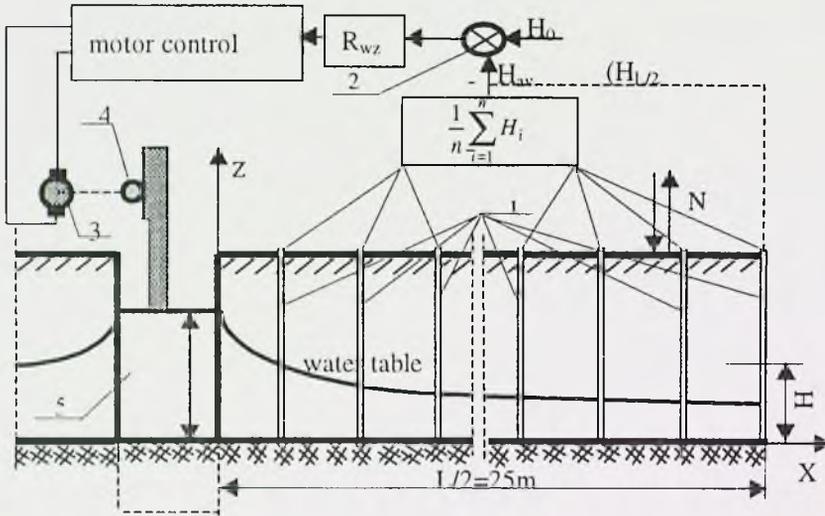


Fig. 1. Control of the water level in soil by means of controlled weirs.

1 - piezometers, 2 - summing node, 3 - electric motor, 4 - transmission, 5 - weir, N - net precipitation, H_0 - optimum water level, R_{wz} - control amplifier, H_d - water level in the ditch, $H_{L/2}$ - water level at the middle of the spacing, H_i - level of water in a piezometer with index i .

In order to carry out the analysis of the system shown on figure 1 and to find the level of water in the studied filtration region (between 0 and $L/2$) the following one-dimensional Boussinesque's equation was used:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(KH \frac{\partial H}{\partial x} \right) - N \quad (4)$$

where: H - ground water level,

μ - draining coefficient,

K - filtration coefficient,

t - time,

x - distance from the ditch side,

N - net precipitation.

In order to solve the equation 4, the following initial and boundary conditions were assumed:

$$\text{for } t=0 \text{ i } x>0: H=H_0, \quad \text{for } x=0: H=H_d, \quad \text{for } x=\frac{L}{2}: \frac{\partial H}{\partial x}=0. \quad (5)$$

The applied Kirchhoff's transformation causes that in the Boussinesque's equation a nonlinear coefficient occurs only before the time derivative. Having introduced a new variable

$$v = \int_0^H KHdH = \frac{1}{2}KH^2 \quad (6)$$

to the equation 4 and taking into account the relationship $\frac{\partial v}{\partial H} = KH$ and that $H = \sqrt{\frac{2v}{K}}$, the following equation was obtained:

$$\frac{\mu}{\sqrt{2vK}} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - N. \quad (7)$$

With new initial and boundary conditions:

$$\text{for } t=0 \text{ i } x>0: v = \frac{1}{2}KH_0^2, \quad \text{for } x=0: v = \frac{1}{2}KH_d^2, \quad \text{for } x=\frac{L}{2}: \frac{\partial v}{\partial x}=0. \quad (8)$$

To solve the equation 7, the finite-difference method was employed using an implicit scheme. The differential form of this equation may be written as follows:

$$\frac{\mu}{\sqrt{2v_i K}} \frac{v_i^{\Delta t} - v_i}{\Delta t} = \frac{v_{i+1}^{\Delta t} + v_{i-1}^{\Delta t} - 2v_i^{\Delta t}}{\Delta x^2} - N \quad (9)$$

where: v_i - value v at the point with index i at the time t ,

$v_i^{\Delta t}$ - value v at the point with index i at the time $t + \Delta t$,

Δx - space step (interval),

Δt - time step (interval).

Using the relationship 9 and taking into account the initial and boundary conditions, the difference equations were formulated for all nodal points lying along the section between 0 and $L/2$ (fig. 1). The operation of the water damming-up weir was taken into account as the Dirichlet's condition (i.e. for $x=0$, $H=H_d$). Having solved such a system of equations, using a computer program written in Turbo Pascal, the water levels in the studied filtration region (between 0 and $L/2$) were calculated.

 VERIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL

In order to verify the worked out model, a hydraulic channel with dimensions 530x130x110 cm was used, which was filled with sand and equipped with a water supply and drainage systems (fig. 2). The so-prepared channel was equipped with piezometers situated at 25 cm intervals, in which plastic tubes, working according to the principle of communicating vessels, that were installed and connected to the read-out panel, which made it possible to continuously record on the video-camera the variations of water levels in each of the 19 piezometers at the same time. Variations of the water level in the water-supply vessel, which simulated the operation of the ditch, were induced by supplying water from a water-pipe network or by draining it. The variations of the water table in the soil profile, at every 25 cm, were recorded and then read out using a stop frame method at every 2, 5, 10, 30, 60 or 90 minutes intervals, depending on the average velocity of water table rising or falling in the soil.

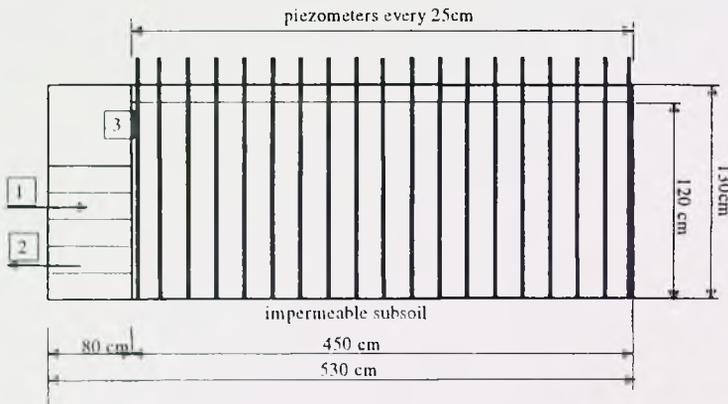


Fig. 2. Measuring channel section.

1 - water supply valve, 2 - drain valve, 3 - filter gauze membrane.

To apply the Boussinesque's equation it is required to find the filtration coefficient K and the draining coefficient μ . The value of the filtration coefficient $K=0,63 \text{ cm/min}$. was found by carrying out laboratory tests of soil samples in the apparatus with a constant hydraulic gradient. Additionally the basic soil parameters were determined in accordance with the standard PN-88/B-04481. The determination of the grading curve and the heterogeneity index ($U=2,05$) allowed to rate the studied soil as the

medium-grade homgranular sand. The value of the draining coefficient $\mu=0,11 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ was calculated using the relationship $\mu = 0,117\sqrt{K}$ (for $K=0,63 \text{ cm/min.}$).

In order to compare the results obtained from the computer simulation with results of tests obtained by measuring the ground water level in the hydraulic channel, the influence of water level variations in the water-supply vessel on the distribution of the ground water was analyzed. Two experiments were carried out. At the beginning of each experiment the same water level h ($h=90 \text{ cm}$ above the channel bottom) was set, and then as it had been set the water level in the water-supply vessel was varied according to two relationships different in each experiment:

$$h_d = h + \Delta h_s, \quad (10)$$

$$h_d = h + Mt \quad (11)$$

where: h_d - level of water in the water-supply vessel,

h - initial water level in the hydraulic channel,

Δh_s - change of the water level in the water-supply vessel for a step signal.

M - the slope of the straight line for a linear signal.

The signals, which were used to test the worked out mathematical model, were typical functions applied in analysis of automatic control systems. The unit step signal and the linearly increasing signal were used to identify parameters of the soil. The first experiment consisted in stepwise lowering by 15 cm or raising by 15 cm of the water level in the water-supply vessel (equation 10). Similarly in the second experiment the water level was varied in a linear way by 15 cm up and down (equation 11, $M=0,25 \text{ cm/min.}$). In each case the water levels in the soil were measured for the period of 24 hours. Having made the calculations (using the worked out model) it was found that the differences between the measured and calculated water levels in the soil ($\mu=0,11 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ and $K=0,63 \text{ cm/min.}$) were significant. This result confirmed the fact described in literature that the value of the coefficient μ may not always be assumed as constant (Zaradny, 1990). In order to find the variability of μ , another computer program was worked out, which enables to find the ratio μ/\sqrt{K} on the basis of data obtained from measurements of the water table in the hydraulic channel, by solving the reverse problem. In the program, the value of the ratio is matched so that for a given time moment the minimum value of absolute differences between the calculated and the

measured ground water levels was obtained. Knowing the value of K (obtained from laboratory tests) it is possible to calculate μ from the ratio μ/\sqrt{K} . The value of the coefficient μ is shown on figure 3 as the function of the average velocity of the ground water table movement.

From the conducted laboratory tests and numerical calculations it follows that the value of the coefficient μ may not be assumed as constant, especially in case of rapid changes of the water level in the soil. In the initial stage of irrigation or drainage, when the average velocity of the water table movement is the highest, this coefficient reaches he lowest values. Along with the decrease of the ground water table movement velocity, its value increases up to the value of the porosity coefficient ($n_e=0,41$), which is determined in accordance with the standard PN-88/B-04481.

In the following part of the paper it was assumed that μ is the function of the velocity of the ground water table position variation. The velocity of the water table position variation is different for each point and therefore it was decided that the average velocity shall be used, calculated according to the following relationship:

$$V_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h_i^{\Delta t} - h_i}{\Delta t}, \quad (12)$$

where: V_{av} - the average velocity of the ground water table,

n - number of measuring points,

h_i - level of water in a piezometer with index i at the time t ,

$h_i^{\Delta t}$ - level of water in a piezometer with index i at the time $t + \Delta t$.

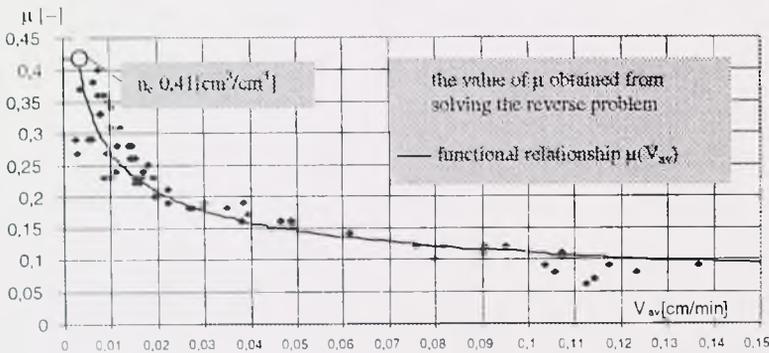


Fig. 3. Value of the coefficient $\mu(V_{av})$.

On the basis of the obtained results the following functional relationship $\mu=f(V_{av})$ was formulated, which for $V_{av} > 0,003 \text{ cm/min.}$ can be written as the following formula:

$$\mu = 0,045 \frac{1}{V_{sr}^{0,39}} \quad (13)$$

APPLICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL IN THE OPERATION ANALYSIS OF THE WATER TABLE CONTROL SYSTEM

The computer simulation was carried out for the example object shown on figure 4, for ditches located at the distance of 50 m from each other. It was assumed that the thickness of the layer, in which the movement of the water table is observed, is 180 cm and that the bottoms of ditches lie on the impermeable layer ('complete' ditches). The movement of water is taking place in the homogeneous soil, such as was the subject of laboratory tests. It was assumed that the optimum water level H_0 is 130 cm above the level of the impermeable layer (fig. 4). The methods of the water table control are shown on figure 1. The mathematical model is based on the Boussinesque's equation, in which the worked out formula 13 was used. The operation of the controller consists in varying the weir position, which means varying the water level in the ditch, so that the average water level in the soil profile tended to the optimum level. In order to avoid too long a period of drying up of the areas adjacent to the ditch, the additional lower limit of water level in the ditch was set at 90 cm above the level of the impermeable layer (the lowest acceptable level) and in order to avoid flooding, the upper acceptable level was set at 170 cm above the level of the impermeable layer (fig. 4).

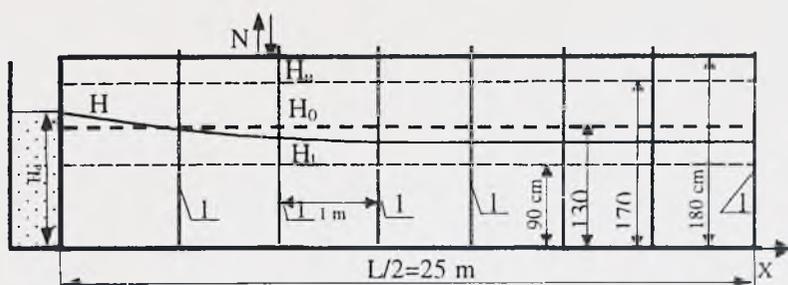


Fig. 4. Example of the object of control.

1 - piezometers, N - net precipitation, H_d - level of water in the ditch, H - level of ground water, H_u - upper acceptable level, H_0 - optimum water level, H_1 - lower acceptable level.

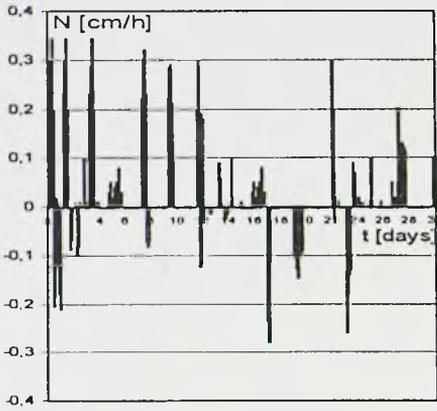


Fig. 5. Time distribution of net precipitation.

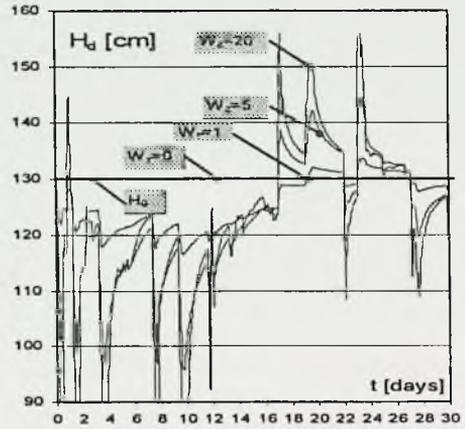


Fig. 6. Curve of varying level of water in a ditch for the first method of control.

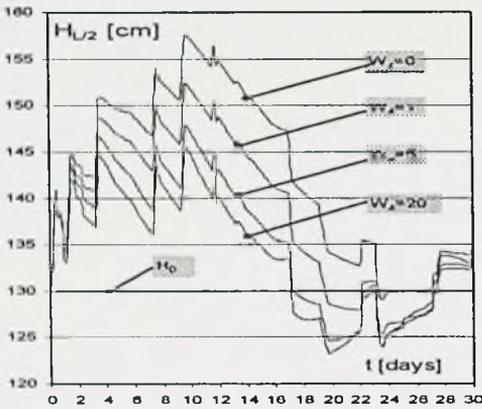


Fig. 7. Curve of varying level of water at the midway point of the spacing for the first method of control.

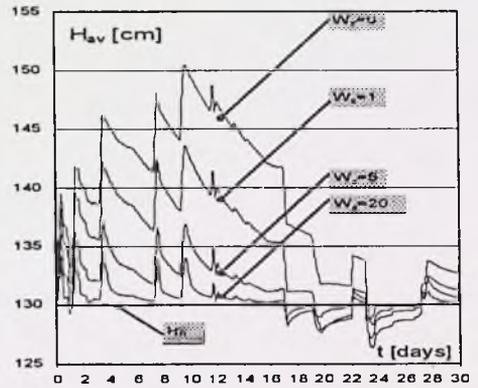


Fig. 8. Curve of varying average level of water for the first method of control.

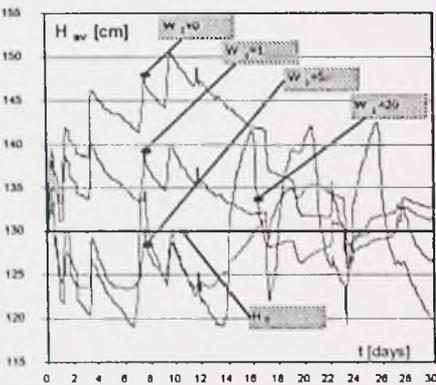


Fig. 9. Curve of varying average level of water for the second method of control.

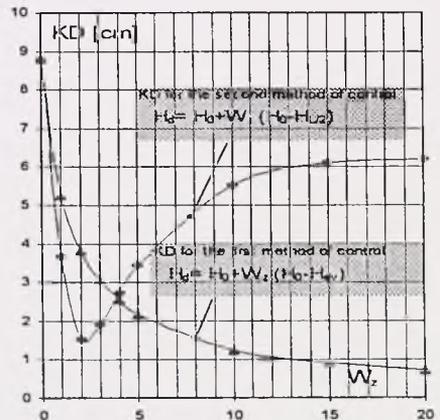


Fig. 10. KD value as the function of the controller amplification.

These criteria should be set each time depending on the type of soil (the capacity to capillary raising of the water level), kind of a cultivated plant (different depths of root taking and different water needs of plants, which depend on the kind of plant and its growth phase).

In figure 5, the example distribution of precipitation, reduced by the value of the actual evapotranspiration, is shown for which the simulation of the automatic control system operation was carried out. Figures 6, 7 and 8 show the time distribution of the water level in the ditch (fig. 6), at the midway point of the spacing (fig. 7), and the distribution of the average ground water level (fig. 8), under the assumption that the controller amplification is $W_z = 0, 1, 5$ and 20 times, applying the first method of control according to the relationship 2. By comparing the results shown in figures 7 and 8 it may be stated that the higher the controller amplification (applying the first method of control according to the relationship 2), the more the average value H_{av} and the water level at the midway point of the spacing $H_{L/2}$ approach the required optimum level H_0 .

From figure 6 it follows that the variations of water level in the ditch H_d depend on selection of the controller amplification W_z and have larger amplitudes for large amplification ratios.

The amplification should be matched so that the required control accuracy is ensured, for example the average value H_{av} should vary within the limits of ± 1 cm from the optimum level H_0 . Attention must be paid, whether so matched amplification does not cause too severe or lasting too long drying-up or flooding of area adjacent to the ditch. On figure 9, the time distribution of the average ground water level is shown when applying the second method of control according to the relationship 3. From that figure it follows that at higher controller amplification ratios ($W_z=20$) there occur large variations of the controlled quantity H_{av} . In order to compare the proposed methods of control, the figure of merit criterion for the automatic control system was introduced, according to the following formula:

$$KD = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{av}^k - H_0| \quad (14)$$

where:

m - number of hours of the control process duration.

According to the proposed criterion, this method is better, for which the value of KD is smaller. The curves shown on figure 10 illustrate the trend of the KD value for $m = 720$ (24 hours x 30 days = 720), as the function of the controller amplification W_z . It follows from the curves that the KD value calculated on the basis of the formula 14 tends to zero for the first method of control and for the second method of control it reaches the minimum value for the amplification ratio $W_z = 2$.

Summing up, it must be stated that the application of the first method of control, consisting in maintaining the water level in the ditch in accordance with the relationship 2, guarantees the achievement of the required control precision.

CONCLUSIONS

In this paper the possibilities of using the mathematical model, based on the Boussinesque's equation, were analyzed with a view to using it for the simulation of operation of facilities damming up water in a ditch. The worked out model concerns the method of control by means of the weir, which dams up water in a ditch, in order to achieve the optimum soil moisture, under the assumption that the ground water level is at not too large a distance from the ground surface.

1. The application of the Boussinesque's equation in the simulation of the weir damming up water in a ditch, requires the determination of soil filtration and draining coefficients. The model based on this equation applies to 'complete' ditches, whose bottoms lie on the impermeable layer. This model was verified on the basis of laboratory tests carried out in the hydraulic channel with dimensions 530x130x110 cm for the homogeneous soil (medium-grade sand).

2. The developed computer program for finding the ratio of the draining coefficient to the root of the filtration coefficient (μ/\sqrt{K}) enabled to find the value of the draining coefficient under the assumption that the value of the filtration coefficient was properly found. The obtained results of calculations prove the fact quoted in literature that this coefficient is the function, among other things, of the velocity of the water table position variation, which is confirmed by the worked out function:

$$\mu = 0,045 \frac{1}{V_{av}^{0,39}}$$

where: μ - draining coefficient,

V_{av} - average velocity of the ground water table movement [cm/min].

3. The computer simulation allows to find such a level of water in the ditch, which ensures the maintenance of such a water table level in the soil, which guarantees capillary upward irrigation necessary to achieve the optimum soil moisture for a given crop. The worked out model is correct for 'complete' ditches and homogeneous soil if precipitation and actual evapotranspiration is taken into account. In the presented examples of automatic control it was assumed that the irrigation and drainage of the considered region is dependent on the average level of the ground water (the first method of control) or on the level of water at the middle of the spacing (the second method of control). From the carried out computer simulation it follows that the average water level in the irrigated or drained region tends to be the required (optimum) level of water along with the increase of the controller amplification (in the first method of control). However, high amplification ratios lead to increased variations in the water level in the ditch, therefore, one should select such an amplification which ensures the adequate accuracy of the average level maintenance and which would not cause too large or lasting too long drying up or flooding of the area adjacent to the ditch. By making the irrigation, or drainage, of the considered region dependent on the level of water in the midway point of the spacing (the second method of control), large variations of the controlled quantity was observed and high amplification ratios of the controller do not guarantee the achievement of the required accuracy of control.

4. The carried out simulation of the operation of the weir damming up water in the ditch using the worked out model, based on the Boussinesque's equation, proved that the worked out computer program is fully useful in making the analysis of this facility operation.

REFERENCES

- BRANDYK T.: Podstawy regulowania uwilgotnienia gleb dolinowych. Rozprawy Naukowe i Monografie, Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa 1990.
- FEDDES R.A., KOWALIK P.J., ZARADNY H.: Simulation of field water use and crop tied. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen 1978.

- ŁABĘDZKI L.: Prognozowanie optymalnych poziomów wody gruntowej w procesie sterowania nawodnieniami podsiągowymi. Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych. T. XVII, z. 4. Warszawa 1993.
- PLYWACZYK L.: Oddziaływanie Odry na stosunki wodno melioracyjne doliny w rejonie Brzeg Dolny – Malczyce. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rozprawy, Nr 68, 1988.
- REINHARD A.: Ruch wody glebowej w strefach saturacji i aeracji wywołany działaniem drenu w różnych warunkach atmosferycznych. Zeszyty Nauk. AR, Rozprawa. Habilitacyjna Nr 103, Wrocław 1992.
- ZARADNY H.: Matematyczne metody opisu i rozwiązań zagadnień przepływu wody w nienasyconych i nasyconych gruntach i glebach. Polska Akademia Nauk Instytut Budownictwa Wodnego w Gdańsku, Nr 23, 1990.

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono możliwości sterowania zwierciadłem wody gruntowej za pomocą piętrzenia wody w rowie. Opracowano układ regulacji automatycznej oraz sprawdzono działanie tego układu wykorzystując model matematyczny oparty na równaniu Boussinesqa. W modelu tym zastosowano, opracowaną na podstawie badań laboratoryjnych, zależność opisującą zmiany współczynnika odsączalności w zależności od prędkości ruchu lustra wody w gruncie. Zaproponowano dwa sposoby regulacji oraz na podstawie wprowadzonego kryterium dobroci wybrano ten sposób, który zapewnia uzyskanie założonej dokładności położenia zwierciadła wody w gruncie.

Author's address:

Andrzej Reinhard

Institute of Land Reclamation and Environmental Development,

Agricultural University,

Wrocław

50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24, POLAND

Odnawialność a jakość płytkich wód podziemnych na przykładzie okolic Warszawy

ELŻBIETA BIERNACKA¹, HALINA PAJNOWSKA²

1Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, SGGW w Warszawie

2Katedra Geoinżynierii, SGGW w Warszawie

Streszczenie: *Odnawialność a jakość płytkich wód podziemnych na przykładzie okolic Warszawy.* W pracy przedstawiono wyniki oznaczeń składu chemicznego wód podziemnych z płytkich poziomów użytkowych. Przeanalizowano jakość wód podziemnych zasobnej lecz odkrytej struktury wodonośnej w rejonie Ursusa oraz wód eksploatowanych z mało zasobnych przewarstwień w glinach zwałowych w Jaktorowie. Jakość wód w obydwu punktach badawczych okazała się być na podobnym poziomie. Stopień zagrożenia środowiska wodonośnego na antropopresję znalazł wyraz w ich stanie sanitarnym.

Słowa kluczowe: wody podziemne, chemizm, jakość

WPROWADZENIE

Obok wód powierzchniowych woda podziemna stanowi główne źródło zaopatrzenia w wodę. Na obszarach, gdzie brak jest ujęcia centralnego i sieci wodociągowej powszechnie są eksploatowane płytkie poziomy wodonośne. Podstawową zaletą tego jest łatwa dostępność do wody, a tym samym stosunkowo niskie koszty jej poboru. Mankamentem jest zagrożenie płytkich wód podziemnych zanieczyszczeniem z różnych źródeł znajdujących się na powierzchni i związane z tym problemy ochrony warstwy wodonośnej przed infiltracją związków chemicznych przez nadległą strefę aeracji. Istotne znaczenie w tym zakresie ma budowa geologiczna, a w szczególności litologia i miąższości warstw budujących strefę aeracji. Płytkie warstwy wodonośne, eksploatowane studniami gospodarskimi, stanowią z reguły poziomy użytkowe. Skład chemiczny wód występujących w tych poziomach zależy w dużej mierze od litologii i składu mineralnego środowiska skalnego przez które migruje woda do warstwy

wodonośnej, jak też od charakterystyki samej warstwy. Wody występujące w warunkach naturalnych w utworach czwartorzędowych są słabozminalizowanymi wodami typu wodorowęglanowo-wapniowego (Macioszczyk, 1987), o odczynie zbliżonym do obojętnego. Podwyższone zawartości poszczególnych składników, których przyczyna nie leży w naturalnych warunkach hydrogeologicznych, wynikają z reguły z zanieczyszczenia wody substancjami obcymi w środowisku. Zanieczyszczenia mogą przedostawać się do warstwy wodonośnej wraz z infiltrującymi opadami, a źródłem ich mogą być zanieczyszczone elementy środowiska jak powietrze, gleby, skały strefy aeracji. Obszarami o dużym stężeniu zanieczyszczeń są aglomeracje miejskie o dużej skali uprzemysłowienia. W odróżnieniu od nich środowiska wiejskie są w znacznie mniejszym stopniu zanieczyszczone. Mając powyższe na uwadze przeprowadzono badania składu chemicznego płytkich wód podziemnych w celu określenia ich jakości w rejonach o różnym stopniu uprzemysłowienia a leżących w tej samej jednostce geomorfologicznej. Są to:

- punkt badawczy w Ursusie, usytuowany na peryferiach Warszawy
- oraz punkt badawczy w Jaktorowie, pomiędzy Grodziskiem a Żyrardowem, a więc w obszarze słabo zurbanizowanym i uprzemysłowionym.

ZARYS WARUNKÓW WYSTĘPOWANIA WÓD PODZIEMNYCH

Obydwa punkty badawcze zlokalizowane są w obrębie Niziny Mazowieckiej. Ursus znajduje się w jej centralnej części, Jaktorów leży w strefie brzeżnej (Różycki, 1967). Forma nieckowata struktury, z maksymalną depresją w rejonie Warszawy, zaznacza się już w utworach kredy górnej, a następnie powtarzają ją warstwy osadów trzeciorzędowych. Strop ilów plioceńskich, stanowiący podłoże utworów czwartorzędowych jest silnie zaburzony glacictektonicznie tworząc kulminacje i wydłużone depresje. Morfologię podłoża czwartorzędowego urozmaicają również kopalne doliny erozyjne. Znaczne deniwelacje stropu trzeciorzędu, wobec stosunkowo płaskiej powierzchni Niecki, są powodem zróżnicowanej miąższości osadów czwartorzędowych, od kilku do 60 metrów. Jaktorów leży w obrębie kulminacji podłoża, gdzie miąższość kompleksu czwartorzędowego wynosi 20-30 m, a w profilu dominują osady gliniasto-ilaste. Sąsiadujące z kulminacją kopalne zagłębienie erozyjne

wypełnione jest piaskami i żwirami o miąższości ponad 30 m, przykrytymi od powierzchni kilkumetrową warstwą gliny piaszczystej. Piaski te stanowią główny zbiornik wód podziemnych. Jednak w rejonie kulminacji Jaktorowa indywidualni użytkownicy zmuszeni są do korzystania z niskozasobnych w wodę przewarstwień piaszczystych występujących w glinie zwałowej.

Znacznie korzystniejsze warunki hydrogeologiczne istnieją w Ursusie, który leży w obrębie brwinowskiej doliny kopalnej rozciągającej się od Leszna na północy, przez Pilaszów, Brwinów, Ursus i dalej ku południowi w kierunku Tarczyna (Wicik 1990). Głębokość jej osiąga 40 m i wypełniona jest w spągowej partii osadami piaszczysto-żwirowymi o miąższości od kilku do trzydziestukilku metrów. Stanowią one bogaty zbiornik wód podziemnych. Dowodzą tego duże wydajności ujęć dochodzące do ponad 100 m³/h. Kompleks wodonośny przykryty jest utworami pylasto-gliniastymi o różnej miąższości (od kilku do dwudziestukilku metrów), zróżnicowanymi pod względem litologii. Brak ciągłej izolacji od powierzchni poziomu wodonośnego umożliwia intensywną odnawialność wód, lecz z drugiej strony stwarza zagrożenie z uwagi na podatność jego na zanieczyszczenia. Wody występujące w tym rejonie mają najczęściej charakter naporowy. Nawiercone pod słaboprzepuszczalnymi osadami, na głębokościach od kilku do dwudziestukilku metrów, stabilizują się nawet kilkanaście metrów wyżej, to jest na głębokości około 10 m.

ZAKRES BADAŃ

W celu przeprowadzenia badań jakości wód użytkowych, odwiercono otwory badawcze w Jaktorowie i w Ursusie, ujmując studniami pierwszy eksploatowany poziom wodonośny.

Warunki hydrogeologiczne przewierconego kompleksu w otworze w Jaktorowie nie są korzystne. Profil w przewodzie zbudowany jest z utworów słaboprzepuszczalnych. Jedynie w stropowej partii profilu zarejestrowano wypływy z przewarstwień piaszczystych w glinach i one zostały zafiltrowane i ujęte studnia badawczą.

W otworze w Ursusie nawiercono wodę na głębokości 13,8 m w piaskach różnoziarnistych ze żwirem. Miąższość zawadzionego kompleksu wynosi 12,7 m. Zafiltrowano przyspągowy odcinek profilu o długości 3,9 m.

Próby wody do analiz chemicznych pobierano wielokrotnie, w różnych okresach w ciągu roku, w celu określenia zmienności składu chemicznego w czasie. Wszystkie oznaczenia zawartości składników zostały wykonane w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie według metodyki opisanej przez Górecką, Hnatyszaka i Paślawskiego (1993). Uzyskane wyniki dały możliwość określenia klasy jakości wód pierwszego, użytkowego poziomu wodonośnego w oparciu o normy Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska (1993).

JAKOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH

Jakość wód jest pojęciem względnym i często różnie ujmowanym w zależności od potrzeb. W ujęciu hydrogeochemicznym, prezentowanym przez A. Macioszczyk (1987), pojęcie jakości wód obejmuje cechy fizyczne i chemiczne wody, zawartość poszczególnych jonów lub substancji w nich występujących oraz stan bakteriologiczny wody.

Uzyskane wyniki dotyczące zawartości poszczególnych składników chemicznych zestawione zostały w tabelach 2 i 3. Wskaźniki wód pH i zasadowość ogólna w obydwu punktach badawczych są podobne i niezmiennie w czasie (Tab.1). Wartości pH mieszczące się w przedziale 7,05-7,80 wskazują na obojętny charakter wód.

Tabela 1

Przedziały występowania wskaźnika

Wskaźnik	Posterunek	
	Jaktorów	Ursus
pH	7,19-7,44	7,05-7,80
zasadowość og. mval/l	4,0-5,6	4,0-4,2

Przebadane jednocześnie w tych samych punktach opady charakteryzowały się pH na poziomie 3,88-5,80. Jednak te kwaśne i słabo kwaśne deszcze nie znalazły odbicia w pH wód podziemnych. Również zasadowość ogólna wód obydwu posterunków była na tym samym poziomie.

Składniki wód podziemnych takie jak wodorowęglany (HCO_3^-), siarczany (SO_4^{2-}), chlorki (Cl^-), sód (Na^+), potas (K^+), wapń (Ca^{2+}), magnez (Mg^{2+}) w obydwu punktach występują w ilościach podobnych, lokujących je w tej samej klasie jakości, mieszczącej się w przedziale klasy Ia (wody najwyższej jakości) i Ib (wody wysokiej

jakości) wg klasyfikacji PIOŚ (1993) (Tab.2,3). Podrzędne składniki, do których A.Macioszczyk (1987) zalicza związki azotu, żelazo, glin, krzem występują również w podobnych stężeniach, w przedziałach ilościowych odpowiadających również klasie jakości Ia lub Ib. Jedynie żelazo występowało w krańcowo różnych stężeniach w różnych terminach pomiaru, w ilościach określonych według klasyfikacji Ratajczaka i Witczaka (1983) od bardzo małej do bardzo dużej (Tab. 2,3), co powoduje, że pod względem zawartości żelaza jakość wód w Ursusie jak i w Jaktorowie jest poniżej III klasy. Pozostałe składniki, należące do grupy mikroskładników, występują w ilościach śladowych lub poniżej możliwości oznaczeń. Wyjątek stanowi mangan, którego ilość w obydwu punktach badawczych kwalifikuje wodę jako niskiej jakości (III klasy). Jak podaje A.Macioszczyk (1987) do wód podziemnych mangan dostaje się w wyniku wietrzenia i ługowania minerałów skał magmowych i skał osadowych. Jednocześnie Z. Płochniewski (1973) twierdzi, że zawartość manganu, podobnie zresztą jak i żelaza niższa jest w wodach z utworów wodnolodowcowych nie przykrytych glinami zwałowymi niż w wodach z analogicznych utworów przykrytych glinami. Uzyskane wyniki w Ursusie i Jaktorowie potwierdzają taką prawidłowość.

Również kadm, co prawda tylko w Ursusie, występuje w ilościach ponadnormatywnych (III klasa jakości). Jest on pierwiastkiem łatwo podlegającym koncentracjom antropogenicznym i zalicza się go do ruchliwych migrantów wodnych, energicznie migrujących w kwaśnych i słabokwaśnych wodach środowiska. Wodna migracja tego pierwiastka ograniczona jest intensywną sorpcją przez minerały ilaste. Jest to zapewne jedną z przyczyn, obok różnego stopnia zanieczyszczenia środowiska w obydwu posterunkach badawczych, zróżnicowanego stężenia tego pierwiastka. W Jaktorowie bowiem mniejsza antropogenizacja i większy udział minerałów ilastych w profilu zafiltrowanym, ujmującym wody śródglinowe, znajduje wyraz w znikomych zawartościach kadmu, dopuszczalnych dla wód wysokiej jakości.

Pod względem sanitarnym wody w Ursusie i Jaktorowie różnią się. W Jaktorowie zarówno wskaźnik bakterii coli, jak i wskaźnik coli typu fekalnego równy jest zeru, co świadczy o czystości tych wód pod względem bakteriologicznym. Natomiast w Ursusie, po wyhodowaniu kolonii na żelatynie i agarze, przy wskaźniku coli 82, mimo braku wskaźnika coli typu fekalnego, Stacja Sanitarно-Epidemiologiczna wydała

orzeczenie, że woda nie odpowiada wymaganiom sanitarnym ze względu na stan bakteriologiczny.

Tabela 2.

ŚREDNIE STĘŻENIA I ZAKRESY WYSTĘPOWANIA FIZYKO-CHEMICZNYCH
WSKAZNIKÓW WÓD PODZIEMNYCH I ICH KLASYFIKACJA
wg Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska wg pomiarów wykonanych w 1993 r.
Posterunek Jaktorów

Lp.	Pierwiastek chemiczny	Zakres występowania mg/dm ³	Średnia zawartość mg/dm ³	Klasa jakości wód podz.
1.	Sól Na	19,4 - 32,1	24,2	Ia
2.	Potas K	2,0 - 2,6	2,2	Ia
3.	Wapń Ca	133,0 - 201,0	156,2	Ib
4.	Magnez Mg	24,2 - 39,3	30,5	Ia
5.	Żelazo Fe	<0,01 - 20,6	6,2	pow.III
6.	Mangan Mn	0,79 - 1,28	1,05	pow.III
7.	Stront Sr	0,36 - 0,54	0,44	Ia/Ib
8.	Bar Be	0,075 - 0,101	<0,08	Ib
9.	Cynk Zn	3,45 - 6,67	5,19	II
10.	Kadm Cd	0,002 - <0,003	<0,003	Ib
11.	Miedź Cu	<0,005 - 0,012	<0,01	Ia
12.	Glin Al	<0,04 - <0,05	<0,05	Ia
13.	Bor B	<0,05 - 0,02	<0,04	Ia
14.	Ołów Pb	<0,02 - <0,03	<0,02	Ia
15.	Arsen As	<0,01 - <0,04	<0,03	Ib
16.	Chrom Cr ⁺⁶	<0,005 - <0,01	<0,007	Ib
17.	Nikiel Ni	<0,006 - <0,02	<0,01	Ia
18.	Fluorki F	<0,10 - 0,51	0,29	Ia
19.	Chlorki Cl	100,0 - 119,0	109,0	Ib
20.	Azotyny N	<0,01	<0,01	Ib
21.	Azotany N	<0,01 - 0,08	0,03	Ia
22.	Siarczany SO ₄ ⁻²	94,5 - 116,0	102,3	Ib
23.	Wodorowęglany HCO ₃ ⁻	244,0 - 342,0	294,5	Ia
24.	Fosforany HPO ₄ ⁺³	<0,1	<0,1	Ia

Tabela 3.

ŚREDNIE STĘŻENIA I ZAKRESY WYSTĘPOWANIA FIZYKO-CHEMICZNYCH
WSKAŹNIKÓW WÓD PODZIEMNYCH I ICH KLASYFIKACJA
wg Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska wg pomiarów wykonanych w 1993 r.
Posterunek Ursus

Lp.	Pierwiastek chemiczny		Zakres występowania mg/dm ³	Średnia zawartość mg/dm ³	Klasa jakości wód podz.
1.	Sód	Na	9,5-12,2	10,6	Ia
2.	Potas	K	1,9-2,2	2,0	Ia
3.	Wapń	Ca	92,1-113,3	102,1	Ib
4.	Magnez	Mg	12,63-13,09	12,91	Ia
5.	Żelazo	Fe	1,49-14,39	9,49	III
6.	Mangan	Mn	0,141-0,687	0,470	III
7.	Stront	Sr	0,144-0,151	0,147	Ia
8.	Bar	Ba	0,065-0,085	0,074	Ib
9.	Cynk	Zn	0,006-0,031	0,015	Ia
10.	Kadm	Cd	<0,003-0,029	<0,016	III
11.	Miedź	Cu	<0,005	<0,005	Ib
12.	Glin	Al	<0,05-0,26	0,12	Ib
13.	Bor	B	<0,05	<0,05	Ia
14.	Ołów	Pb	<0,03	<0,03	Ib
15.	Arsen	As	<0,04	<0,04	Ib
16.	Chrom	Cr ⁺⁶	<0,005	<0,005	Ia
17.	Nikiel	Ni	<0,006-<0,009	<0,007	Ia
18.	Fluorki	F	0,21-0,67	0,41	Ib
19.	Chlorki	Cl	47-50,6	45,7	Ia
20.	Azotyny	N	<0,01	<0,01	Ia
21.	Azotany	N	<0,01-0,08	0,05	Ia
22.	Siarczany	SO ₄ ⁻²	56,9-66,1	62,8	Ib
23.	Wodorowęglany	HCO ₃ ⁻	244-256	252	Ia
24.	Fosforany	HPO ₄ ⁺³	<0,1-0,2	0,1	Ib

PODSUMOWANIE

Pierwszy poziom użytkowych wód podziemnych w Niece Mazowieckiej, reprezentowany przez opisane punkty badawcze, występuje na głębokości od kilku do kilkunastu metrów. Uzyskane wyniki badań składu chemicznego wód wskazują na wysoką ich jakość w obu przypadkach. Stężenia poszczególnych składników występujących w wodach, zarówno z grupy makro- jak i mikroskładników są zbliżone w obu badanych punktach i mieszczą się w tych samych klasach jakości mimo, że różny jest ich stopień zagrożenia skażeniem z uwagi na wzrost koncentracji źródeł zanieczyszczeń wraz ze wzrostem zurbanizowania i uprzemysłowienia obszaru.

Na obniżenie jakości wody wpływają takie pierwiastki jak żelazo, mangan i kadm, których zawartość mieści się w przedziale dla III klasy. Jednak w rejonie, gdzie strefa przesączania wód podziemnych zbudowana jest z minerałów ilastych kadm jest sorbowany i nie przedostaje się do wód eksploatowanych. Zagrożenie ze strony kadmu istnieje na obszarach, gdzie warstwa wodonośna mimo, że jest zasobna, jest słabo izolowana od powierzchni osadami ilastymi, jak to ma miejsce w Ursusie.

Znacznie bardziej odporne na zanieczyszczenia są przewarstwienia warstw wodonośnych w glinie zwałowej. Chronione są one nadległą słabo przepuszczalną warstwą przed zanieczyszczeniami przenikającymi od powierzchni. Z uwagi na ich niską zasobność wodną, mimo dobrej jakości, stanowią one ostateczność jako użytkowe warstwy wodonośne, i są eksploatowane w przypadku braku innych możliwości, jak to ma miejsce w Jaktorowie.

Podwyższone zawartości żelaza mogą być związane z samą konstrukcją ujęcia, gdzie dominują rury i filtry żelazne. Z tej racji coraz częściej zaleca się stosowanie rur PCV, które nie wchodzi w reakcje z substancjami znajdującymi się w wodach podziemnych. Jednak mimo wysokiej jakości wód pod względem chemicznym, ich stan bakteriologiczny, szczególnie w rejonie nieizolowanej warstwy wodonośnej, budzi zastrzeżenia i wskazuje na istnienie realnego zagrożenia zanieczyszczenia zbiornika płytkich podziemnych wód użytkowych. Dlatego należy podjąć działania zabezpieczające czyste jeszcze wody podziemne przed zanieczyszczeniem poprzez kształtowanie właściwej gospodarki w środowisku.

LITERATURA

- GÓRECKA E., HNATYSZAK K., PASŁAWSKI P., 1993: Metody analityczne zastosowane w Centralnym Laboratorium Chemicznym przy opracowywaniu atlasów geochemicznych. *Przeł.Geolog.* vol 41 nr 10
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1993: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa
- MACIOSZCZYK A., 1987: Hydrogeochemia. Wydawn.Geolog. Warszawa
- PAŃSTWOWA INSPEKCJA OCHRONY ŚRODOWISKA, 1993: Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. Wyd.Ministerstwo Ochrony Środowiska
- RATAJCZAK T., WITCZAK S., 1983: Mineralogia i geochemia żelaza w kolmatacji filtrów studziennych ujmujących wody czwartorzędowe. *Zesz.Nauk. AGH Geologia.* z.29
- RÓŻYCKI S.Z., 1967: Plejstocen Polski Środkowej, PWN, Warszawa
- WICIK B., 1990: Kształtowanie układów ekologicznych w strefie podmiejskiej Warszawy - Krajobrazowo-geochemiczne systemy strefy podmiejskiej Warszawy. *Wyd.SGGW (CPBP 04.10) nr 51; 177-196*

Abstract: *Renewal and quality of groundwater in the shallow aquifer system in the vicinity of Warsaw.* The paper presents results of research the chemical composition of groundwater in the shallow aquifer system. There was presented two samples with different hydrogeological condition. One of them is in Jaktorów, where the aquifer system is isolated and in Ursus where it is uncovered. The quality of the groundwater in the both research samples was the similar. Generally there are I class quality, with the heighten to III class contamination of Fe, Mn and Cd.

Adres autorów:

Elżbieta Biernacka

Halina Pajnowska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska

02-787 Warszawa, ul.Nowoursynowska 166

Wpływ zmian natężenia wydatku emiterów na równomierność uwilgotnienia gleby przy nawodnieniu kropłowym

PIOTR HEWELKE¹, PIOTR FILIPOWICZ²

¹ Katedra Kształtowania Środowiska. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² IMUZ Falenty

Abstract: *The influence of emitters discharge changes on moisture uniformity of drip irrigated soil.* The paper presents a preliminary analysis of nonconformity of drip irrigation impact on pressure head distribution in soil. The calculated pressure head values show that a discharge of emitter decrease in time should be compensated by increase in irrigation time.

Key words: drip irrigation, nonconformity of irrigation, maintenance

WSTĘP

Nawodnienia kropłowe powinny zapewniać dostarczanie wody i roztworów nawozowych, w ilości odpowiadającej aktualnym potrzebom roślin. Ponieważ proces nawodnienia jest ograniczony do przestrzeni dopasowanej do układu masy korzeniowej, to kluczowe znaczenie ma wysoka równomierność nawodnienia. Równomierność ta, jak również natężenie wydatku emiterów, zmniejszają się zazwyczaj w czasie wieloletniej eksploatacji systemu. Zjawisko to wynika głównie z procesów związanych z jakością wody oraz zmian właściwości fizycznych materiałów, które mogą istotnie oddziaływać na przepływ wody w elementach o małych przekrojach. Celem pracy jest określenie wpływu zmieniającego się w trakcie eksploatacji natężenia wydatku emiterów na równomierność uwilgotnienia gleby.

METODYKA BADAŃ

Pomiary natężenia wydatku emiterów wykonano po 4 latach eksploatacji systemu nawadniającego. Ocenę równomierności przeprowadzono obliczając współczynnik Christiansena (C_u):

$$C_u = 100 \left(\frac{1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{\bar{q}} \right) \% \quad (1)$$

gdzie:

- n - liczba ocenianych emiterów,
- q_i - natężenie wydatku i-tego emitera,
- \bar{q} - natężenie średnie.

Układy ciśnień ssących w glebie dla różnych wartości natężenia wypływu z emiterów określono wykorzystując rozwiązania Raatsa (1970), Warricka (1974) i Lomena (1974). Raats dla przypadku infiltracji stacjonarnej ze źródła punktowego równanie bilansu masy przedstawia w postaci:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \theta u + \frac{\partial \theta v}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

gdzie:

- r, z - radialna i pionowa współrzędna układu,
- u, v - radialna i pionowa składowa prędkości,
- θ - wilgotność gleby odniesiona do jednostki objętości.

Wykorzystując przekształcenie Kirhoffa definiujące potencjał przepływu macierzystego (ϕ) oraz przewodność gleby $K(h)$ wyrażaną przez Gardnera jako funkcja ekspotencjalna, równanie (2) można wyrazić w formie liniowej jako:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \alpha \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (3)$$

Dla linii nawadniającej z emiterami rozmieszczonymi blisko siebie nakładanie się stref zwilżania następuje w krótkim czasie, a więc zadanie może być rozpatrywane jako dwuwymiarowe. W związku z powyższym równanie przepływu dla emitera liniowego może być zapisane w postaci (Raats, 1970):

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \alpha \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (4)$$

Dla przypadków niestacjonarnych zachowanie liniowości równania przepływu wymaga przyjęcia, że:

$$\frac{d\theta}{d\phi} = \frac{\alpha}{k} = const, \quad k = \frac{dK}{d\theta} \quad (5)$$

Pozwala to zapisać równanie przepływu z uwzględnieniem członu źródłowego S w postaci (Warrick, 1974):

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{k}{\alpha} \Delta^2 \phi - \frac{k \partial \phi}{\partial z} - \frac{k}{\alpha} S \quad (6)$$

Do rozwiązania równań (3), (4), (6) szczególnie przydatne są programy symulacyjne MNK2 (zadania płaskie) i MNK3 (zadania przestrzenne) (Hewelke, 1992), wykorzystujące rozwiązania analityczne Philipa (1971), Warricka (1974, 1976) i Lomena (1974) oraz aplikacje numeryczne Warricka i wsp. (1981).

WYNIKI BADAŃ

W badanym systemie nawodnień kropłowych zastosowano emiterzy liniowe o rozstawie $L = 100$ cm i nominalnym natężeniu wydatku $q_{nom} = 300$ cm³/cm doba. Założono, że po nawodnieniu ciśnienie ssące (h) w warstwie korzeniowej gleby o miąższości 50 cm nie powinno przekraczać 200 cm słupa wody (~ 20 hPa).

Wyniki pomiaru natężenia wydatku emiterów liniowych po 4 latach eksploatacji systemu nawadniającego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Pomierzone natężenie wydatku emitera liniowego w (cm^3/cm dobę) po 4 latach użytkowania

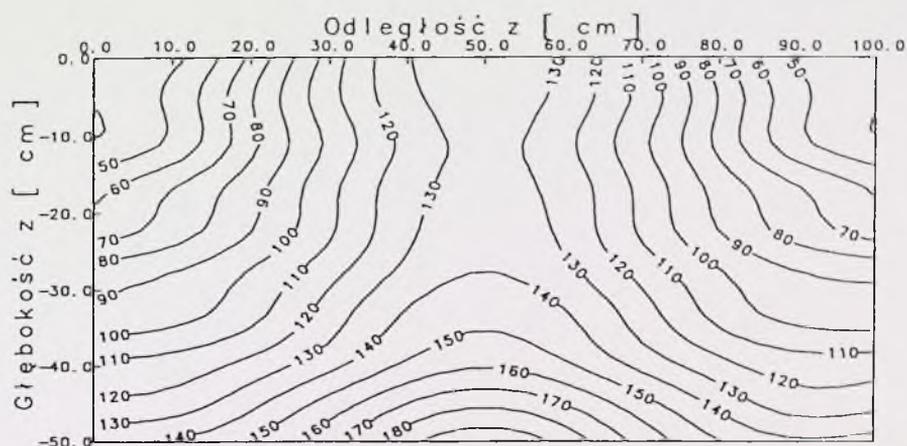
lp.	q_i	lp.	q_i	lp.	q_i
1.	302	11.	277	21.	265
2.	299	12.	276	22.	259
3.	293	13.	275	23.	257
4.	293	14.	274	24.	232
5.	292	15.	273	25.	222
6.	285	16.	271	26.	212
7.	283	17.	269	27.	212
8.	281	18.	269	28.	212
9.	279	19.	268	29.	212
10.	278	20.	265	30.	202

Obliczony na podstawie pomiarów współczynnik Christiansena wyniósł 91,2% (Filipowicz, 1999). Niestety jego początkowa wartość nie jest znana. Zbliżone wartości współczynnika Christiansena uzyskał Jeznach (1996) badając emitery kompensacyjne z trzema otworami. Podaje on, że po trzech latach eksploatacji, zmniejszenie współczynnika C_u dochodziło nawet do 6%.

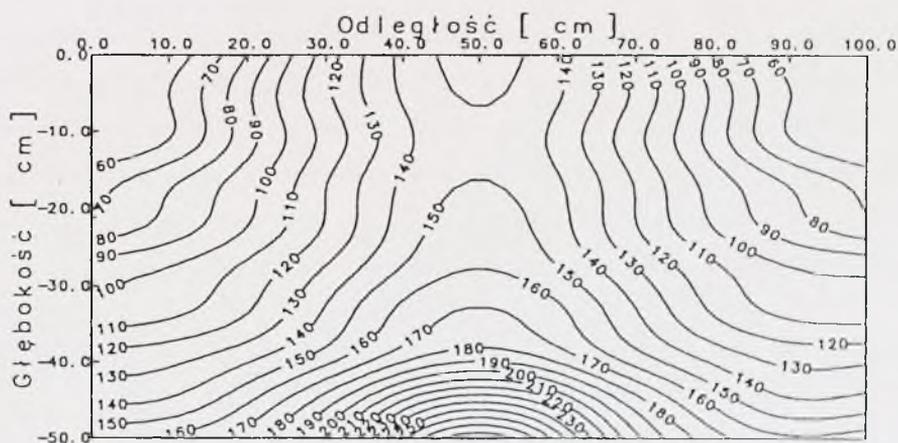
Określenie czasu nawodnienia przy $q_{\text{nom}}=300 \text{ cm}^3/\text{cm}$ doba przeprowadzono dla piasku gliniastego wykorzystując metodę symulacyjną. Układ ciśnień ssących w glebie dla czasu nawodnienia $t = 0,54$ doby przedstawiono na rys. 1.

Średnie natężenie wydatku emitera po 4 latach użytkowania systemu wyniosło $\bar{q} = 263 \text{ cm}^3/\text{cm}$ doba. Układ ciśnień ssących w glebie dla tego natężenia i początkowo przyjętego czasu nawodnienia $t=0,54$ doby przedstawiono na rys. 2.

Uzyskany układ ciśnień ssących wskazuje, że w środku rozstawy pomiędzy emiternami pojawia się strefa o ciśnieniach ssących większych niż założone ($h \leq 200$). Strefa ta nie jest rozległa, jednak należy pamiętać, że statystycznie połowa emiternów może pracować przy mniejszym natężeniu wydatku.

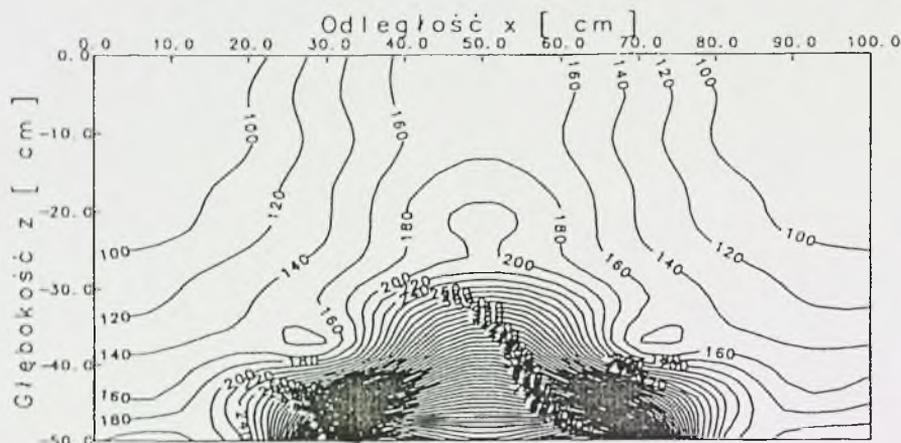


Rys.1. Układ ciśnień ssących w piasku gliniastym przy natężeniu wydatku emitera $q_{nom}=300\text{cm}^3/\text{cm}$ doba po czasie nawodnienia $t=0,54$ doby



Rys. 2. Układ ciśnień ssących w piasku gliniastym przy natężeniu wydatku emitera $\bar{q}=263\text{cm}^3/\text{cm}$ doba i czasie nawodnienia $t=0,54$ doby

Na rys. 3 przedstawiono układ ciśnień ssących dla natężenia wydatku emitera $q=222 \text{ cm}^3/\text{cm}$ doba. Natężenie takie lub mniejsze posiada 20% emiterów w badanej serii pomiarowej (tab. 1).



Rys. 3. Układ ciśnień ssących w piasku gliniastym przy natężeniu wydatku emitera $q=222 \text{ cm}^3/\text{cm}$ doba i $t=0,54$ doby

Analiza układu ciśnień ssących po nawodnieniu, przedstawionych na rys. 3 wskazuje, że warunek $h \leq 200$ nie został spełniony w obszarze 22% strefy korzeniowej. Zjawisko to może mieć istotnie negatywny wpływ na rozwój roślin, zarówno w aspekcie bilansu wodnego jak i pokarmowego. W celu uzyskania w strefie korzeniowej ciśnień ssących spełniających założone kryterium, czas nawodnienia przy natężeniu wydatku $q = 222 \text{ cm}^3/\text{cm}$ doba należałoby wydłużyć do 0,70 doby, tj. o 3,8 godziny.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W analizowanym przypadku pomiary natężenia wydatku emitera wykazały, że jego wartość średnia (\bar{q}) po czterech latach eksploatacji systemu wynosiła $263 \text{ cm}^3/\text{cm}$ doba co stanowi 88% wartości nominalnej. Przeprowadzone badania symulacyjne wskazują, że w przypadku decyzji o dalszej eksploatacji systemu, zmniejszające się natężenie

wplywu powinno być korygowane czasem nawodnienia. Proponuje się, aby jako podstawę do wyznaczenia skorygowanego czasu przyjmować wartość średnią wydatku. Dla roślin szczególnie wrażliwych proponuje się jako podstawę korekty czasu przyjmować natężenie wydatku, którego częstotliwość wraz z niższymi wynosi 20%.

LITERATURA

- FILIPOWICZ P. 1999: Regulowanie wilgotności gleby przy zastosowaniu nawodnień kropłowych. Praca magisterska SGGW, maszynopis.
- GARDNER W.R. 1958: Some steady-state solution of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.* 85.
- HEWELKE P. 1993: Podstawy regulowania uwilgotnienia gleby za pomocą nawodnień kropłowych. Wyd. SGGW.
- JEZNACH J. 1996: Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kropłowych w różnych warunkach środowiskowych. Wyd. SGGW.
- LOMEN D.O., WARRICK A.W. 1974: Time-dependent linearized infiltration: II Line Sources. *Soil Sci.Soc. Amer. Proc.* 38.
- PHILIP J.R. 1971: General theorem on steady infiltration from surface sources, with application to point and line sources. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 35.
- RAATS P.A.C. 1970: Steady infiltration from line sources and furrows. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35.
- WARRICK A.W. 1974: Time-dependent linearized infiltration. I. Point sources. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38.
- WARRICK A.W., LOMEN D.O. 1976: Time-dependent linearized infiltration. III. Strip and disc sources. *Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol.* 40.
- WARRICK A.W., LOMEN D.O., TONELLATO P.J. 1981: Soil moisture flow for point and line sources – computer programs for linearized solution. *Agricultural Engineering & Soil Science. The University of Arizona.*

Streszczenie: *Wpływ zmian natężenia wydatku emiterów na równomierność uwilgotnienia gleby przy nawodnieniu kropłowym. W pracy przedstawiono próbę oceny wpływu nierównomierności nawodnienia kropłowego na kształtowanie się ciśnień ssących w glebie. Równomierność nawodnienia jak również natężenie wydatku emiterów zmniejszają się w trakcie wieloletniej eksploatacji systemu powodując, że uwilgotnienie strefy korzeniowej roślin*

może istotnie odbiegać od założonego. Przeprowadzone obliczenia ciśnień ssących wskazują, że zmniejszające się z czasem natężenie wypływu z emiterów powinno być korygowane poprzez zwiększenie czasu nawodnienia. Proponuje się, aby jako podstawę do wyznaczania skorygowanego czasu nawodnienia przyjmować średnią wartość natężenia wypływu z emiterów, a dla roślin szczególnie wrażliwych natężenie wydatku, którego częstotliwość wraz z niższymi wynosi 20%

Słowa kluczowe: nawodnienia kropłowe, nierównomierność, eksploatacja.

Adresy autorów:

Piotr Hewelke

Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166

Piotr Filipowicz

IMUZ Falenty

05-090 Raszyn

Zmiany zasobów wodnych w glebach zdrenowanych z regulowanym odpływem

STANISŁAW KOSTRZEWA, ANNA PŁYWACZYK, GRZEGORZ PĘCZKOWSKI
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Abstrakt: The results of investigations carried out in 1995-1999 years at the experimental object in the Barycz valley pointed out that on the drained light clays located on silts the breaking of run off from the pipe drainage system was possible in years with moderately wet and wet vegetation seasons (1996 and 1997). Under the influence of regulating run off, the water level in the vegetation season (IV-IX) was higher about 20-40 cm. There also increased reserves in the active soil layer (even about 160 mm in the 1996 vegetation season). During the moderately dry and dry vegetation seasons (1998 and 1999), at small and steady precipitations there was possibility of breaking run off because even in the beginning of the vegetation period the ground water level decreased beneath the depth of the drainage.

WPROWADZENIE

Dla racjonalnego korzystania z zasobów wodnych, niezbędne jest kontrolowanie i sterowanie obiegiem wody w zlewniach rolniczych uwzględniające jednocześnie ochronę i właściwe kształtowanie środowiska przyrodniczego [3, 4, 5, 6, 7].

Celem pracy była ocena zmian zasobów wodnych w warunkach prowadzenia nawodnienia opartego na wykorzystaniu lokalnych zasobów wodnych pochodzących z retencji gruntowej. Badania prowadzono na zdrenowanych gruntach ornych w dziale drenarskim z regulowanym odpływem wody i bez hamowania odpływu. Wykonane one zostały w latach 1995/96 – 1998/99 na obiekcie położonym w dolinie Baryczy (w okolicach Milicza).

W ramach przeprowadzonych badań:

- rozpoznano warunki meteorologiczne i glebowo-wodne na obiekcie,
- przeprowadzono obserwacje wód gruntowych i odpływów drenarskich,
- wykonano pomiary wilgotności i ustalono zapasy w czynnej warstwie gleby,

- ustalono możliwość oraz oceniono skuteczność regulowania głębokości zwierciadła wody gruntowej i zwiększenia zapasów wody w glebie poprzez hamowanie odpływów drenarskich.

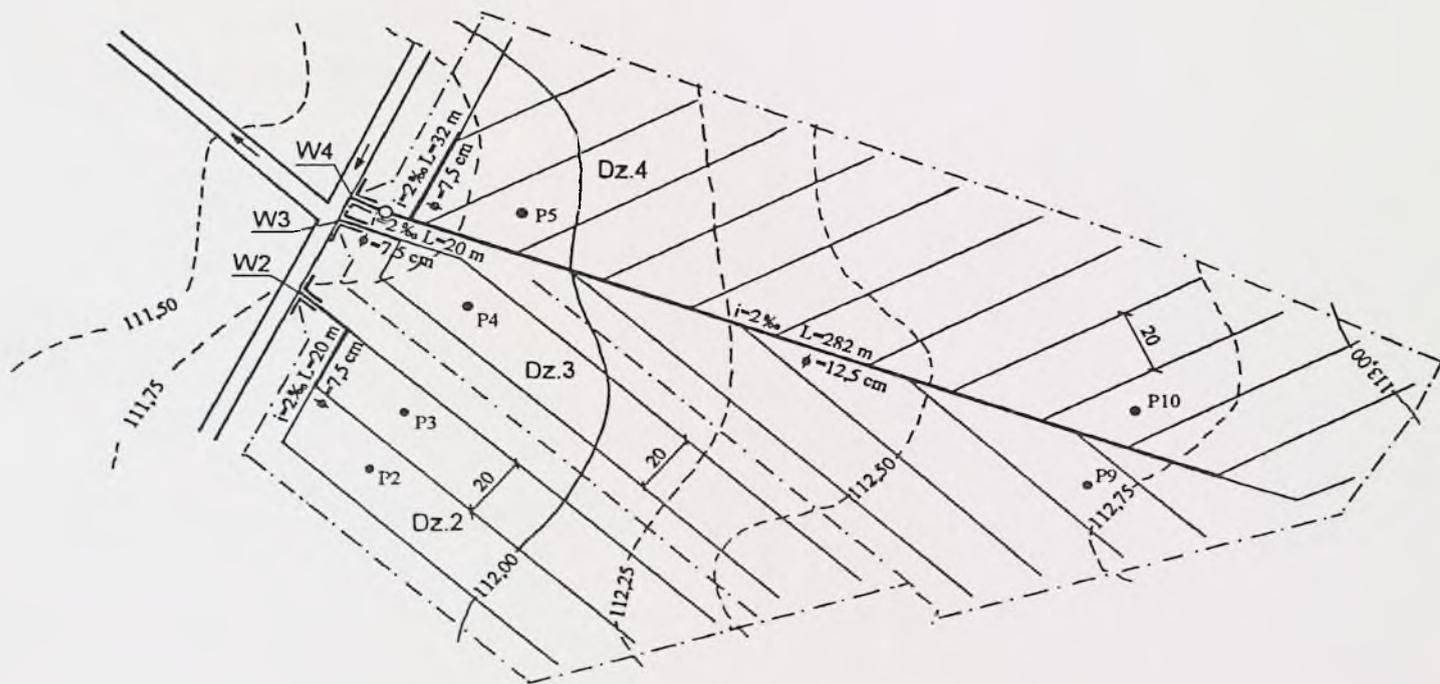
CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Badania prowadzono we wsi Borzynowo położonej w gminie Milicz na terenie województwa wrocławskiego. W roku 1995 zdrenowano tu 30 ha gruntów ornych IV i V klasy. Analizie poddano dwa działki drenarskie (dz.2 i dz.4) o łącznej powierzchni około 5 ha z rozstawą sączków 20 m i głębokością drenowania 1 m. (rys.1). Obiekt położony jest 112 m n.p.m. a spadki terenu wahają się w granicach 3-7 ‰ [8]. W celu umożliwienia piętrzenia wód pochodzących z odcieków drenarskich w jednym z działów drenarskich wykonano standardową studzienkę drenarską typu S-1, którą zaopatrzone w urządzenie służące do okresowego hamowania odpływu. Na wylocie zbieracza ze studzienki zainstalowano rurkę z PCV o średnicy 110 mm, osadzając w jej kolnierzu kolanko 90° i rurkę z PCV, co umożliwiło regulację poziomu zwierciadła wody w studzience poprzez obrót kolankiem.

WARUNKI KLIMATYCZNE

Według regionizacji IMGW [1], doświadczalny obiekt badawczy Borzynowo położony jest w regionie klimatycznym Wielkopolsko-Mazowieckim (wg *Wiszniewskiego*) i należy do regionu pluwiotermicznego Trzebnickiego [10]. Region pluwiotermiczny Trzebnicki charakteryzuje się średnią roczną temperaturą powietrza (XI-X) 7,7°C, ze średnią sumą roczną opadów wynoszącą 550-650 mm.

W okresie badawczym obejmującym lata hydrologiczne 1995/96 – 1998/99, średnie roczne opady wynosiły od 533 do 616 mm, przy średniej wieloletniej 563 mm (tab.1). Na podstawie ustalonego prawdopodobieństwa występowania opadów, stwierdzono, że w analizowanym okresie wystąpiły lata średnio suche (1995/96 i 1998/99, p=64%), rok normalny (1996/97, p=48%) i rok średnio mokry (1997/98, p=30%). Okres zimowy (XI-IV) należał do suchych (lata 1995/96 i 1996/97 p=96% i 99%) i średnio mokrych (lata 1997/98 i 1998/99 p=22% i 29%). Do szczególnie obfitych w letnie opady



Rys. 1 Schemat urządzeń melioracyjnych na obiekcie

atmosferyczne możemy zaliczyć dwa okresy wegetacyjne (IV-IX) w latach 1995/96 (394 mm, $p=30\%$) i 1996/97 (447 mm, $p=5\%$). Znaczne nadwyżki opadów okresu wegetacyjnego (IV-IX) w latach 1995/96 i 1996/97 mogły zostać wykorzystane do częściowego uzupełnienia niedoborów retencji glebowej, analogicznie średnio mokre okresy zimowe (XI-IV) w latach 1997/98 i 1998/99 przyczyniły się do zgromadzenia pewnych zapasów wody w profilu glebowym, możliwych do wykorzystania w późniejszym okresie.

WARUNKI GLEBOWE

Gleby obiektu Borzynowo zaliczamy do Zespołu Nadbaryckiego – kotlin i pradolin z przewagą gleb żytnych słabych i najslabszych. Są to gleby lekkie wytworzone z piasków wodnolodowcowych starych tarasów akumulacyjnych [9].

Przeprowadzone badania terenowe i laboratoryjne wykazały, że w analizowanych działach (dz.2 i dz.4) występują w warstwach wierzchnich gliny lekkie pylaste i gliny średnie, o gęstości właściwej w przedziale 2,55-2,56 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, gęstości objętościowej 1,45-1,60 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i porowatości około 37,5-43,1%. Natomiast poniżej 80 (90 cm) zalegają utwory zwięzłe (iły pylaste) o gęstości właściwej 2,70 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, gęstości objętościowej od 1,60 do 1,63 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, porowatości od 46,0 do 47,30% objętości. Należy nadmienić, że dział, w których prowadzono analizę gospodarki wodnej (dz.2 i 4) mają podobną budowę profilu glebowego, który jest złożony głównie z dwóch warstw, wierzchniej wytworzonej z utworów przepuszczalnych (ułatwiającej wsiąkanie wody) oraz dolnej trudno przepuszczalnej co utrudnia odpływ z warstw wierzchnich i może powodować występowanie nadmiernego uwilgotnienia profilu glebowego uniemożliwiającego prace agrotechniczne. Uzasadnia to celowość wykonania drenowania, jednocześnie gleby te w okresach letniej posuchy mogą wykazywać objawy niedoboru wilgoci.

Tabela 1. Miesięczne, okresowe i roczne sumy opadów atmosferycznych P (mm), prawdopodobieństwo ich pojawienia się p (%) w stacji IMGW Grabownica

Hydrological year Rok hydrologiczny	P (mm)	p (%)	Characteristic of period Charakterystyka okresu	P (mm)	p (%)	Characteristic of Period Charakterystyka Okresu
	period XI - IV - okres XI - IV			period V - X - okres V - X		
1995/96	131	96	suchy	402	28	średnio mokry
1996/97	109	99	suchy	464	9	mokry
1997/98	247	22	średnio mokry	369	42	normalny
1998/99	234	29	średnio mokry	300	72	średnio suchy
1955-1998	211	-		352	-	
	period IV - IX - okres IV - IX			period XI - X - okres XI - X		
1995/96	394	30	średnio mokry	533	64	średnio suchy
1996/97	447	5	mokry	573	48	normalny
1997/98	313	71	średnio suchy	616	30	średnio mokry
1998/99	319	68	średnio suchy	534	64	średnio suchy
1955-1998	348	-		563	-	

KSZTAŁTOWANIE SIĘ WÓD GRUNTOWYCH I ODPLYWÓW DRENARSKICH

Przeprowadzone obserwacje wód gruntowych w latach hydrologicznych 1995/96-1998/99 wykazały, że na obiekcie Borzynowo najpłytsze poziomy wód gruntowych występowały wczesną wiosną i kształtowały się w przedziale 50-60 cm a najgłębsze w okresie suszy letniej, kiedy to obniżały się do około 160 cm. Wyjątek stanowił tu rok 1997, w którym to po nawałnych opadach lipcowo - sierpniowych nastąpiło krótkotrwałe podniesienie się wód gruntowych do głębokości 21 cm. Decydujący wpływ na głębokość wód gruntowych na obiekcie doświadczalnym Borzynowo miały warunki meteorologiczne.

Dla ustalenia oddziaływania podpiętrzania wody na kształtowanie się zwierciadła wody, porównano głębokość wody gruntowej w dziale, w którym hamowano odpływ (dz.4) i w dziale gdzie nie stosowano tego zabiegu (dz.2). Przeprowadzone badania wykazały, że hamowanie odpływu wody z sieci drenarskiej po wysokich opadach letnich, w średnio mokrych i mokrych okresach wegetacyjnych lat 1996 i 1997 wpłynęło na podniesienie się wód gruntowych w dziale o około 20–40 cm w porównaniu z działem bez regulacji odpływu. Natomiast w średnio suchych okresach wegetacyjnych lat 1998 i 1999 kiedy to podpiętrzanie wody rozpoczęto już wczesną wiosną, w dziale czwartym w okresie od kwietnia do połowy maja wody gruntowe zalegały płycej o około 20 cm w porównaniu do działu bez regulacji (dz.2), a w późniejszym okresie, przy małych równomiernie rozłożonych opadach atmosferycznych wody gruntowe obniżyły się poniżej głębokości założenia drenów.

Występowanie odpływów drenarskich w głównej mierze zależy od warunków atmosferycznych (opadów i temperatur powietrza), rodzaju gleby, ukształtowania terenu a przy regulowanym odpływie drenarskim od czasu trwania i możliwości hamowania odpływu.

W analizowanym dziale drenarskim, w którym okresowo hamowano odpływ wielkość odpływów jednostkowych i wskaźników odpływu była wyraźnie niższa niż w dziale gdzie nie stosowano tego zabiegu. Największy wpływ hamowania odpływu zaobserwowano w roku 1996, kiedy to po wysokich opadach lipcowych na skutek podpiętrzania wody (dz.4) wielkość średnich miesięcznych odpływów jednostkowych w okresie od VII do IX wynosiła $0,01 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, a średnich miesięcznych wskaźników odpływu 1 mm, natomiast w dziale bez piętrzenia (dz.2) odpływy jednostkowe wzrosły do $0,06 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, a wskaźniki odpływu do 14 mm.

W latach 1997/98 i 1998/99 rozpoczęte piętrzenie w ostatnich dniach marca przyniosło niewielki i krótkotrwały efekt. W wyniku niewielkich opadów atmosferycznych, wyższej temperatury powietrza i stale wzrastającej ewapotranspiracji, następowało szybkie obniżanie się poziomu wody gruntowej, który już w drugiej połowie maja obniżył się do głębokości drenowania, co uniemożliwiło kontynuowanie doświadczenia. W warunkach klimatycznych jakie wystąpiły w ostatnich latach badań może istnieć potrzeba rozpoczynania hamowania odpływu już w ostatnich miesiącach półrocza zimowego (XI–IV), szczególnie podczas długotrwałego występowania dodatnich

temperatur. Umożliwiło by to zredukowanie odpływu i zretencjonowanie wody w profilu glebowym już w okresie wczesno-wiosennym na początku okresu wegetacji i racjonalne wykorzystanie tych zasobów, szczególnie podczas deficytów wody w miesiącach letnich.

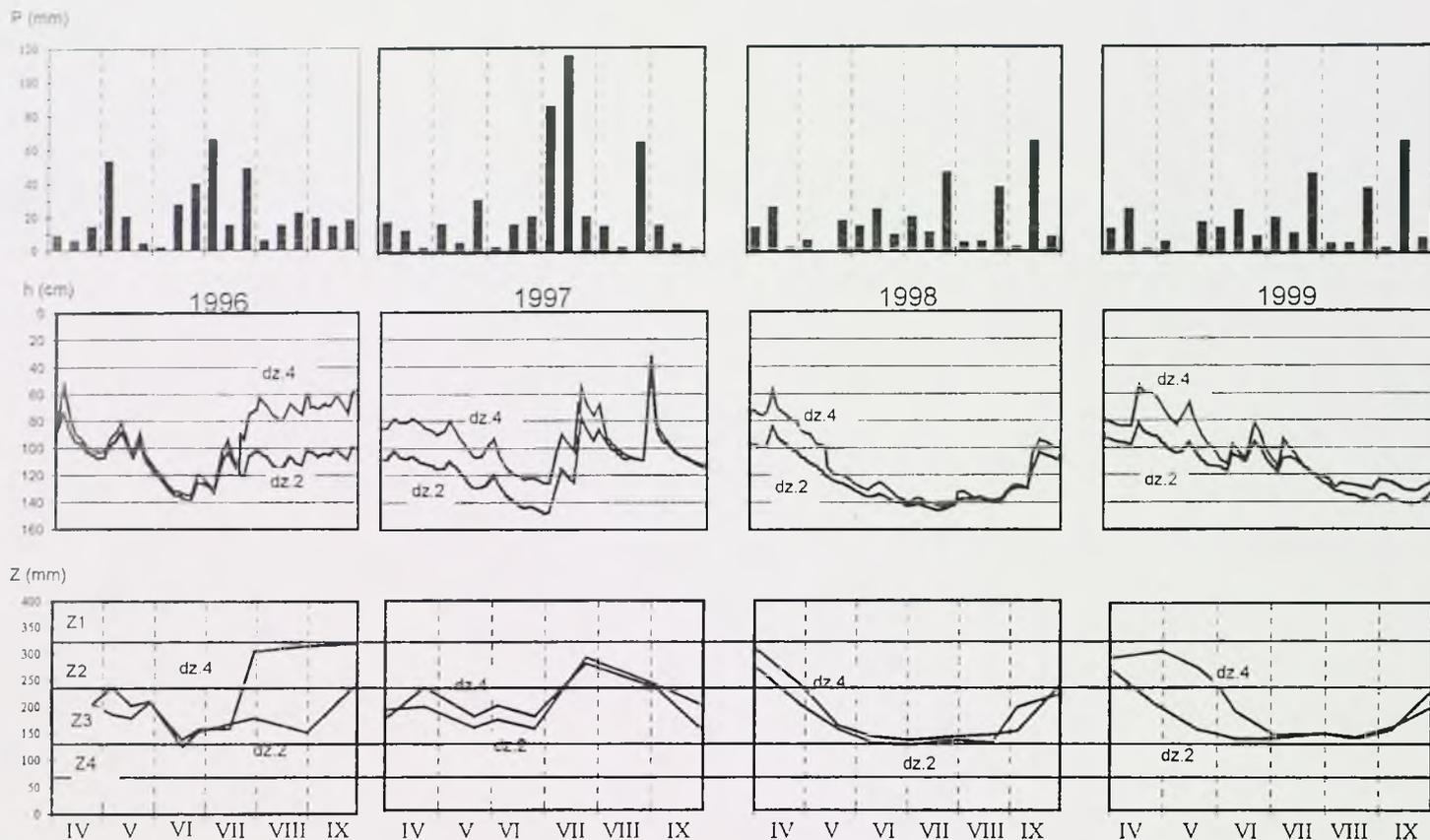
PRZEBIEG ZAPASÓW WODY W GLEBIE NA TLE CHARAKTERYSTYCZNYCH STANÓW RETENCJI

Pomiary uwilgotnienia gleby prowadzono na obiekcie w okresie wegetacyjnym (IV-IX) w latach 1995/96-1998/99 do głębokości 1,0 metra, przeważnie dwa lub trzy razy w miesiącu, oznaczając wilgotność gleby metodą suszarkowo-wagową.

Ocenę uwilgotnienia profilu glebowego w analizowanych działach drenarskich przeprowadzono na podstawie analizy zasobów wody w 1-metrowej warstwie gleby na tle charakterystycznych stanów retencji takich jak: maksymalny dopuszczalny zapas wody (przy 15% zawartości powietrza), połowej pojemności wodnej (przy $pF=2,0$), pojemności okresu suszy (przy $pF=2,9$), absolutnie najmniejszej pojemności wodnej (przy $pF=4,2$), (rys2).

Największe zapasy wody (około 300 mm) obserwowano wczesną wiosną, po obfitych opadach letnich (w lipcu 1997) i jesiennych (pod koniec września 1996). Najniższe zapasy wody (około 125 mm) występowały w miesiącach letnich w dziale bez regulowanego odpływu (dz.2).

Analizując oddziaływanie regulowanego odpływu na wielkość zasobów wody stwierdzono, że w dziale 4, który przystosowano do piętrzenia wody na sieci drenarskiej zapasy wody w okresie piętrzenia w roku 1996 w warstwie gleby 0-100 cm były średnio o kilkadziesiąt milimetrów wyższe niż w dziale dz.2 (nawet około 160 mm). W roku 1997 w okresie piętrzenia od wczesnej wiosny do początku lipca zapasy wody były o około 20-30 mm wyższe w dziale z regulowanym odpływem drenarskim. W roku 1998 i 1999 zapas wody w dziale 4 był większy jedynie w początkowym okresie sezonu wegetacyjnego, (około 30 mm), a następnie na skutek niskich opadów atmosferycznych, wzrastającej temperatury powietrza i ewapotranspiracji, w drugiej połowie maja wyczerpały się możliwości hamowania odpływu z drenów w związku z obniżeniem się zwierciadła wody gruntowej poniżej głębokości ich założenia.



Rys. 2 Przebieg zapasów wody (Z) w warstwie gleby 0-100 cm, oraz głębokości wód gruntowych (h) na tle opadów atmosferycznych P (mm) w działach z regulowanym odpływem (dz. 4) i bez regulacji (dz. 2) na obiekcie Borzynowo w latach 1996-1999.

$Z1$ - maksymalny dopuszczalny zapas wody, $Z2$ - zapas przy połowej pojemności wodnej

$Z3$ - zapas przy pojemności okresu suszy, $Z4$ zapas przy absolutnie najmniejszej pojemności wodnej

WNIOSKI

1. Powstrzymanie odpływu wody z sieci drenarskiej i oddziaływanie na kształtowanie się zapasów wody w glebie możliwe było w latach o średnio mokrych i mokrych okresach wegetacyjnych (1996 i 1997), natomiast w średnio suchych i suchych okresach wegetacyjnych (1998 i 1999) przy małych i równomiernie rozłożonych opadach praktycznie możliwość taka nie istniała.
2. W średnio mokrych i mokrych okresach wegetacyjnych hamowanie odpływu drenarskiego w istotny sposób różnicowało głębokości wód gruntowych, które zalegały płycej o 20-40 cm w porównaniu z obszarem gdzie nie stosowano tego zabiegu, a zapasy wody w 1-metrowej warstwie gleby były średnio o kilkadziesiąt mm wyższe.
3. Okresowe hamowanie odpływu drenarskiego wyraźnie zmniejszało wielkość odpływów jednostkowych i wskaźników odpływu, a największy wpływ obserwowano po wysokich opadach letnich w roku 1996, kiedy to w okresie od lipca do września średnie miesięczne odpływy jednostkowe zmniejszyły się o 0,05 l*s*ha⁻¹, a wskaźniki odpływu o 13 mm miesięcznie.

LITERATURA

ATLAS HYDROLOGICZNY Polski IMGW Warszawa 1987.

KOSTRZEWA S., PŁYWACZYK A., PĘCZKOWSKI G., BOGACZ A.: Gospodarka wodna gleb lekkich na łąkach pylastych w warunkach regulowanego odpływu wody z sieci drenarskiej (na przykładzie badań wykonanych w Dolinie Baryczy). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., Zesz. Nr 458, W-wa 1998.

KOWALCZYK P. (red.): Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji. Materiały badawcze, seria: Gospodarka wodna i ochrona wód, IMGW, Warszawa 1997.

MARCILONEK S., NYC K.: Główne kierunki usprawnienia eksploatacji współczesnych systemów melioracyjnych. Zesz. Nauk. AR we Wroc. Zesz. Nr 266, s.13-20, 1995

MIODUSZEWSKI W.: Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w małych rolniczych zlewniach rzecznych. Metodyczne podstawy rozwoju małej retencji. Materiały informacyjne IMUZ nr 25, Falenty 1994.

- MIODUSZEWSKI W., KACA E. (red.): Potrzeby i możliwości zwiększenia małej retencji na obszarach wiejskich. Materiały seminaryjne, IMUZ nr 37, Falenty 1996.
- OSTROWSKI J.: Retencja na obszarach drenowanych. Potrzeby i możliwości zwiększenia retencji wodnej na obszarach wiejskich. Mat. Semin. 37, s. 104-109. Wyd. IMUZ Falenty 1996.
- PLYWACZYK A., PĘCZKOWSKI G.: Wstępne wyniki badań oddziaływania urządzeń drenarskich na stosunki wodne gruntów ornych na obiekcie doświadczalnym Borzynowo gm. Milicz. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska cz. II, 1997.
- ROLNICTWO NA DOLNYM ŚLĄSKU red. S. Urban, Wrocław 1984.
- SCHMUCK A.: Zarys klimatologii Polski PWN Warszawa 1959, s. 102-121.

Streszczenie: *Zmiany zasobów wodnych w glebach zdrenowanych z regulowanym odpływem.* Wyniki badań przeprowadzonych w latach 1995-1999 na obiekcie doświadczalnym w dolinie Baryczy wykazały, że na zdrenowanych glinach lekkich położonych na iltach hamowanie odpływu z sieci drenarskiej możliwe było w latach o średnio mokrych i mokrych okresach wegetacyjnych (1996 i 19997). Pod wpływem regulowanego odpływu zwierciadło wody w okresie wegetacyjnym (IV-IX) było wyższe o około 20-40 cm, wzrastały też zapasy w czynnej warstwie gleby (nawet o 160 mm w okresie wegetacyjnym roku 1996).

W średnio suchych i suchych okresach wegetacyjnych (1998 i 1999), przy małych i równomiernie rozłożonych opadach, praktycznie nie istniała możliwość hamowania odpływu, gdyż już na początku okresu wegetacyjnego zwierciadło wody gruntowej opadało poniżej głębokości drenowania.

Słowa kluczowe: regulowany odpływ, retencja glebowa, wody gruntowe

Adres autorów:

Stanisław Kostrzewa

Anna Pływaczyk

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska AR Wrocław

Plac Grunwaldzki 24

50-363 Wrocław

Ekologiczne skutki gospodarowania wodą na użytkach rolnych przez regulowanie jej odpływu

KRZYSZTOF NYC, RYSZARD POKŁADEK
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Abstract: *Ecological results of water management on cropland through water run-off control.* On the basis of field and laboratory test results on the evaluation of ecological results of water management through water run-off control, favorable influence of this land reclamation system on the ecological conditions of river valleys was demonstrated. As a result of damming-up operation in river course beds, the content of the following indicators was reduced in water running off from hydrological structures: BZT5, ChZT, nitrogen, phosphorus and potassium. However, the content of dissolved oxygen, lime and sulfate increased. It was also proved that conducting the necessary maintenance work in the river course was conducive to the quality improvement of water running off from the irrigated area.

WPROWADZENIE

W warunkach ograniczonych zasobów wodnych dolin rzecznych pokrytych utworami przepuszczalnymi, skuteczną metodą poprawy bilansu wodnego gleb jest regulowanie odpływu. Poprzez urządzenia piętrzące prawidłowo eksploatowane na ciekach głównych, a także na systemach melioracji szczegółowych (sieć rowów, drenowanie), można hamować odpływ przeznaczając go w części lub w całości na retencję glebową. W takiej sytuacji zmienia się intensywność obiegu wody w środowisku, a przy tym inne jego cechy [Nyc, Pokładek, 1997]. W warunkach spowolnionego odpływu wody zwiększa się dostępność jej dla roślin, zarówno na zmeliorowanych użytkach rolnych jak też w korycie cieku. Korzystniej zmieniają się też cechy jakościowe wody gruntowej i powierzchniowej, co rzutuje na stan środowiska naturalnego [Somorowski C. 1993].

Na podstawie badań prowadzonych od 1994 roku w dolinie Bystrzycy i Odry na obiektach o różnej wielkości i zasobności wodnej, odległych ok. 20 km od Wrocławia.

Samotwór (100 ha) i Miękinia (720 ha) przedstawiono ocenę zmian jakości wody powierzchniowej po przepłynięciu przez obiekt wyposażony w urządzenia do regulowania odpływu. Dla obu obiektów zastosowano jednolitą metodykę i termin pomiaru uwilgotnienia gleb, stanu wód gruntowych i powierzchniowych oraz ich cech chemicznych, a także rodzaju roślinności porastającej koryto głównego ciek.

GOSPODAROWANIE WODĄ NA OBIEKTACH

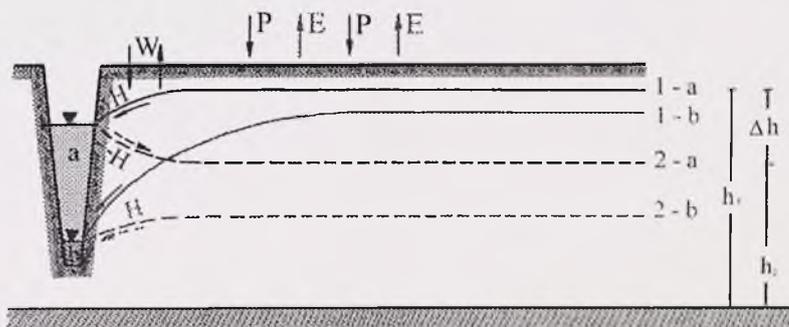
Obiekt doświadczalny Samotwór (zlewnia Bystrzycy) o pow. 100 ha gruntów ornych, w połowie zdrenowany, nie posiada większej od siebie zlewni hydrologicznej. Gospodarowanie wodą odbywa się tu przez eksploatację jednej zastawki zlokalizowanej na głównym rowie drenarskim, który prowadzi wodę jedynie w półroczu zimowym. Gleby są tu przeważnie średniozwięzłe podścielone głęboko zalegającymi utworami przepuszczalnymi.

Obiekt Miękinia o pow. 720 ha przez którego środek przepływa ciek Zdrojek, jest zasilany ze zlewni hydrologicznej o pow. 27 km². Gleby obiektu które stanowią przeważnie utwory średnio przepuszczalne i przepuszczalne mineralne, lokalnie organiczne, użytkowane są głównie jako łąki (78%) oraz jako grunty orne (10%) i leśne (12%). Urządzenia melioracyjne tworzy tu system rowów wraz z zastawkami dostosowanymi do prowadzenia nawodnień podsiąkowych przez regulowanie odpływu. Gospodarowanie wodą na obiekcie Miękinia przebiega w korzystniejszych warunkach hydrologicznych niż na obiekcie Samotwór. Zasoby wodne ciek Zdrojek pozwalają na występowanie tam niewielkiego przepływu w okresie całego roku hydrologicznego.

Na obu obiektach stosuje się całoroczną eksploatację urządzeń piętrzących celem odpowiedniego kształtowania poziomu wód gruntowych i uwilgotnienie gleb. Zasady ich działania przedstawiono na rysunku 1.

W wyniku piętrzenia wody na określonej wysokości (rys 1), następuje hamowanie jej odpływu z doliny (H), a nawet przekształcenie go w proces zasilania (-H). W warunkach pojawienia się przewagi ewapotranspiracji (E) nad opadem atmosferycznym (P) następuje wyczerpywanie się retencji gruntowej z wody kapilarnej (W) a następnie obniżanie się wody gruntowej o wartość $\Delta h = h_1 - h_2$. Jeśli h_2 nie przekroczy wartości maksymalnej normy odwodnienia [Marcilonek 1994, Somorowski 1969] występują

odpowiednie warunki pełnego zaspokojenia potrzeb wodnych roślin. Tak pozytywny efekt eliminowania niedoborów wodnych uzyskiwano na obiekcie Miękinia. W Samotworze natomiast, przy niedostatecznych zasobach wodnych maksymalna norma odwodnienia w latach suchych była przekraczana. Tworzona w tych warunkach retencja, pochodząca głównie z zasobów wodnych półrocza zimowego, umożliwiła ekstensywną formę nawodnienia w wyniku całorocznego regulowania odpływem wody w cieku poprzez urządzenia piętrzące systemu melioracyjnego.



Rys. 1 Schemat hydrauliczny działania systemu melioracyjnego z regularnym odpływem
 a - regulowany odpływ, b - naturalna gospodarka wodna. 1 - krzywa depresji wosną,
 2 - krzywa depresji latem, W - zmiana uwilgotnienia gleby. H - odpływ, -H - zasilenie,
 P - opad atmosferyczny, E - ewapotranspiracja.

Fig. 1. A hydraulic working scheme of the improvement system with controlled run-off :
 a - controlled run - off , b - natural water management, 1 - groudwater level in
 spring . 2- groundwater level in summer, W- change of soil misture, H- run-off,
 - H feeding, P- precipitation. E- evapotranspiration.

Lata prowadzonych badań charakteryzowało zróżnicowanie okresowych sum opadów atmosferycznych (tabela 1), które miały wpływ na skuteczność gospodarowania wodą przez regulowanie odpływu. Do obliczeń i oceny charakterystycznych okresów, w tabeli 1. przyjęto wartości opadów z lat 1950-1989 o następującym prawdopodobieństwie ich wystąpienia: poniżej 20% - okres mokry, 20-39% - umiarkowanie mokry, 40-59% - normalny, 60-79% - średnio suchy, powyżej 80% - okres suchy.

Tabela 1
Table 1

Ocena okresowych sum opadów (P) na obiektach Samotwór i Miękinia
Assessment of seasonal precipitation values (P) on Samotwór and Miękinia structures

Rok	X-III			IV-IX		
	P _{mm}	prawdopodobieństwo p%	charakter okresu	P _{mm}	prawdopodobieństwo p%	charakter okresu
1950-1989	179	50	normalny	366	50	normalny
1994	269	8	mokry	244	93	suchy
1995	140	79	śr. suchy	511	2	mokry
1996	118	92	suchy	394	46	normalny
1997	112	96	suchy	485	7	mokry
1998	211	38	um. mokry	348	70	śr. suchy
1999	185	46	normalny	245	93	suchy

Jak wynika z tabeli 1 w okresie prowadzonych badań półrocze zimowe (X-III) i następujący po nim okres wegetacyjny (IV-IX) miały zupełnie odmienny charakter pod względem wysokości opadów. Ekstremalne warunki zasilania opadem kolejnych półroczy wystąpiły w latach 1994 i 1997. W sytuacji zastosowania regulowanego odpływu, odpowiednio ukształtowane zasoby retencji gruntowej znacząco łagodziły hydrologiczne i przyrodnicze skutki niekorzystnych, ekstremalnych wysokości opadów.

JAKOŚĆ WÓD NA OBIEKTACH Z REGULOWANYM ODPLYWEM

Zastosowanie regulowanego odpływu dla wzbogacenia zasobów retencji gruntowej powoduje spowolnienie obiegu wody gruntowej i powierzchniowej. W przypadku zbyt małych zasobów wodnych (obiekt Samotwór) dochodziło do całkowitego zahamowania ich odpływu. W tak odmiennych warunkach hydrologicznych można się spodziewać pewnych zmian chemizmu wody, która dłużej przebywa w zasięgu systemu korzeniowego roślin, zarówno na użytkach rolnych jak i w korycie cieku [Hus, 1995]. Potwierdziły to badania chemizmu wody powierzchniowej dopływającej i odpływającej z obiektu, a także wody gruntowej pobranej z piezometru w centrum obiektów

Ekologiczne skutki gospodarowania wodą na użytkach rolnych ...

badawczych (tabela 2). Zestawione w tabeli 2 wartości świadczą, że znacznie korzystniejsze efekty poprawy jakości wód uzyskiwano na obiekcie Miękinia o większej zlewni i korzystniejszych warunkach hydrologicznych [Kaca E., Łabędzki L., 1995].

Tabela 2

Table 2

Wybrane wskaźniki jakości wody gruntowej (w piezometrach) i powierzchniowej (w cieku)
na obiektach melioracyjnych Samotwór i Miękinia.

Selected indices of groundwater quality (in piezometers) and surface water quality (in the stream)
on Samotwór and Miękinia objects.

Lp	Wskaźniki	Samotwór 1994 - 1999			Miękinia 1995 - 1999		
		woda gruntowa	woda powierzchniowa		woda gruntowa	woda powierzchniowa	
			dopływ	odpływ		dopływ	odpływ
		od - do	od - do	od - do	od - do	od - do	od - do
średnio	średnio	średnio	średnio	średnio	średnio		
1	2	3	4	5	6	7	
1	Odczyn - pH	<u>6.6-7.5</u> 7.2	<u>6.4-6.8</u> 6.6	<u>6.6-7.3</u> 6.9	<u>6.85-7.4</u> 7.1	<u>7.08-7.4</u> 7.2	<u>7.16-8.0</u> 7.5
2	Tlen rozpuszcz. mg O ₂ /dm ³	<u>1.36-8.2</u> 3.77	<u>2.4-6.2</u> 4.52	<u>3.84-6.93</u> 5.33	<u>0.6-4.83</u> 1.95	<u>3.7-7.6</u> 6.39	<u>8.15-9.65</u> 8.96
3	BZT ₅ mg O ₂ /dm ³	<u>2.9-21.2</u> 13.02	<u>4.88-8.37</u> 6.12	<u>1.6-4.63</u> 3.0	<u>1.92-4.08</u> 2.96	<u>1.93-19.25</u> 6.81	<u>1.45-3.1</u> 2.27
4	ChZT mg O ₂ /dm ³	<u>19.1-82.98</u> 55.33	<u>31.6-60.2</u> 43	<u>20.13-39.1</u> 31.74	<u>12.1-23.25</u> 17.6	<u>13.5-60.4</u> 29.5	<u>10.3-18</u> 13.87
5	Azot ogólny mg Nog/dm ³	<u>3.5-11.4</u> 7.01	<u>3.8-9.87</u> 7.06	<u>3.85-8.14</u> 6.27	<u>3.35-10.52</u> 7.16	<u>3.85-17.22</u> 9.82	<u>4-7.22</u> 6.0
6	Fosfor mg P/dm ³	<u>0.2-1.22</u> 0.56	<u>0.36-1.23</u> 0.62	<u>0.2-1.22</u> 0.51	<u>0.17-0.63</u> 0.31	<u>0.21-1.44</u> 0.6	<u>0.18-0.51</u> 0.26
7	Sód mg Na/dm ³	<u>6.5-26.2</u> 18.39	<u>9.56-15</u> 12.2	<u>9.7-16.8</u> 13.66	<u>5.05-8.11</u> 6.3	<u>12.22-16.3</u> 14.35	<u>10.93-13.7</u> 12.35
8	Potas mg K/dm ³	<u>4.3-19.9</u> 8.67	<u>3.2-9.98</u> 4.96	<u>4.8-14.07</u> 8.61	<u>1.28-2.01</u> 1.61	<u>3.53-14.43</u> 7.47	<u>2.45-5.3</u> 4.03
9	Wapń mg Ca/dm ³	<u>61-120</u> 88.4	<u>59.5-85.9</u> 70.6	<u>63.5-82.6</u> 69.9	<u>76.2-89.8</u> 82.6	<u>136-188</u> 159.9	<u>162-228</u> 197.5
10	Magnez mg Mg/dm ³	<u>17.8-48.57</u> 30.9	<u>21.3-34.24</u> 24.7	<u>21-32.6</u> 25.9	<u>19.6-31.2</u> 23.7	<u>24.7-34.6</u> 28.1	<u>22.8-38.5</u> 28.9
11	Mangan mg Mn/dm ³	<u>0.2-1.54</u> 1.12	<u>0.29-2.08</u> 0.92	<u>0.72-4.5</u> 2	<u>0.21-0.58</u> 0.38	<u>0.32-0.58</u> 0.46	<u>0.27-0.79</u> 0.51
12	Żelazo mg Fe/dm ³	<u>1.15-6.8</u> 3.2	<u>1.24-7.33</u> 3.66	<u>0.45-1.4</u> 0.84	<u>8.3-36.9</u> 16.5	<u>0.68-1.38</u> 0.94	<u>0.56-1.29</u> 0.9
13	Siarczany mg SO ₄ /dm ³	<u>97-205</u> 136.2	<u>76-143</u> 114.7	<u>85-135</u> 112.7	<u>110-209</u> 139.4	<u>208-269</u> 249.6	<u>249-439</u> 332.8
14	Chlorki mg Cl/dm ³	<u>39.2-69.3</u> 53.1	<u>40.8-57.3</u> 45.8	<u>34.5-70.4</u> 50.8	<u>30.5-40</u> 34.7	<u>52.3-65</u> 58.7	<u>45.5-56</u> 50.2

Wodę powierzchniową do oznaczeń chemicznych pobierano z cieków głównych przepływających środkiem obiektów z regulowanym odpływem (w Samotworze rów drenarski A, w Miękinia ciek Zdrojek) w dwóch przekrojach hydrometrycznych. Przekrój pierwszy zlokalizowany w górnej części obiektów informował o jakości wód dopływającej do obiektu (dopływ), drugi usytuowany w dolnej części obiektów określał jakość wód odpływających z obiektów (odpływ). Odległości między w/w przekrojami pomiarowymi wynosiły: w Samotworze 650 m, w Miękinii 3000 m.

Główne gatunki roślin porastających koryto cieków na trasie obiektów stanowiły:

- a) W Samotworze: móżga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), trzcina pospolita (*Phragmites communis*), wiechlina zwyczajna (*Poa trivialis*), rzęsa drobna (*Lemna minor*), wierzba krucha (*Salix fragilis*).
- b) W Miękinii: manna mielec (*Glyceria aquatica*), sit rozpięchły (*Juncus effusus*), móżga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), turzyca zastrzona (*Carex gracilis*), trzcina pospolita (*Phragmites communis*), pałka szerokolistna (*Typha latifolia*).

Prowadzone od 1994 roku w Samotworze i od 1995r w Miękinii pomiary chemizmu wody, raz w miesiącu okresu wegetacyjnego, pozwoliły na ocenę oddziaływania roślinności na proces oczyszczania wód po przepłynięciu przez określony wyżej odcinek cieków, wzdłuż obiektu wyposażonego w urządzenia piętrzące [Nyc K., Hus S., Pokładek R., 1996; Nyc K., Pokładek K., Czarnecki A., 1998].

Porównując zawartości niektórych wskaźników zanieczyszczeń wody w Zdrojku, między dwoma przekrojami hydrometrycznymi (dopływ i odpływ z obiektu Miękinia), stwierdzono przeciętnie w okresie badawczym 1995-1999 zmniejszenie się na odpływie z obiektu BZT₅ o 66,7%, ChZT – 53,0%, azotu ogólnego – 38,9%, fosforu – 61,7%, sodu – 13,9%, potasu – 46,0%, żelaza – 4,2%, chlorków – 14,5%. Równocześnie zwiększeniu uległ odczyn wody pH o 4,2%, wzrosła zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie o 40,2%, wapnia -23,5%, Magnezu - 2,7%, manganu o 10,9% i siarczanów - 33,3%.

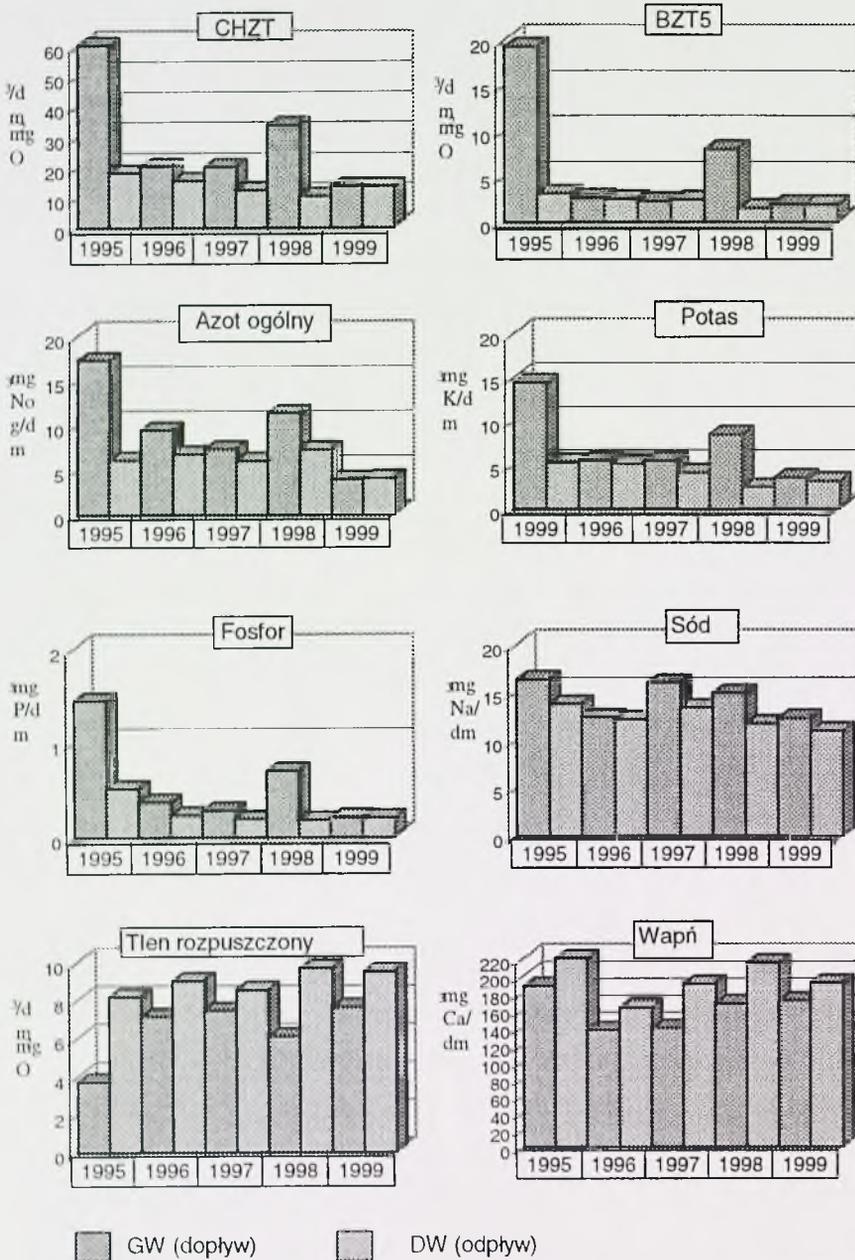
Na obiekcie Samotwór redukcja wskaźnika zanieczyszczeń była mniejsza i przykładowo wynosiła: BZT₅ – 52,4%, ChZT – 18,8%, azotu ogólnego – 5,1%, fosforu 22,6%.

Kształtowanie się w poszczególnych latach badań niektórych wskaźników zanieczyszczeń wody w rzece dla dwóch przekrojów pomiarowych na terenie Miękinia przedstawia rysunek 2. Nie pokazuje on wyraźnego związku z wysokością opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego. Jednak sposób rolniczego i melioracyjnego użytkowania obiektów znacząco wpływał na stopień redukcji zanieczyszczeń w tych wodach. Przykładowo, po przeoraniu zdegradowanych przez powódź 1997 r. łąk w 1998 roku na obiekcie Miękinia wystąpił w wodzie powierzchniowej wyraźny wzrost zawartości azotu. Wody powierzchniowe przepływające przez kilka zastawek na obiekcie Miękinia wykazały znaczny ponad 40% przyrost tlenu rozpuszczonego. Był on dwukrotnie większy niż w Samotworze.

Brak eksploatacji piętrzeń w drugiej połowie 1997r. oraz w 1999 r. w warunkach wysokiego uwilgotnienia gleb obiektu Miękinia, dał się zauważyć znacznie gorszymi efektami samooczyszczania się wód płynących. Gospodarowanie wodą przez regulowany odpływ na systemach melioracyjnych obiektów Miękinia i Samotwór, a także korzystne działanie roślinności porastającej koryta cieków, przyczyniały się do znacznej poprawy wskaźników tlenowych, obniżenia BZT₅ i ChZT oraz wzrostu zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie. Znaczącej redukcji uległy tam też związki biogenne. Zabiegi konserwacyjne stosowane systematycznie jesienią na obiekcie Miękinia nie obniżały zdolności oczyszczania się wód po przepływie przez system melioracyjny z regulowanym odpływem.

Na obiekcie Samotwór w warunkach braku systematycznej konserwacji, parametry jakościowe wód były gorsze. Zbyt małe naturalne zasoby wodne obiektu Samotwór nie sprzyjały intensywnemu procesowi samooczyszczania się wód.

Chemia wód gruntowych na ogół nie odbiegała wiele od wód powierzchniowych na analizowanych obiektach. Gospodarowanie wodą przez regulowanie odpływu na użytkach rolnych zmeliorowanych obiektów Samotwór i Miękinia korzystnie kształtowało stosunki wilgotnościowe gleb a także poprawiało jakość wód odpływających z w/w obiektów. Przy niskich nakładach inwestycyjnych i eksploatacyjnych a także w warunkach oszczędnego korzystania z dostępnych zasobów wodnych uzyskiwano korzystne warunki ekologiczne w środowisku.



Rys. 2. Średnie roczne wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń wody w cieku Zdrojek w górnej (GW) i dolnej (DW) części obiektu Miękinia.

Fig. 2. Average yearly values of selected water pollution indices in Zdrojek stream in upper (GW) and lower (DW) part of Miękinia object.

1. Melioracje dolin rzecznych przez regulowanie odpływu wody w wyniku jej kontrolowanego piętrzenia, są dostatecznie skutecznym sposobem eliminowania niedoborów wodnych zalecanym na glebach przepuszczalnych, szczególnie w przypadku występowania małych zasobów wody dyspozycyjnej.
2. W wyniku stosowania regulowanego odpływu uzyskuje się poprawę jakości wód w środowisku. W wodach odpływających z badawczych obiektów uzyskiwano znaczące zmniejszenie się BZT₅ i ChZT, azotu ogólnego, fosforu i potasu, a także wzrost zawartości tlenu rozpuszczonego, wapnia i siarczanów.
3. Lepsze efekty oczyszczania się wód po przepłynięciu przez system melioracyjny wyposażony w urządzenia piętrzące do regulowania odpływu, uzyskiwano na obiekcie Miękinia w korzystniejszych warunkach hydrologicznych. Na obiekcie tym prowadzono systematycznie niezbędne prace konserwacyjne (raz w roku wykaszanie dna i karp rowów oraz co 2-3 lata odmulanie dna cieków).

LITERATURA

- HUS S., 1995: Chemia wody, ścieków i gnojowicy. Wyd. AR Wrocław – ss.125.
- KACA E., ŁĄBĘDZKI L., 1995: Rola systemów melioracyjnych w redukcji zanieczyszczeń wód powierzchniowych. Zeszyty Nauk. AR we Wrocławiu nr 246, s.107-112.
- MARCILONEK S., 1994: Eksploatacja urządzeń melioracyjnych. Wyd. AR we Wrocławiu.
- NYC K., POKŁADEK R., 1997: Regulowany odpływ elementem wzbogacania retencji gruntowej i ochrony środowiska rolniczego. II Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. „Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego”. Poznań 4-5.09.1997r.
- NYC K., HUS S., POKŁADEK R., 1996: Eksploatacja systemów melioracyjnych w aspekcie kształtowania i ochrony środowiska – I Forum Inżynierii Ekologicznej. Lublin-Nałęczów 1996. s.117-121.

- NYC K., POKLADEK R., CZARNECKI A., 1998: Efekty stosowania regulowanego odpływu w ciekach melioracyjnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. z.458 s.249-262.
- SOMOROWSKI C., 1969: Charakterystyczne rozkłady wilgotności w profilach glebowych przy różnych głębokościach wody gruntowej. Wiadomości IMUZ. t.8, z.1.
- SOMOROWSKI C. red. 1993: Współczesne problemy melioracji. Wyd. SGGW Warszawa.

Streszczenie: *Ekologiczne skutki gospodarowania wodą na użytkach rolnych przez regulowanie jej odpływu.* Na podstawie wyników badań polowych i laboratoryjnych nad oceną ekologicznych skutków gospodarowania wodą przez regulowanie odpływu, stwierdzono korzystne działanie tego systemu melioracji na warunki ekologiczne dolin rzecznych. W wyniku eksploatacji piętrzeń w korytach cieków, następowało znaczące zmniejszanie się w wodach odpływających z obiektów wskaźników: BZT₅, ChZT, azotu, fosforu i potasu. Natomiast wzrostowi uległa ilość tlenu rozpuszczonego, wapnia i siarczanów. Udowodniono również, że prowadzenie niezbędnych prac konserwacyjnych w cieku sprzyjało poprawie jakości wód odpływających z obiektu nawadnianego.

Słowa kluczowe: regulowany odpływ, jakość wód płynących.

Adres autorów:

Krzysztof Nyc, Ryszard Pokładek
Instytut Melioracji i Kształtowania Środowiska
Akademii Rolniczej we Wrocławiu
50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24, Poland

Możliwości eliminowania niedoborów wodnych gleb w warunkach ograniczonych zasobów dyspozycyjnych

KRZYSZTOF NYC

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Abstract: *Possibilities of eliminating water deficiencies in soils in conditions of limited water reserves.* The problem of successive increase of water deficiency in the environment and the necessity of its water balance improvement was indicated in the elaboration. The water-economical systems of pressure and gravitational irrigation were presented. Micro-irrigation on hill areas and controlled run-off in low land river valleys were recommended for the water balance improvement of soils in conditions of limited water reserves. Moreover, the application of various forms of small water retention was suggested for the whole area of hydrological basin. The experiences of many years show that even the extensive water management systems, when properly utilized, enable the elimination of water deficiencies to approx. 150-200 mm, depending on the course of meteorological and hydrological phenomena.

WPROWADZENIE

Racjonalizacja wykorzystania zasobów przyrody skłania polskie rolnictwo do inwestowania głównie na glebach o wyższym potencjale produkcyjnym, natomiast gleby najuboższe zaleca się przeznaczyć na użytki ekologiczne, które również przynoszą określone korzyści w środowisku przyrodniczym. Malejąca powierzchnia użytków rolnych wymaga intensyfikacji produkcji w warunkach uregulowanych stosunków wodnych, przez wprowadzenie systemów melioracyjnych o działaniu odwadniającym i nawadniającym. Taką potrzebę potwierdzają występujące cyklicznie serie lat mokrych i suchych. Z obserwacji terenowych w warunkach doświadczalnych i produkcyjnych wynika, że nawet w latach ekstremalnych klęsk żywiołowych, np. suszy 1992 r., czy nadmiaru wody w 1997 roku na Dolnym Śląsku, straty w produkcji rolniczej były zdecydowanie mniejsze na zmeliorowanych użytkach rolnych. Dobrze

eksploatowane przez stosowanie regulowanego odpływu, doświadczalne systemy odwadniająco-nawadniające w dolinie Odry (np. obiekty: Samotwór i Miękinia k. Wrocławia) charakteryzowała duża stabilizacja plonowania [Nyc, Pokładek, Czarnecki. 1998]

Wg Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, w Polsce gleby o właściwym (optymalnym) uwilgotnieniu zajmują ok. 44 % powierzchni, nadmiernie uwilgotnione 20 % oraz okresowo i trwale za suche ok. 36 %; dominują więc potrzeby w zakresie nawodnień [Marcilonek i inni, 1995].

Rozwój gospodarczy regionów, intensyfikacja rolnictwa (zwiększenie plonowania i ewapotranspiracji), wzrost zużycia wody przez gospodarkę komunalną, przemysł i rzemiosło (dla tych celów instalowane są m. in. ujęcia wód głębszych), powodują zubożenie środowiska przyrodniczego w wodę. Efektem tego jest sukcesywne obniżanie się poziomów wody gruntowej, zmniejszanie powierzchni bagien i oczek wodnych, a w konsekwencji zwiększenie obszarów niedostatecznie uwilgotnionych.

Dostosowywanie się do zasad użytkowania ziemi w krajach Unii Europejskiej będzie wymagało zmniejszenia powierzchni użytków rolnych w Polsce o ok. 20 %, wyłączając z nich gleby marginalne o bardzo małej żyzności naturalnej [Rytelewski, 1995]. Dla zachowania niezbędnego poziomu produkcji rolniczej ubytek ziemi uprawnej należy rekompensować odpowiednim wzrostem plonowania roślin.

Ocenia się, że dla zaspokojenia potrzeb rolnictwa a także dla ochrony walorów przyrodniczych, w Polsce potrzeby w zakresie nawodnień powinny wzrosnąć czterokrotnie w stosunku do stanu aktualnego [Nyc, 1999]. Dyspozycyjne zasoby wodne z przepływów bieżących będą więc sukcesywnie małe, przy równoczesnym wzroście zapotrzebowania na nawodnienia rolnicze. Ważnym problemem staje się poszukiwanie wodooszczędnych i zasobooszczędnych metod nawadniania a także wzbogacania zasobów retencji glebowej przez rozwój różnych form małej retencji wodnej. O wyborze sposobu nawodnień powinny m. in. decydować:

- położenie użytku rolnego na obszarze zlewni hydrologicznej oraz kształtowanie się stosunków hydrologicznych i głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej,
- wymagany stopień intensyfikacji rolnictwa,
- ekonomika dostarczania wody do profilu glebowego.

Zależnie od usytuowania w zlewni hydrologicznej, do grupy wodooszczędnych systemów nawadniania można zliczyć:

- a) na wysoczyźnie – nawodnienia ciśnieniowe, zwłaszcza mikronawodnienia,
- b) w dolinach rzek – nawodnienia podsiąkowe z dużym udziałem regulowanego odpływu,
- c) na obszarze całej zlewni – stosowanie różnych form małej retencji wodnej.

Wieloletnie badania prowadzone na kilku obiektach doświadczalnych Instytutu Melioracji i Kształtowania Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu nad rozwiązaniem problemu nawodnień w warunkach bardzo małych zasobów dyspozycyjnych, wykazały realność rozwoju nawodnień w Polsce nawet w trudnych warunkach hydrologicznych [Nyc, 1995].

Z melioracyjnego spojrzenia, podstawowymi wskaźnikami świadczącymi o możliwościach i sposobie zaopatrzenia roślin w wodę są:

- głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej,
- zasoby wody dyspozycyjnej,
- rodzaj gleby,
- kierunki produkcji rolniczej.

GOSPODAROWANIE WODĄ NA WYSOCZYŹNIE

Na obszarach rolniczych wysoczyzny, gdzie poziomy wód gruntowych zalegają głęboko, bez możliwości kapilarnego zasilania systemu korzeniowego roślin, podstawową rolę odgrywają nawodnienia ciśnieniowe (mechaniczne). Wśród nich na szczególną uwagę w warunkach Polski zasługują nawodnienia deszczowniane i kropłowe, w mniejszym zakresie mikrodeszczowania oraz nawodnienia wgłębne.

Z grupy nawodnień ciśnieniowych w Polsce dominują deszczownie. Zainstalowane są na powierzchni ok. 60 tys. ha, jednak aktualnie, ze względów ekonomicznych, eksploatuje się je na nieco mniejszym areale użytków rolnych. Dla systemów deszczownianych jednostkowe zapotrzebowanie na wodę kształtuje się w granicach $0,8 - 1,1 \text{ l} \cdot \text{sek}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ powierzchni efektywnie nawadnianej. Biorąc pod uwagę rzeczywiste zużycie wody, średnio na powierzchni wyposażonej w urządzenia deszczowniane, przeciętne jednostkowe zapotrzebowanie wody maleje nawet do

połowy przy nawodnieniach dużych, ponad stu hektarowych obiektów i stosowaniu racjonalnych płodozmianów o zróżnicowanych wymaganiach wodnych. Systemy deszczowniane zużywają dość dużą ilość energii dla wytworzenia ciśnienia roboczego zraszaczy, rzędu 0,3-0,6 Mpa. Zależnie od konstrukcji deszczowni i wielkości systemu nawadnianego, wymagane ciśnienie wody w pompowni jest odpowiednio większe.

Rosnące koszty paliw i energii elektrycznej sprawiają, że stanowią one znaczącą i stale rosnącą pozycję w strukturze kosztów eksploatacji nawodnienia deszczownianego. Deszczowanie, choć to bardzo skuteczna metoda intensyfikacji produkcji roślinnej, staje się coraz większym obciążeniem finansowym rolnictwa. Poszukuje się więc metod nawadniania bardziej energo- i wodooszczędnych, a równocześnie sprostających wymaganiom współczesnego producenta rolnego. Ponadto do produkcji rolniczej w coraz większym zakresie wprowadza się techniki i technologie precyzyjnie zaopatrujące rośliny w wodę, składniki pokarmowe i chemiczne środki ochrony. Pozwala to na tworzenie zrównoważonych układów przyrodniczo-techniczno-ekonomicznych, harmonijnie wkomponowanych w lokalne środowisko. Coraz częściej zasobooszczędność uzyskuje się przez precyzyjne regulowanie bilansu wodnego i pokarmowego [Brandyk; Hewelke, 1995]. Do grupy technik nawadniających, które mogą w wysokim stopniu spełnić warunki oszczędnego i racjonalnego zużycia wody, energii oraz składników pokarmowych, można zaliczyć mikronawodnienia [Hewelke, 1993]. Polegają one na podawaniu wody lub roztworów nawozowych do systemu korzeniowego roślin. Mikronawodnienia umożliwiają zachowanie równowagi między dystrybucją wody i składników mineralnych, a ich zużyciem przez rośliny. Możliwa jest więc optymalizacja ich wykorzystania, co sprzyja ochronie środowiska, a równocześnie umożliwia uzyskanie wysokiego plonowania roślin. Mikronawodnienia stwarzają warunki stosowania niskociśnieniowych, wodooszczędnych nawodnień mechanicznych, przyjaznych środowisku.

Do grupy mikronawodnień zalicza się nawodnienia kropłowe, mikrodeszczowania a także nawodnienia wgłębne.

Zużycie wody w mikronawodnieniach jest o 20-70 % mniejsze od deszczownianych. Rozrząd wody w mikronawodnieniach jest łatwy do pełnego zautomatyzowania, dzięki czemu można wydatnie zmniejszyć zapotrzebowanie na wodę. Straty wody przy mikrodeszczowaniach sięgają 2-3 %, a równomierność nawodnienia osiąga wysokie

wskaźniki – rzędu 90-95 %. Zużycie energii przez mikronawodnienia jest relatywnie niskie i wynosi 20-25 % potrzeb niezbędnych do nawodnień deszczownianych. Wynika to z wymogu małych ciśnień roboczych w rurociągach, wynoszących od 0,01 do 0,02 MPa przy nawodnieniach kropłowych i 0,05-0,2 MPa przy mikrodeszczowaniach. [Jeznach, 1996]. Duża równomierność rozprowadzenia wody i składników pokarmowych, a także wysoka efektywność jej wykorzystania przez roślinę, sprzyja wysokiemu plonowaniu przy zachowaniu zasady równoważnego rozwoju środowiska [Somorowski, red. 1993].

Źródłem wody do nawodnień ciśnieniowych mogą być głównie rzeki, jeziora, zbiorniki wodne i stawy o odpowiednich zasobach dyspozycyjnych oraz wymaganej jakości wody. Zgodnie z zapisem ustawy „Prawo wodne” korzystanie z zasobów wód podziemnych może nastąpić tylko przy braku dostępu do wód powierzchniowych. Woda zasilająca systemy mikronawodnień, a szczególnie kropłowe, powinna być odpowiednio uzdatniona ze względu na zagrożenie zatykania się emiterów wskutek wystąpienia przyczyn o charakterze mechanicznym, chemicznym i biologicznym. Nawodnienia ciśnieniowe należą do intensywnych metod zaopatrzenia roślin w wodę, są zasobooszczędne (szczególnie mikronawodnienia), lecz cechują je stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne i bardzo różnie kształtujące się koszty eksploatacyjne. Dlatego też uzasadniony ich rozwój w warunkach intensywnej produkcji rolniczej będzie wymagać podwyższenia niezawodności eksploatacyjnej urządzeń i całych systemów melioracyjnych.

GOSPODAROWANIE WODĄ W DOLINACH RZEK

W dolinach rzek nizinnych, w warunkach stosunkowo płytkiego zalegania zwierciadła wody gruntowej, gdzie zasilanie czynnej warstwy gleby może odbywać się drogą podsiąku kapilarnego, na uwagę zasługują nawodnienia podsiąkowe. Zależnie od zasobów wody dyspozycyjnej, poziomu intensyfikacji, stosuje się różne rodzaje nawodnienia podsiąkowego. Najbardziej popularne nawodnienie ze zmiennym poziomem wody gruntowej, wymaga zagwarantowania dopływu wody obcej w przeciętnych ilościach ok. $1,0-1,5 \text{ l}\cdot\text{sek}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$. W początkowej fazie nawodnienia, zapotrzebowanie wody jest znacznie wyższe. Dość często stajemy przed problemem

niewystarczającej ilości wody. Jeżeli zasoby wody dyspozycyjnej nie spadają poniżej zapotrzebowania na pokrycie parowania terenowego, realizujemy nawodnienie podsiąkowe ze stałym zwierciadłem wody gruntowej. Wówczas zapotrzebowanie wody kształtuje się w granicach $0,2-0,6 \text{ l}\cdot\text{sek}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ i zależy głównie od przebiegu niedoboru opadu. Występują też sytuacje, kiedy przepływ dyspozycyjny bywa mniejszy od zużycia wody na parowanie terenowe. Wówczas hamowanie odpływu staje się szansą poprawy bilansu wodnego gleb.

Wieloletnie badania prowadzone przez autora na kilku obiektach produkcyjnych w dolinie Rowu Polskiego k. Wschowy, Baryczy k. Milicza, Bystrzycy i Odry k. Wrocławia dowiodły o znacznych możliwościach skutecznego nawodnienia z zasobów sterowanej retencji gruntowej, stosując regulowanie odpływu. Stwierdzono, że opady półrocza zimowego, występujące w warunkach niskiego parowania, odgrywają znaczącą rolę w kształtowaniu bilansu wodnego przez cały rok hydrologiczny. Regulując odpływ wody można bardzo korzystnie kształtować bilans wodny zmeliorowanej doliny. Do tego celu należy wykorzystać system budowli piętrzących odpowiednio zlokalizowanych na ciekach podstawowych lub szczegółowych, bez konieczności rozbudowy sieci urządzeń rozprowadzających wodę po obszarze nawadnianym (rowy, rurociągi drenarskie). W wyniku takiego działania następuje wzbogacenie zasobów retencji gruntowej z przeznaczeniem jej do eliminowania niedoborów wodnych gleb. W okresie wegetacyjnym retencja ta pokrywa niedobory opadu ($N_{\Delta t}$). W wyniku jej wyczerpywania następuje powolne obniżanie się poziomu wody gruntowej o wartość Δh którą można określić z zależności:

$$\Delta h = \frac{N_{\Delta t}}{\alpha}$$

Współczynniki wykorzystania wody (α) wyznaczone empirycznie na wymienionych wyżej obiektach doświadczalnych zależnie od rodzaju gleby wynosiły:

- piasek słabogliniasty lekki $\alpha = 0,33$
- piasek gliniasty $\alpha = 0,30$
- piasek gliniasty mocny $\alpha = 0,28$
- utwór murszowy podścielony
piaskiem słabogliniastym $\alpha = 0,26$

Przykładowo, utrzymując wczesną wiosną (na Dolnym Śląsku – początek marca) poziom wody gruntowej na głębokości zapewniającej dla warstwy korzeniowej roślin minimalną przewodność 6-10 % obj. powietrza, w okresie występowania niedoboru opadu $N_o = 150$ mm, na glebie wytworzonej z piasku gliniastego poziom wody gruntowej obniży się o $\Delta h = 150 \text{ mm} : 0,30 = 500$ mm.

Pojemność retencyjną gleb oceniono na podstawie wyników pomiarów ich siły ssącej. Wykazały one występowanie w porach $\text{Ø } 300 - 30$ μm wody podlegającej odpływowi (pF 1,0 - 2,0) w ilościach 15-20% oraz wody kapilarnej łatwo dostępnej (pF 2,0 - 2,87) w ilości ok. 13% obj. Z powyższego wynika, że w warunkach zahamowania odpływu wody z profilu glebowego, zasoby efektywnej retencji gruntowej w 50 cm warstwie badanych laboratoryjnie gleb, kształtują się w przedziale od $0,28 \times 500 \text{ mm} = 140$ mm do $0,33 \times 500 \text{ mm} = 165$ mm. Pomiary połowe zmian zapasów wody w profilu glebowym, przeprowadzone w dolinie Rowu Śląskiego i Baryczy, wskazały na wyczerpanie się retencji gruntowej w warunkach regulowania odpływu przeciętnie w ilościach:

- 150 mm – na piasku słabo-gliniastym,
- 230 mm na piasku gliniastym
- 175 mm na utworach murszowych.

W roku suchym wyczerpanie zasobów retencji na glebie piaszczysto-gliniastej dochodziło do 276 mm.

ROLA MAŁEJ RETENCJI WODNEJ W POPRAWIE BILANSU WODNEGO GLEB

Działaniem bardzo pomocnym w rozwiązywaniu problemu eliminowania niedoborów wodnych w środowisku przyrodniczym jest rozwój małej retencji wodnej. Małą retencję tworzą małe zbiorniki wodne, stawy hodowlane, oczka wodne, starorzecza, mokradła, systemy piętrzące wodę, a także odpowiednie użytkowanie powierzchni ziemi oraz agro i fitomelioracje. Problematyka rozwoju małej retencji wodnej dotyczy terenów dolinowych i pozadolinowych; obejmuje wszelkie działania przyrodniczo-techniczne i organizacyjne, które sprzyjają gromadzeniu każdej ilości wody, opóźniają jej odpływ i zwiększają dostępność wody dla produkcji rolniczej i poza rolniczego kształtowania krajobrazu. Wprowadzanie różnych form małej retencji na obszarze zlewni

hydrologicznej z uwzględnieniem naturalnych walorów środowiska odgrywa zasadniczą rolę w uzyskiwaniu odpowiednio wysokich jej zasobów.

Podstawowe zasoby wodne wykorzystywane przez roślinność pochodzą z retencji glebowo gruntowej. Jej wielkość wynika z właściwości fizycznych i wodnych gleb, kształtowania się elementów meteorologicznych i stosunków hydrologicznych oraz antropogenicznych. Zwiększanie powierzchni zalesionej i zadrzewionej, ochrona przeciwoerozyjna gleb, stosowanie odpowiedniej dla lokalnego środowiska agrotechniki i struktury użytkowania gruntów, wprowadzanie zabiegów agromelioracyjnych oraz racjonalna eksploatacja systemów melioracyjnych, zwłaszcza prowadzenie nawodnień z regulowanym odpływem zwiększa retencyjność gleb i sprzyja efektywniejszemu wykorzystaniu opadów atmosferycznych [Cieśliński, red., 1997]. Te stosunkowo proste zabiegi przyrodniczo-techniczne pozwalają zwiększyć zasoby wodne profilu glebowego od kilku do ponad 30 mm z możliwością jej odnawiania w sezonie wegetacyjnym. Te pozornie nieduże wartości, ze względu na przestrzenne działanie, globalnie dają środowisku przyrodniczemu znaczące ilości wody łatwo dostępnej. Prawdopodobnie eksploatowane techniczne urządzenia i systemy melioracyjne umożliwiają znacznie większy wzrost retencji, który może osiągać wartości ok. 150 – 200 mm w okresie wegetacyjnym. Wieloletnie badania potwierdzają, że efekt taki można uzyskać w wyniku:

- stosowania regulowanego odpływu w dolinach rzecznych ,
- racjonalną eksploatację systemu stawów rybnych i innych małych zbiorników wodnych (z siecią kanałów doprowadzających spiętrzoną wodę), których oddziaływanie na teren przyległy jest znaczący [Nyc, Kamionka, 1996].

Pozyskiwanie zasobów wodnych przez kompleksowe tworzenie systemów małej retencji na obszarze zlewni hydrologicznej, należy do racjonalnych, ekonomicznych i bardzo korzystnych dla środowiska przyrodniczego metod poprawy bilansu wodnego.

PODSUMOWANIE

1. W wyniku stałego zmniejszania się powierzchni uprawnej i potrzeby intensyfikacji rolnictwa, a także w wyniku rozwoju gospodarczego regionów, zapotrzebowanie na wodę dynamicznie wzrasta przy stale mających zasobach dyspozycyjnych.

2. Ograniczone zasoby wód dyspozycyjnych oraz wysokie koszty produkcji rolniczej, zmuszają do poszukiwania zasobooszczędnych systemów nawadniania. Do nich można zaliczyć:
 - nawodnienia mechaniczne, zwłaszcza mikronawodnienie – stosowane na wysoczyźnie,
 - nawodnienie podsiąkowe, szczególnie regulowany odpływ – w dolinach rzek nizinnych,
 - rozwój różnych form małej retencji wodnej.
3. Prostota wykonania oraz niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, możliwość maksymalnego wykorzystania lokalnych opadów atmosferycznych a zwłaszcza skoncentrowanych (o niskim wskaźniku naturalnego wykorzystania) wskazują na celowość powszechnego stosowania w dolinach rzek, metod gospodarowania wodą przez regulowanie odpływu.

LITERATURA

- BRANDYK T., HEWELKE P. (1995): Perspektywy gospodarowania wodą dla zrównoważonego rozwoju obszarów rolniczych. *Wiad.Mel. i Łąk.* nr 3 s. 99-100.
- CIEŚLIŃSKI Z. (red)(1997). *Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego.* Wyd. AR w Poznaniu.
- HEWELKE P. (1993) *Podstawy regulowania wilgotności gleby za pomocą nawodnień kropłowych.* Rozprawy Naukowe i Monografie. Wyd. SGGW, Warszawa.
- JEZNACH J. (1996) *Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kropłowych w różnych warunkach środowiskowych.* Rozprawy Naukowe i Monografie. Wyd SGGW Warszawa.
- MARCILONEK S., KOSTRZEWA S., NYC K., DRABIŃSKI A. (1995) *Cele i zadania współczesnych melioracji wodnych. „Współczesne aspekty melioracji wodnych”.* Wyd. Instytutu Ochrony Przyrody PAN Kraków s. 71-84.
- NYC K. (1985) *Sterowanie zasobami retencji gruntowej w dolinach rzek nizinnych.* Zeszyty Nauk. AR we Wrocławiu. nr 53. Rozprawy.
- NYC K. (1999): *Kształtowanie systemów melioracyjnych dla potrzeb gospodarczych i ekologicznych.* *Informacje Naukowe i Techniczne SITWM* Nr 4. s. 1-6.

- NYC K., KAMIONKA S. (1996): Rola stawów rybnych w kształtowaniu warunków środowiskowych obszarów wiejskich. Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Zeszyt 10, s.39-48.
- NYC K., POKLADEK S., CZARNECKI A. (1998): Efekty stosowania regulowanego odpływu w ciekach melioracyjnych. Zeszyty Probl. Post. Nauk Roln. nr 458. Warszawa s. 249-262.
- SOMOROWSKI C. (red)(1993): Współczesne problemy melioracji. Wyd. SGGW Warszawa.
- RYTELEWSKI M. (1999). Melioracje wczoraj i dziś. Wiad. Melior. i Łąk. nr 1.

Streszczenie: *Możliwości eliminowania niedoborów wodnych gleb w warunkach ograniczonych zasobów dyspozycyjnych.* W pracy wskazano na problem sukcesywnego wzrastania deficytu wody w środowisku przyrodniczym i potrzebę poprawy w nim bilansu wodnego. Przedstawiono wodooszczędne systemy nawodnień ciśnieniowych i grawitacyjnych. Do poprawy bilansu wodnego gleb w warunkach ograniczonych zasobów dyspozycyjnych wskazano: mikronawodnienia na wysoczyźnie oraz regulowany odpływ w dolinach rzek nizinnych. Ponadto na obszarze całej zlewni hydrologicznej zalecono stosowanie różnych form małej retencji wodnej. Wieloletnie doświadczenia pokazują, że nawet ekstensywne systemy gospodarowania wodą, odpowiednio użytkowane umożliwiają eliminowanie niedoborów wodnych do ok. 150-200 mm, zależnie od przebiegu zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych.

Słowa kluczowe: nawodnienia, regulowany odpływ, mała retencja.

Autor's address:

Krzysztof Nyc

Instytut Melioracji i Kształtowania Środowiska
Akademia Rolnicza we Wrocławiu
50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24, Poland.

Dynamika uwilgotnienia mady średniej w okresie wegetacyjnym 1999 roku w warunkach naporowych oraz swobodnego położenia zwierciadła wody gruntowej

LESZEK PŁYWACZYK, BEATA OLSZEWSKA, WOJCIECH ŁYCZKO

Instytut Melioracji i Kształtowania Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Abstract: *Dynamics of the medium alluvial soil moisture in the vegetational period 1999 in the pressure conditions and free position of the groundwater table. The investigations of the soil moistures were led in the Odra valley in the every months of IV-X 1999. The researches were done using the drying-weight method. Two profiles were chosen. They are situated on the arable lands, they have similar granulometric composition, thermal and precipitation conditions. The position of groundwater table differed them. Soil profile situated in the area of effecting of dammed up the Odra water, beside of precipitation is additionally supplied by infiltrating waters. In the paper for both profiles the groundwater table, soil moisture and sums of water reserves in 0,5 and 1,0 m soil layers were analysed.*

WSTĘP

Stosunki wodno-powietrzne w wierzchniej warstwie profilu glebowego kształtowane są głównie przez takie czynniki jak: ilość i rozkład opadów atmosferycznych, ewapotranspiracja, zdolności retencjonowania i przepuszczalność gleby, głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej. Położenie zwierciadła wody gruntowej nie jest stabilne, zmienia się pod wpływem czynników meteorologicznych, hydrogeologicznych, glebowych. W dolinach rzecznych dodatkowo oddziałują stany wody w rzece. Uwilgotnienie siedlisk roślinnych na wierzchołkach i na zboczach zależy przede wszystkim od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych oraz rozchodów wody na parowanie. Zbocza również często są zasilane dodatkowo wodami napływającymi z terenów wododziałowych. Doliny rzeczne, oprócz zasilania opadami atmosferycznymi oraz napływu wód gruntowych i powierzchniowych dopływających z

terenów przyległych, są uzależnione od roli jaką spełnia rzeka w stosunku do terenu przyległego (drenującej lub infiltrującej). W kształtowaniu uwilgotnienia gleb duże znaczenie odgrywają wody gruntowe podsiąkające do czynnej warstwy gleby.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Na składowe równania bilansu wodnego w dolinie rzecznej wpływ wywiera rzeka i sposób jej oddziaływania na teren przyległy. Typowym przykładem jest fragment doliny Odry, w rejonie ostatniego stopnia wodnego w Brzegu Dolnym, gdzie poniżej spiętrzenia rzeka drenuje przyległy teren, a powyżej zasila dolinę wodami infiltrującymi ze zbiornika.

Dolina Odry na odcinku Brzeg Dolny–Malczyce tworzy dość rozległą równinę ograniczoną od północy i południa wysoczyzną plejstocенską. Jej kształt jest asymetryczny, część prawobrzeżna jest wąska 0,1-0,5 km, natomiast szerokość lewobrzeżnej części wynosi od około 4 km do 6 km. Odra ma tu charakter typowo nizinnej rzeki, jej średni spadek dna wynosi około 0,25 %.

Okolo 85 % powierzchni doliny Odry w rejonie Brzegu Dolnego i Malczyc zajmują mady, pozostałe 15 % to gleby bielcowe, brunatne i organogeniczne. Wśród mad przeważają mady ciężkie, wytworzone z glin średnich i ciężkich (60 % powierzchni) oraz mady średnie wytworzone z piasków i piasków gliniastych (15%). Obszar doliny użytkowany jest w 50 % jako grunty orne, w 14 % jako użytki zielone, w 26 % jako użytki leśne i zadrzewienia, a pozostałe 10 % zajmują tereny osiedlowe i komunikacyjne, wody stojące i płynące oraz sady (Pływaczyk, 1997).

W tabeli 1 zestawiono miesięczne sumy opadów atmosferycznych dla posterunku w Brzegu Dolnym oraz średnie miesięczne temperatury powietrza dla stacji Wrocław-Strachowice w okresie IV–X 1999 roku na tle wartości z wielolecia 1954-1992.

Suma opadów atmosferycznych w okresie IV–X 1999 roku była niższa o 118 mm w porównaniu z wartościami z wielolecia. W lipcu zanotowano niższe opady o 30 mm, w sierpniu o 57,8 mm, we wrześniu o 26,6 mm i w październiku o 19 mm niż średnie wartości z okresu 1954-1992. W maju i czerwcu wysokość opadów atmosferycznych była wyższa od średnich z wielolecia o odpowiednio 16,8 mm i 8,4 mm.

Średnie miesięczne temperatury w poszczególnych miesiącach 1999 r. były zbliżone (w czerwcu, sierpniu i październiku) lub wyższe od średnich temperatur z wielolecia (w kwietniu o 2^oC, w maju o 1,2^oC, w lipcu o 1,9^oC i we wrześniu o 2,9^oC).

Tabela 1

Miesięczne sumy opadów atmosferycznych [mm] dla posterunku w Brzegu Dolnym oraz średnie miesięczne temperatury powietrza [°C] dla stacji Wrocław Strachowice w okresie IV-X 1999 r. oraz w wieloleciu 1954–1992

Lata	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Opady atmosferyczne [mm]							
1954-1992	41	57	71	79	69	49	43
1999	31	73,8	79,4	49	11,2	22,4	24
Temperatura powietrza [°C]							
1954-1992	8,0	13,0	16,5	17,9	17,3	13,6	9,0
1999	10,0	14,2	16,4	19,8	17,7	16,5	8,9

CEL I METODY BADAŃ

Uwilgotnienie profilu glebowego zmienia się w czasie w zależności od typu i gatunku gleby, głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej, warunków klimatycznych oraz rodzaju uprawianych roślin. Cały zespół wyżej wymienionych elementów kształtuje, dla danej gleby, charakterystyczny typ stosunków wodnych.

Celem pracy była ocena i porównanie gospodarki wodnej profili glebowych, użytkowanych jako grunty orne, zlokalizowanych w dolinie Odry swobodnie płynącej oraz przyległej do spiętrzonych wód rzeki. W 1999 roku dla charakterystycznych profili glebowych w dolinie Odry prowadzono pomiary uwilgotnienia gleb metodą suszarkowo-wagową w 3 powtórzeniach w comiesięcznych terminach IV-X i obliczano sumy zapasów wody w warstwach 0-50 cm, 0-100 cm oraz 0-150 cm.

Analizy dokonano na tle stanów wody w Odrze (na wodowskazach w Brzegu Dolnym), głębokości zalegania wód gruntowych oraz wysokości opadów atmosferycznych (dla posterunku opadowego w Brzegu Dolnym). Dla potrzeb niniejszej pracy wybrano dwa profile, zbudowane w wierzchniej warstwie z utworów trudno przepuszczalnych (do głębokości około 1,0 m–gliny lekkie, gliny średnie), podścielonych utworami

przepuszczalnymi (piaski luźne, piaski słabogliniaste). Z uwagi na niewielką odległość od siebie miejsc poboru próbek (około 4 km) przyjęto, iż zasilane są takimi samymi wielkościami opadów atmosferycznych. Czynnikiem, który różni analizowane profile między sobą to położenie zwierciadła wody gruntowej. W dolinie, gdzie wody Odry są spiętrzone panują warunki naporowe i zwierciadło wody gruntowej jest w miarę stabilne, wysokości hydrauliczne warstwy wodonośnej wahają się w niewielkich granicach i zależą przede wszystkim od stanów wody w Odrze. Można tu mówić o złożonym zasilaniu wierzchniej warstwy gleby, z jednej strony opady atmosferyczne z drugiej zaś podsiąk kapilarny z wód gruntowych. W dolinie poniżej spiętrzenia zwierciadło wody gruntowej znajduje się nisko od powierzchni terenu i praktycznie nie wywiera wpływu na gospodarkę wodną profilu glebowego. Wierzchnie warstwy pozbawione są zasilania wodami gruntowymi (Olszewska 1998, Olszewska i Pływaczyk 1999).

Dla oceny zdolności retencyjnych stosuje się powszechnie zależności pomiędzy ciśnieniem ssącym gleby a uwilgotnieniem. W tabeli 2 zestawiono zawartości wody przy charakterystycznych wartościach siły ssącej dla poszczególnych warstw w analizowanych profilach glebowych w dolinie Odry.

Tabela 2

Zawartość wody [%] przy charakterystycznych wartościach siły ssącej pF dla poszczególnych warstw w profilach glebowych doliny Odry

Profil	Warstwa [cm]	Porow. całk. [%]	Zawartość wody [% obj.] przy pF						
			1,0	2,0	2,3	2,54	2,7	3,0	4,7
Poniżej stopnia	0-10	43,0	38,7	32,5	29,0	27,4	25,9	25,1	6,0
	10-60	31,6	28,2	25,0	23,2	22,4	21,4	20,7	6,6
	60-90	34,5	25,0	21,0	16,8	15,5	14,2	13,2	5,8
	90-150	43,2	33,9	6,5	5,8	5,0	4,6	4,2	0,7
Powyżej stopnia	0-30	35,1	31,7	30,2	29,3	27,5	27,1	26,1	8,0
	30-60	46,9	45,0	41,5	40,5	38,3	38,0	37,2	6,8
	60-90	36,9	31,5	27,3	24,8	21,3	20,0	19,2	4,8
	90-120	30,6	20,5	4,1	3,2	1,8	1,6	1,2	0,8
	120-150	32,0	21,0	11,0	9,2	8,0	7,8	6,9	0,8

W pracy przyjęto wodę trudno dostępną dla roślin z różnicy pomiędzy wilgotnością przy $pF=3,0$ i $pF=4,2$, wodę łatwo dostępną z różnicy między $pF=3,0$ i $pF=2,0$, natomiast wodę grawitacyjną określono z różnicy pomiędzy pojemnością wodną całkowitą a wilgotnością przy $pF=2,0$.

WYNIKI BADAŃ

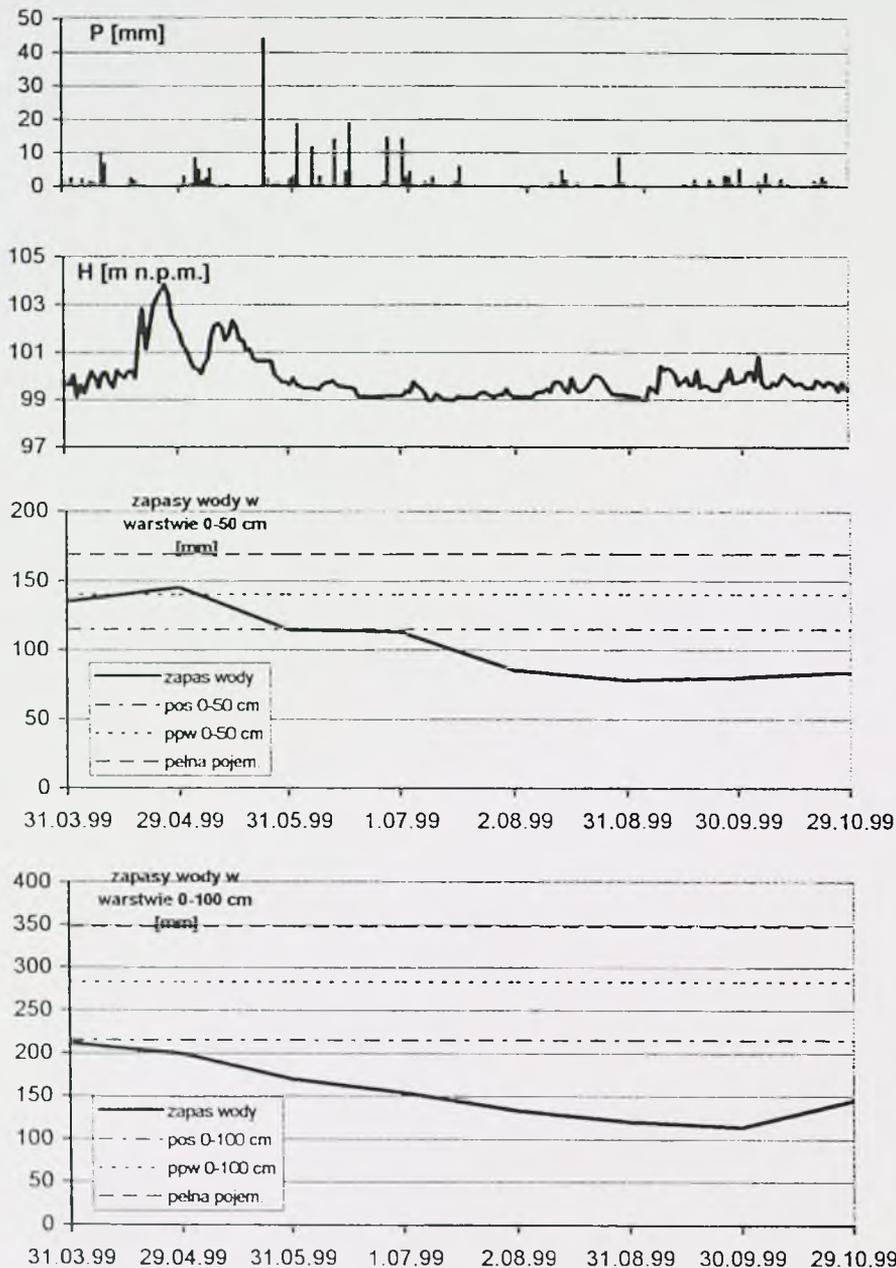
W tabeli 3 zestawiono pomierzone sumy zapasów wody w dwóch profilach glebowych z doliny Odry w wybranych terminach okresu wegetacyjnego 1999 r. Wartości podano dla warstw 0-50 cm, 0-100 cm i 0-150 cm. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przebieg sum zapasów wody w półmetrowej i metrowej warstwie gleby w obu profilach w okresie IV-X na tle opadów atmosferycznych (z posterunku opadowego w Brzegu Dolnym) i stanów wody w Odrze (na wodowskazach w Brzegu Dolnym). Dla poszczególnych warstw i odkrywek zamieszczono również zapasy wody przy połowej pojemności wodnej, pojemności okresu suszy oraz pełnej pojemności wodnej.

W obu profilach glebowych, położonych powyżej i poniżej spiętrzenia, stwierdzono odmienny przebieg sum zapasów wody w analizowanych warstwach oraz różną dynamikę uwilgotnienia gleby.

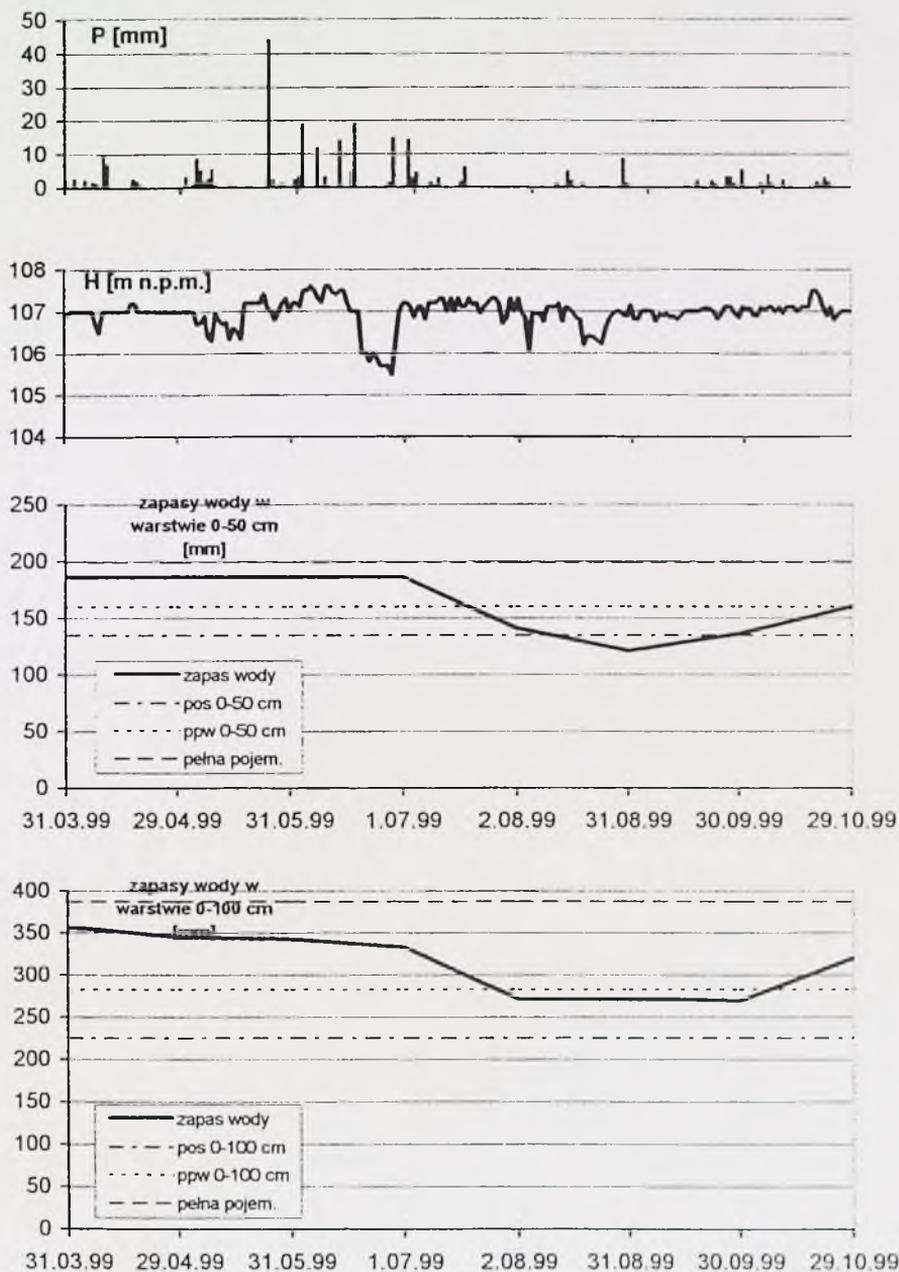
Tabela 3

Sumy zapasów wody [mm] w profilach glebowych, zlokalizowanych poniżej i powyżej stopnia w Brzegu Dolnym, w wybranych terminach okresu wegetacyjnego 1999 r.

Warstwa	31.03.99	29.04.99	31.05.99	1.07.99	2.08.99	31.08.99	30.09.99	29.10.99
Profil glebowy poniżej stopnia wodnego								
0-50 cm	135	145	115	113	85	78	80	84
0-100 cm	211	199	170	154	133	120	114	145
0-150 cm	327	306	246	214	190	168	177	207
Profil glebowy powyżej stopnia wodnego								
0-50 cm	186	186	186	186	141	121	136	160
0-100 cm	357	345	342	333	271	272	296	320
0-150 cm	517	505	502	493	431	432	456	480



Rys. 1. Przebieg zapasów wody [mm] w warstwach 0-50 cm i 0-100 cm w profilu glebowym, zlokalizowanym poniżej stopnia wodnego, w okresie IV-X 1999 r. na tle opadów atmosferycznych P [mm] oraz stanów wody w Odrze na wodowskazie w Brzegu Dolnym H [m n.p.m.]



Rys. 2. Przebieg zapasów wody [mm] w warstwach 0-50 cm i 0-100 cm w profilu glebowym, zlokalizowanym powyżej stopnia wodnego, w okresie IV-X 1999 r. na tle opadów atmosferycznych P [mm] oraz stanów wody w Odrze na wodowskaziu w Brzegu Dolnym H [m n.p.m.]

Dla profilu zlokalizowanego poniżej budowli w Brzegu Dolnym w wierzchniej, półmetrowej warstwie gleby praktycznie przez cały okres badawczy w 1999 r. obserwowano stopniowe wyczerpywanie się rezerw wilgoci. Najwyższe wartości zanotowano na początku okresu wegetacyjnego tj. na koniec marca 135 mm oraz w ostatnich dniach kwietnia 145 mm. Najniższą wartość zasobów wody zaobserwowano na koniec sierpnia 78 mm. Uwilgotnienie warstwy 0-50 cm w kwietniu i maju odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej dla roślin, następnie w ciągu kolejnych miesięcy, utrzymywało się na poziomie wartości wody trudno dostępnej dla roślin. W metrowej warstwie gleby również przez cały okres badawczy obserwowano stopniowe wyczerpywanie się zasobów wody. Najwyższe wartości zanotowano w ostatnich dniach marca 211 mm, a najniższe na koniec września 114 mm. W ciągu całego okresu IV-X notowano uwilgotnienie warstwy 0-100 cm odpowiadające wartościom wody trudno dostępnej dla roślin. Przebieg zasobów wody w warstwie 0-150 cm miał podobny charakter. Najwyższą wartość zasobów wody zmierzono w ostatnim dniu marca 327 mm, a najniższą w sierpniu 168 mm. Od września obserwowano stopniowe powiększanie się zasobów wody i na koniec października zanotowano 207 mm. W okresie prowadzenia badań w 1999 r. zwierciadło wody gruntowej dla analizowanego profilu znajdowało się na głębokości poniżej 1,5 m od powierzchni terenu (średnio 1,8-2,5 m).

Dla profilu zlokalizowanego powyżej budowli piętrzącej w wierzchniej, półmetrowej warstwie gleby praktycznie przez pierwsze miesiące okresu badawczego obserwowano stałe wartości zasobów wody zbliżone do pełnej pojemności wodnej 186 mm. Od lipca notowano stopniowe zmniejszanie się zasobów wody i najniższą wartość zaobserwowano na koniec sierpnia 121 mm. Uwilgotnienie warstwy 0-50 cm od kwietnia do połowy sierpnia odpowiadało wartościom wody wolnej i wody łatwo dostępnej dla roślin, następnie do końca września utrzymywało się na poziomie wartości wody trudno dostępnej dla roślin. W metrowej warstwie gleby przebieg zasobów wody miał podobny charakter. Najwyższe wartości notowano w pierwszych miesiącach okresu badawczego od 357 mm na koniec marca do 333 mm w lipcu. Następnie obserwowano niewielkie zmniejszanie się rezerw wilgoci, a najniższe wartości zanotowano na początku sierpnia 271 mm. Od września ponownie następowało zwiększanie się zasobów wody w metrowej warstwie gleby i na koniec

października wynosiły one 320 mm. W ciągu całego okresu IV-X uwilgotnienie warstwy 0-100 cm odpowiadało wartościom wody wolnej i wody łatwo dostępnej dla roślin. Przebieg zapasów wody dla warstwy 0-150 cm miał zbliżony charakter do przebiegu zapasów w metrowej warstwie. Najwyższą wartość zasobów wody zmierzono w ostatnim dniu marca 517 mm, a najniższą w sierpniu 431 mm. Od września obserwowano stopniowe powiększanie się zapasów wody i na koniec października zanotowano 480 mm. W okresie prowadzenia badań w 1999 r. zwierciadło wody gruntowej dla analizowanego profilu znajdowało się na głębokości średnio 1,0-1,3 m od powierzchni terenu.

Zróznicowanie w wielkościach zapasów wody pomiędzy analizowanymi profilami wynika z odmiennego sposobu zasilania gleb. Gospodarka wodna gleb z doliny przyległej do Odry swobodnie płynącej zależy głównie od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Gleby z terenów położonych powyżej stopnia wodnego oprócz opadów są dodatkowo zasilane wodami podsiąkowymi z wód gruntowych. W poszczególnych terminach okresu badawczego zasilanie to, określone jako różnica pomierzonych zapasów wody w odpowiadających sobie terminach i warstwach, wynosiło: w półmetrowej warstwie od 43 do 76 mm, w metrowej od 138 do 182 mm i w warstwie 0-150 cm od 190 do 279 mm.

WNIOSKI

1. Dynamika uwilgotnienia charakterystycznych dla doliny Odry profili glebowych oraz przebieg zapasów wody w analizowanych warstwach kształtował się odmiennie w obu obszarach oddziaływania stopnia wodnego na teren przyległy.
2. Gospodarka wodna gleby w dolinie Odry swobodnie płynącej zależała głównie od wielkości zasilania opadami atmosferycznymi. Zwierciadło wody gruntowej w ciągu całego okresu IV-X 1999 r. zalegało na głębokości ponad 1,5 m od powierzchni terenu. Zapasy wody w warstwie 0-50 cm wahały się od 78 do 145 mm, w warstwie 0-100 cm od 114 do 211 mm oraz w warstwie 0-150 cm od 168 do 327 mm. Uwilgotnienie analizowanych warstw najczęściej odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej dla roślin.

3. Gospodarka wodna gleb w dolinie przyległej do spiętrzonych wód Odry charakteryzowała się zdecydowanie mniejszą dynamiką zmian, zwłaszcza w warstwach 0-100 cm i 0-150 cm, z uwagi na stałe zasilanie wodami gruntowymi. Przebieg zapasów wody w wierzchniej, półmetrowej warstwie wykazywał większą dynamikę, o jej charakterze decydowało zasilanie opadami atmosferycznymi. Zapasy wody w warstwie 0-50 cm wahały się od 121 do 186 mm, w warstwie 0-100 cm od 271 do 357 mm, a w warstwie 0-150 cm od 431 do 517 mm. Uwilgotnienie gleby odpowiadało przeważnie wartościom wody wolnej i łatwo dostępnej dla roślin.

LITERATURA

- OLSZEWSKA B. 1998: Wpływ budowy piętrzącej na warunki wodne oraz wybrane elementy środowiska przyrodniczego w dolinie na przykładzie Odry w rejonie Brzegu Dolnego. Zesz. Nauk. AR Wrocław Nr 349, Inż. Środ. X, 107-132.
- OLSZEWSKA B., PLYWACZYK L. 1999: Groundwater participation in water management of the soils in the Odra valley in the region of the Brzeg Dolny dam. Roczn. AR Poznań CCCX, Melior. Inż. Środ. 20, cz. II, 211-221.
- PLYWACZYK L. 1997: Oddziaływanie spiętrzenia rzeki na dolinę na przykładzie Brzegu Dolnego. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Monogr. XI.

Streszczenie: *Dynamika uwilgotnienia mady średniej w okresie wegetacyjnym 1999 r. w warunkach naporowych oraz swobodnego położenia zwierciadła wody gruntowej. W dolinie Odry w comiesięcznych terminach okresu IV-X 1999 r. prowadzono pomiary uwilgotnienia gleb metodą suszarkowo - wagową. Wybrano dwa profile, które są zlokalizowane na gruntach ornych, charakteryzują się zbliżonym składem mechanicznym oraz warunkami opadowymi i termicznymi, a różni je położenie zwierciadła wody gruntowej. Profil glebowy, znajdujący się w obszarze oddziaływania spiętrzonych wód Odry na dolinę, oprócz opadów atmosferycznych zasilany jest dodatkowo wodami podsiąkowymi. W pracy dla obu gleb przeanalizowano głębokości zalegania wód gruntowych, wilgotności oraz sumy zapasów wody w półmetrowej i metrowej warstwie gleby.*

Słowa kluczowe: uwilgotnienie gleb, zapasy wody w glebie, dolina Odry.

Adres autorów:

Leszek Pływaczyk, Beata Olszewska, Wojciech Łyczko
Instytut Melioracji i Kształtowania Środowiska
Akademia Rolnicza we Wrocławiu
50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24

Metody obliczania dawek polewowych nawodnień deszczownianych

STANISŁAW ŻAKOWICZ

Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Department of Environmental Development
Warsaw Agricultural University

Abstrakt: *Methods for determination of sprinkler irrigation rate.* Presented methods of net application rate calculation for sprinkler irrigation are based on diversified input data as: water retention curves, soil texture curves, bulk density, and organic matter content. This diversity allows in engineering practice to correctly define net application rate quantity not only by directly methods but also used indirect methods. For designing net application rate quantity good results were obtained using Varellyay analytical method, which determines the amount of water available for plants range. Presented in table 5 studies of on plant type, growth phase, evapotranspiration rate, but also for growing conditions i.e. moisture content volume in the root zone.

Key words: soil moisture, evapotranspiration, sprinklers, irrigation

WSTĘP

Ustalenie wielkości dawki polewowej netto (d_n) zależy przede wszystkim od właściwości fizyko-wodnych profilu glebowego, rodzaju roślin, a także od warunków ewapotranspiracyjnych atmosfery. Dokładne wyznaczenie ilości wody łatwo dostępnej jako retencji użytecznej w ujęciu dynamicznym na etapie projektowania jak i w fazie eksploatacji systemów nawadniających przedstawiono m. in. w pracach (Boroń, 1990), (Hsiao, 1973), (Żakowicz, 1986, 1990). Obliczenie wielkości dawki polewowej netto (d_n) możemy wykonać w oparciu o dane z pomiarów bezpośrednich lub metodami analitycznymi. Z metod bezpośrednich przedstawiono wyniki uzyskane z laboratoryjnych badań retencyjnej i wilgotnościowej charakterystyki gleby. Z metod

analitycznych omówiono metody: Varallyay'a, Ślusarczyka, Trzeckiego, Somorowskiego oraz Doorenbosa i Pruittta.

METODYKA

Przedstawienie technologii prowadzenia obliczeń przy wykorzystaniu zróżnicowanych metod dokonano na przykładzie profilu gleby pyłowej o właściwościach fizyczno-wodnych przedstawionych w tabeli 1. Na nawadnianym terenie będzie prowadzona intensywna produkcja warzyw o głębokości korzenia się do 50 cm.

Tabela 1 Właściwości fizyczno-wodne gleby.

1	Gęstość fazy stałej ρ_s	[Mg/m ³]	2,657	
2	Gęstość objętościowa gleby ρ_o	[Mg/m ³]	1,425	
3	Porowatość	[%]	46,4	
4	Skład mechaniczny w % cz. ziarnistych o ϕ mm	piasek 1,0-0,1	16	
		pył gruby 0,1-0,05	57	
		pył drobny (0,05-0,02)	20	
		ił pyłowy gruby (0,02-0,005)	2	
		ił pyłowy drobny (0,005-0,002)	2	
		ił koloidalny (< 0,002)	3	
5	Wilgotność w [% obj] przy sile ssącej gleby w [hPa]	2,5	pF 0,4	45,7
		10	pF 1,0	44,0
		31,6	pF 1,5	41,0
		100	pF 2,0	32,6
		500	pF 2,7	18,4
		2500	pF 3,4	11,1
		15000	pF 4,2	5,5
6	Zawartość części organicznych	[%]	0,6	
7	Współczynnik filtracji	[m/d]	0,202	

Obliczenie dawki polewowej netto na podstawie pomiarów bezpośrednich

Obliczenie dawki polewowej netto (d_n) przeprowadzono wykorzystując pomierzone zdolności retencyjne gleby w strefie korzeniowej w oparciu, o które ustalimy ilość wody łatwo dostępnej dla roślin. Ustalenie wielkości dawki (d_n) możemy obliczyć ze wzoru:

$$d_n = W \cdot D * h$$

gdzie:

d_n – dawka polewowa netto [mm],

h – miąższość strefy korzeniowej roślin [dm].

WŁD – ilość wody łatwo dostępnej dla roślin, określana jako różnica pomiędzy wilgotnością gleby przy połowej pojemności wodnej (PPW), a wilgotnością gleby przy pojemności okresu suszy (POS) [% obj.],

Obliczenie dawki polewowej netto metodami pośrednimi:

Metoda Varallyay'a

W metodzie tej (Varallyay i mironienko 1979) oblicza się 9 współrzędnych punktów krzywej p_f w zależności od uziarnienia i gęstości objętościowej gleby. obliczone wartości wilgotności gleby dla 9 wielkości p_f pozwalają na wykreślenie przebiegu krzywej retencyjności wodnej gleby i odczytanie ilości wody łatwo dostępnej (włd). w metodzie varallyay'a występują trzy charakterystyczne typy gleb. w celu dokonania identyfikacji typu gleby wykonuje się obliczenia wilgotności gleby przy $p_f = 0$ dla wszystkich trzech typów i dokonujemy porównania uzyskanych wyników z wartościami porowatości rzeczywistej. do dalszych obliczeń przyjmuje się typ gleby, którego wilgotność przy $p_f = 0$ jest najbliższa porowatości rzeczywistej. obliczenia przeprowadza się wykorzystując zależność opracowaną przez varallyay'a w postaci:

$$\theta_{p_f} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2$$

gdzie:

θ - wilgotność gleby dla odpowiedniej wielkości p_f [% obj.]

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – współczynniki liczbowe stałe

x_1, x_2 – współczynniki zmienne.

Wartości liczbowe współczynników stałych i numery współczynników zmiennych dla trzech typów gleb podano w tabeli 2. Wartości liczbowe jakim odpowiadają poszczególne numery współczynników zmiennych x_1 i x_2 przedstawiono w tabeli 3.

Metoda Ślusarczyka

W metodzie zaproponowanej przez Ślusarczyka (1979) obliczamy wielkość dawki polewowej netto przez określenie ilości wody łatwo dostępnej WŁD jako 50 % wielkości zapasu wody ogólnie dostępnej (WOD). Granicami wody ogólnie dostępnej w proponowanej metodzie jest połowa pojemność wodna PPW ($p_f = 2,4$) i wilgotność trwałego wędnięcia (WTW) odpowiadająca wartości $p_f = 4,2$.

Tabela 2. Wielkości współczynników Varallyay'a dla trzech typów gleby.

Typ gleby	pF	Współ. zmienne		Współczynniki liczbowe					
		x_1	x_2	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
A	0,0	7	1	91,55	-31,0	1,0	2,2	1,0	1,0
	0,4	7	1	65,85	1,0	1,0	2,2	-9,6	1,0
	1,0	7	6	57,85	1,0	1,0	1,1	-7,6	15,6
	1,5	6	7	50,57	1,0	1,0	-61,1	23,5	-5,8
	2,0	1	6	32,23	27,8	1,0	1,0	-51,2	47,1
	2,7	6	1	18,99	44,3	15,3	1,0	1,0	30,9
	3,4	6	1	12,69	49,1	1,0	1,0	1,0	12,4
	4,2	6	3	2,28	44,7	24,4	1,0	1,0	1,0
6,2	6	2	0,21	6,8	1,0	1,0	1,0	9,7	
B	0,0	7	6	58,33	1,0	1,0	1,0	-7,2	19,7
	0,4	7	6	56,95	1,0	1,0	1,0	-6,9	19,9
	1,0	7	6	53,98	1,0	1,0	1,0	-6,5	23,0
	1,5	6	7	49,58	1,0	1,0	1,0	28,6	-5,61
	2,0	6	7	37,87	32,4	1,0	1,0	1,0	-4,67
	2,7	1	6	28,49	-18,4	29,2	1,0	1,0	1,0
	3,4	6	1	17,24	38,9	1,0	1,0	1,0	-17,9
	4,2	6	1	12,65	31,9	-12,8	1,0	1,0	1,0
6,2	6	2	1,23	1,0	1,0	1,0	1,0	19,0	
C	0,0	7	2	92,30	-32,7	1,0	1,0	1,0	13,5
	0,4	7	2	64,28	1,0	1,0	1,0	-9,8	13,6
	1,0	7	2	57,61	1,0	1,0	1,0	-7,2	1,0
	1,5	7	1	-38,76	126,5	1,0	1,0	-49,5	1,0
	2,0	1	2	38,84	1,0	1,0	1,0	-22,4	1,0
	2,7	6	2	19,76	45,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	3,4	6	5	8,66	61,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	4,2	6	7	1,58	57,5	1,0	1,0	1,0	1,0
6,2	6	7	0,42	11,9	1,0	1,0	1,0	1,0	

Tabela 3. Wartości liczbowe jakim odpowiadają poszczególne numery współczynników zmiennych

Nr współczynników x_1 i x_2	Odpowiadająca wielkość fizyczna
1	zawartość frakcji w przedziale od 1 do 0,05 mm (ułamek dziesiąty)
2	zawartość frakcji w przedziale od 0,05 do 0,02 mm (uł. dziesiąty)
3	zawartość frakcji w przedziale od 0,02 do 0,01 mm (uł. dziesiąty)
4	zawartość frakcji w przedziale od 0,01 do 0,005 mm (uł. dziesiąty)
5	zawartość frakcji w przedziale od 0,005 do 0,002 mm (uł. dziesiąty)
6	zawartość frakcji mniejszych od 0,002 mm (ułamek dziesiąty)
7	gęstość objętościowa gleby

Ślusarczyk do obliczania charakterystycznych wilgotności zaproponował dwie grupy wzorów:

1. *Dla gleb piaskowych, gliniastych i ilowych.*

$$PPW = 5,922 + 0,044 (x_1 + x_2) + 0,342 (x_3 + x_4 + x_5) + 1,022 x_6$$

$$WTW = 0,709 + 0,386 x_5$$

gdzie:

PPW – wilgotność gleby przy połowej pojemności wodnej w [% masy]

WTW – wilgotność gleby przy punkcie trwałego wędnięcia w [% masy]

x_1 – ilość frakcji w [%] o ϕ 0,10 – 0,05 mm

x_2 – ilość frakcji w [%] o ϕ 0,05 – 0,02 mm

x_3 – ilość frakcji w [%] o ϕ 0,02 – 0,005 mm

x_4 – ilość frakcji w [%] o ϕ 0,005 – 0,002 mm

x_5 – ilość frakcji w [%] o $\phi < 0,002$ mm

x_6 – ilość próchnicy w [%]

2. *Dla gleb pyłowych*

$$PPW = 304,569 - 2,845 x_1 - 2,944 x_2 - 2,631 x_3 - 2,803 x_4 + 1,43 x_5$$

$$WTW = 1,901 + 0,293 x_4$$

gdzie:

x_1 – ilość frakcji w [%] o ϕ 1,0 – 0,1 mm

x_2 – ilość frakcji w [%] o ϕ 0,1 – 0,02 mm

x_3 – ilość frakcji w [%] o ϕ 0,02 – 0,002 mm

x_4 – ilość frakcji w [%] o $\phi < 0,002$ mm

x_5 – ilość próchnicy w [%]

Metoda Trzeckiego

Określenie wielkości dawki polewowej netto metodą Trzeckiego (1974, 1976) polega na wyznaczeniu ilości wody łatwo dostępnej WŁD jako różnicy uwilgotnienia przy połowej pojemności wodnej PPW, a uwilgotnieniem gleby przy punkcie hamowania

wzrostu roślin POS. Charakterystyczne uwilgotnienia przy PPW, POS i wilgotności trwałego więdnięcia roślin WTW określone są wzorami:

Dla warstwy ornej:

$$PPW = 0,0188 x_1 + 0,0879 x_2 + 0,240 x_3 + 0,296 x_4 + 0,649 x_5 + 0,316 x_6 + 2,340 x_7$$

$$POS = -0,0213 x_1 - 0,0338 x_2 + 0,115 x_3 + 0,451 x_4 + 0,513 x_5 + 0,323 x_6 + 2,250 x_7$$

$$WTW = 0,00121 x_1 - 0,00868 x_2 + 0,0488 x_3 + 0,0737 x_4 + 0,0485 x_5 + 0,142 x_6 + 1,250 x_7$$

Dla warstwy podornej:

$$PPW = 0,0157 x_1 + 0,091 x_2 + 0,284 x_3 + 0,353 x_4 + 0,105 x_5 + 0,603 x_6$$

$$POS = -0,000227 x_1 + 0,0205 x_2 + 0,0395 x_3 + 0,303 x_4 + 0,260 x_5 + 0,524 x_6$$

$$WTW = 0,00193 x_1 + 0,0243 x_2 + 0,0111 x_3 + 0,0262 x_4 + 0,193 x_5 + 0,272 x_6$$

gdzie:

x_1 – procentowa zawartość frakcji o ϕ 1,0 – 0,1 mm

x_2 – procentowa zawartość frakcji o ϕ 0,1 – 0,05 mm

x_3 – procentowa zawartość frakcji o ϕ 0,05 – 0,02 mm

x_4 – procentowa zawartość frakcji o ϕ 0,02 – 0,006 mm

x_5 – procentowa zawartość frakcji o ϕ 0,006 – 0,002 mm

x_6 – procentowa zawartość frakcji o $\phi < 0,002$ mm

x_7 – procentowa zawartość związków organicznych

Metoda Somorowskiego

Wielkość dawki polewowej netto dla strefy korzeniowej o miąższości 50 cm (Somorowski 1967) proponuje określić w zależności od procentowej zawartości frakcji spławialnych ($\phi < 0,02$ mm). Zapasy wody przy charakterystycznych uwilgotnieniach w 0,5 m warstwie gleby w zależności od zawartości części spławialnych zestawione zostały w tab. 4. W przypadku gleb o zawartości substancji organicznej różnej od 3 % oraz gleb w których stosunek części pyłowych do części spławialnych jest inny niż 2 procedura określania dawki polewowej netto jest następująca.

- W zależności od zawartości frakcji spławialnych odczytuje się z kolumny 2 zapasy wody przy polowej pojemności wodnej Z_{PPW} i z kolumny 7 stosunek dawki polewowej netto do zapasów przy pojemności polowej.
- Następnie do zapasów wody przy pojemności polowej Z_{PPW} wnosi się odpowiednie poprawki z tabeli 5 i 6.
- Korzystając ze znajomości stosunku d_n/Z_{PPW} oblicza się ostateczną wielkość dawki polewowej netto d_n .
- W przypadku gdy zawartość substancji organicznej w tab. 5. i stosunek frakcji w tab. 6. wypada poza wartościami przedstawionymi w tabelach to do obliczeń przyjmuje się ostatnie skrajne podane wartości.

Tabela 4. Zapasy wody w 0,5m warstwie gleb mineralnych przy charakterystycznych stanach uwilgotnienia w warunkach głębokiego zalegania wód gruntowych według Somorowskiego (1967).

Zawartość frakcji spław. (<0,02mm) [%]	Zapasy wody w [mm] przy pojemności			Ilość wody w [mm]		Stosunek retencji użytecznej wzgl. dawki polewowej do pojemności polowej $\frac{d_n}{Z_{PPW}}$
	Polowej Z_{PPW}	Okresu suszy Z_{POS}	Wilgotności wędnięcia Z_{PTW}	Ogólnie dostępnej WOD	Łatwo dostępnej określającej wielkość retencji użytecznej i maksymalnej dawki polewowej netto WŁD (d_n)	
1	2	3	4	5	6	7
5	76	47	7	69	29	0,38
10	94	61	16	78	33	0,35
20	126	84	34	92	42	0,33
30	151	106	52	99	45	0,30
40	169	122	70	99	47	0,27
50	181	134	89	92	47	0,26
60	185	141	107	78	44	0,24
70	183	143	125	58	40	0,22

Tabela 5. Poprawki dla polowej pojemności wodnej w glebach o różnej zawartości substancji organicznej:

Zawartość substancji organicznej w %	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Poprawka w mm	-20	-11	-2	+7	+15	+24

Tabela 6. Poprawki dla polowej pojemności wodnej w glebach pyłowych:

Stosunek: frakcja 0,1-0,02mm/frakcja<0,02	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Poprawka w mm	-32	-15	+1	+18	+34

Metoda Doorenbosa i Pruitta.

Zaproponowana przez Doorenbosa i Pruitta (1977) metoda została przyjęta w instrukcji IMUZ nr 66 opracowanej przez Roguskiego, Sarnacką i Drupkę (1988) jako zalecane do stosowania dla obszaru Polski. W oparciu o badania fizjologiczno-rolnicze roślin uprawnych Doorenbos i Pruitt proponują określić stopień wykorzystania zapasów wody ogólnie dostępnej WOD od wysokości ewapotranspiracji dobowej ET_m dla optymalnych warunków wzrostu. Szacunkowe ilości wody ogólnie dostępnej WOD dla gleb mineralnych opracowane przez Ślusarczyka podano w tabeli 7.

Tabela 7. Ilość wody ogólnie dostępnej w mm na glebach mineralnych wg Ślusarczyka (1979).

Lp.	Gatunek gleby	Woda ogólnie dostępna /WOD/ w mm w warstwie gleby w [cm]				
		0-25	25-50	50-75	75-100	0-100
1	2	3	4	5	6	7
1	Piasek luźny /pl/	25	24	23	20	92
2	Piasek słabo gliniasty /ps/	30	30	30	27	117
3	Piasek gliniasty lekki /pgl/	35	35	35	38	138
4	Piasek gliniasty mocny /pgm/	40	40	40	35	155
5	Gлина lekka /gl/	45	45	50	45	185
6	Gлина średnia /gs/	50	50	50	50	200
7	Gлина ciężka /gc/	60	60	60	60	240
8	Il /i/	55	55	55	55	220
9	Pył zwykły /plz/	50	50	50	50	220
10	Pył ilasty /pli/	62	58	62	62	244

Proponowana wielkość współczynnika wykorzystania wody łatwo dostępnej „p” dla warunków ewapotranspiracji dobowej około 5 – 6 mm podano w tabeli 8. Dla wartości ewapotranspiracji ponad 8 mm na dobę wartość współczynnika „p” zwiększamy o 30 %, a dla ET_r < 3 mm/dobę zmniejszamy o 30 %. Proponowana przez Doorenbosa i Pruitta metoda szacunkowa może być wykorzystana na etapie programowania inwestycji melioracyjnych. Na etapie projektowania systemów nawadniających i w warunkach eksploatacyjnych musimy znać dokładnie przebieg

stopnia wykorzystania zapasów wody ogólnie dostępnej dla roślin w zależności od wysokości ewapotranspiracji jak i warunków uprawowych. Metodykę dokładnego wyznaczenia ilości wody łatwo dostępnej w ujęciu dynamicznym na etapie projektowania w zależności od intensywności ewapotranspiracji w okresach bezopadowych jak i w fazie eksploatacji systemów nawadniających przedstawiono w pracy Żakowicza (1986). Przykładowy przebieg współczynnika dostępności wody dla roślin (p) nazywanego także indeksem stresu wodnego (ISW) w oparciu o badania Żakowicza dla kukurydzy, trawy i sałaty zamieszczono w tabeli 9. Przedstawione w tabeli 9 współczynniki (ISW) uzależnione są od wysokości ewapotranspiracji dla optymalnych warunków wzrostu roślin nazywanej ewapotranspiracją możliwą ET_m i od warunków uprawowych charakteryzowanych poziomem uwilgotnienia gleby przy połowej pojemności wodnej w środku strefy korzeniowej roślin. W przedstawianych materiałach uwilgotnienie przy połowej pojemności wodnej PPW podane jest dla czterech wartości pF (1,8; 2,0; 2,3; 2,4).

Tabela 8. Głębokość ukorzenia roślin w pełni rozwoju oraz przybliżone współczynniki wykorzystania wody ogólnie dostępnej (p), dla $ET_r = 5+6$ mm (wg Doorenbosa i Pruitta 1977).

Lp.	Rośliny	Współczynniki wykorzystania wody dostępnej (p)
1	2	4
1	Owies*, kukurydza*	0,60
2	Jęczmień, pszenica, lucerna	0,55
3	Buraki cukrowe, len*, buraki ćwikłowe, bobik, soja, ogórki, trawy	0,50
4	Słonecznik*, fasola, kapusta	0,45
5	Pomidory	0,40
6	Koniczyna, marchew, groch, groch pastewny, peluszką	0,35
7	Sałata	0,30
8	Ziemniaki, cebula	0,25
9	Selery, szpinak, inne warzywa	0,20

* - w okresie dojrzewania można stosować wielkości wyższe od podanych $p = 0,9$

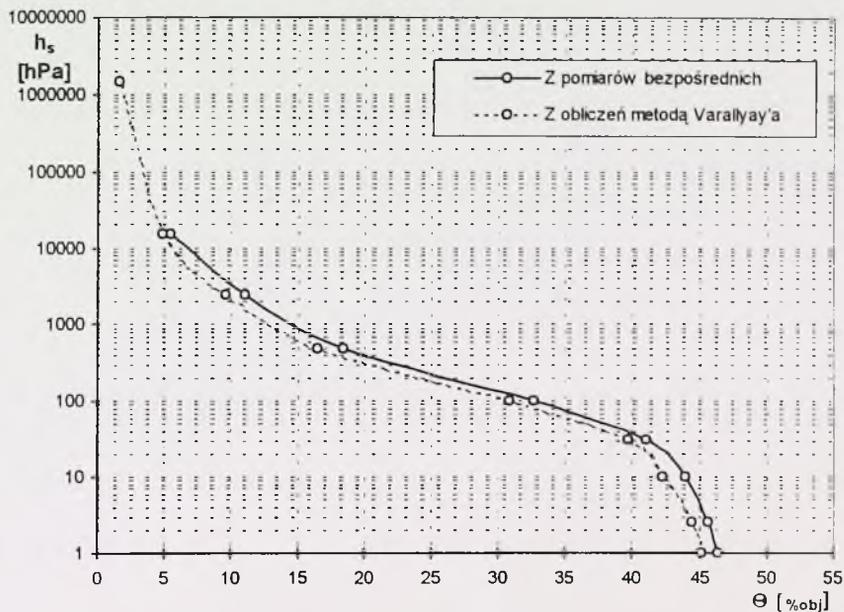
Tabela 9. Przebieg współczynników dostępności wody (p) dla kukurydzy, trawy i sałaty w zależności od wysokości ewapotranspiracji możliwej oraz warunków uprawowych, w których PPW odpowiada $pF = 1,8; 2,0; 2,3; 2,4$ (Zakowicz 1986, 1990).

L-p	ETm [mm/dobę]	Kukurydza				Trawa			Sałata			
		pF 1,8	pF 2,0	pF 2,3	pF 2,4	pF 1,8	pF 2,0	pF 2,3	pF 1,8	pF 2,0	pF 2,3	pF 2,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,5	0,94	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,81	0,8	0,79	0,78
2	1	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,87	0,87	0,75	0,73	0,67	0,66
3	1,5	0,9	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,83	0,69	0,66	0,57	0,56
4	2	0,88	0,86	0,84	0,83	0,78	0,77	0,77	0,66	0,61	0,51	0,5
5	2,5	0,85	0,83	0,8	0,78	0,73	0,72	0,71	0,62	0,57	0,45	0,44
6	3	0,82	0,79	0,75	0,73	0,69	0,68	0,65	0,6	0,54	0,41	0,4
7	3,5	0,77	0,74	0,7	0,68	0,65	0,64	0,6	0,57	0,52	0,38	0,37
8	4	0,73	0,68	0,63	0,61	0,62	0,6	0,54	0,56	0,5	0,36	0,34
9	4,5	0,66	0,61	0,54	0,52	0,58	0,56	0,48	0,54	0,48	0,34	0,32
10	5	0,55	0,5	0,4	0,38	0,55	0,53	0,44	0,52	0,46	0,32	0,3
11	5,5	0,39	0,32	0,18	0,16	0,53	0,51	0,4	0,46	0,38	0,25	0,22
12	6	0,35	0,27	0,14	0,12	0,5	0,47	0,36	0,35	0,26	0,15	0,12
13	6,5	0,32	0,24	0,1	0,08	0,48	0,45	0,32	0,25	0,17	0,1	0,08
14	7	0,31	0,23	0,09	0,07	0,45	0,42	0,29	0,19	0,14	0,08	0,07
15	7,5	0,3	0,22	0,08	0,06	0,43	0,4	0,26	0,17	0,13	0,07	0,06
16	8	0,29	0,21	0,07	0,05	0,41	0,38	0,24	0,16	0,12	0,06	0,05
17	8,5	0,28	0,2	0,07	0,05	0,4	0,36	0,22	0,15	0,11	0,05	0,05

WYNIKI OBLICZEŃ

Wielkość dawki polewowej netto ustalona na podstawie pomiarów bezpośrednich

Przebieg pomierzonej wilgotnościowej i retencyjnej charakterystyki gleby przedstawiono jako linię ciągłą na rys. 1. Przyjęto, że w rozpatrywanych warunkach uprawowych wilgotność gleby przy pojemności polowej (PPW) w środku strefy korzeniowej roślin odpowiada wartości $pF = 2,4$. Wilgotność gleby odpowiadająca pojemności okresu suszy (POS) przyjęto dla wartości $pF = 3,0$. Odczytana wilgotność gleby w środku strefy korzeniowej przy polowej pojemności wodnej PPW wynosi 23,3% obj., a przy pojemności wodnej okresu suszy POS=14,5% obj.. Ilość wody łatwo dostępnej (WLD) jako różnica wilgotności (PPW-POS) (odczytana z rys. 1) wyniosła 8,8 % obj. Obliczona wielkość dawki polewowej netto d_n wynosi 44 mm.



Rys. 1. Wilgotnościowa i retencyjna charakterystyka gleby

Wielkość dawki polewowej netto ustalona metodami pośrednimi

Metoda Varallyay'a

Dla rozpatrywanego przykładu w oparciu o krzywą uziarnienia gleby zostały określone wartości liczbowe jakim odpowiadają poszczególne numery współczynników x_1 i x_2 . Wartości liczbowe współczynników dla rozpatrywanego przykładu zestawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Wartości liczbowe x_1 i x_2 dla analizowanego przykładu.

Nr współczynników x_1 i x_2	Wartości liczbowe współczynników x_1 i x_2
1	0,73
2	0,20
3	0,01
4	0,01
5	0,02
6	0,03
7	1,425

Identyfikację typu gleby przeprowadzono obliczając uwilgotnienie gleby przy $pF = 0$.

Typ A

$$\theta_{pF=0} = 91,55 - 31,0 \times 1,425 + 1,0 \times 0,73 + 2,2 \times 1,425 \times 0,73 + 1,0 \times 1,425^2 + 1,0 \times 0,73^2 = 52,96 \% \text{obj.}$$

Typ B

$$\theta_{pF=0} = 58,33 + 1,0 \times 1,425 + 1,0 \times 0,03 + 1,0 \times 1,425 \times 0,03 - 7,2 \times 1,425^2 + 19,7 \times 0,03^2 = 45,22 \% \text{obj.}$$

Typ C

$$\theta_{pF=0} = 92,30 - 32,7 \times 1,425 + 1,0 \times 0,2 + 1,0 \times 1,425 \times 0,20 + 1,0 \times 1,425^2 + 13,5 \times 0,20^2 = 48,76 \% \text{obj.}$$

Z uwagi, że porowatość rzeczywista gleby wynosi 46,40 % obj. przyjęto typ gleby B. Obliczone wielkości wilgotności gleby dla poszczególnych poziomów pF zestawiono poniżej:

$$\text{dla } pF = 0 \quad \theta_{pF=0} = 45,22 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 0,4 \quad \theta_{pF=0,4} = 44,45 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 1,0 \quad \theta_{pF=1,0} = 42,30 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 1,5 \quad \theta_{pF=1,5} = 39,71 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 2,0 \quad \theta_{pF=2,0} = 30,83 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 2,7 \quad \theta_{pF=2,7} = 16,49 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 3,4 \quad \theta_{pF=3,4} = 9,62 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 4,2 \quad \theta_{pF=4,2} = 4,82 \% \text{obj.}$$

$$\text{dla } pF = 6,2 \quad \theta_{pF=6,2} = 1,52 \% \text{obj.}$$

Obliczony przebieg krzywej retencyjności wodnej gleby przedstawiono jako linię przerywaną na rysunku 1. Odczytana z otrzymanego wykresu wilgotność gleby przy PPW wyniosła 21,5%, przy pojemności okresu suszy POS=12,8 %. Ilość wody łatwo dostępnej (WŁD) wynosi 8,7 %. Obliczona wielkość dawki polewowej netto $d_n = 43,5$ mm.

Metoda Ślusarczyka

Dla rozpatrywanego przykładu obliczenia wykonano jak dla gleb pyłowych i uzyskano następujące wyniki: $PPW = 14,3 \%$ masy, $WTW = 2,8 \%$ masy. Przeliczając wilgotności wyrażone w % masy na wilgotności w % obj. uzyskamy wilgotność gleby przy polowej pojemności wodnej $PPW = 20,4 \%$ obj., a wilgotność gleby przy punkcie trwałego więdnięcia $WTW = 4,0 \%$ obj. Ilość wody ogólnie dostępnej $WOD = 16,4 \%$ obj., a przedział uwilgotnienia dla wody łatwo dostępnej $WLD = 0,5 * WOD = 8,2 \%$ obj. Obliczona wielkość dawki polewowej netto wyniosła $d_n = 41,0$ mm.

Metoda Trzeckiego

Dla analizowanego przykładu obliczenia wykonano dla warstwy ornej o miąższości 30 cm i warstwy podornej 20 cm. Dla warstwy ornej uzyskano następujące wyniki: $PPW = 20,0 \%$ obj., $POS = 13,6 \%$ obj., $WTW = 4,7 \%$ obj. Natomiast dla warstwy podornej uzyskano: $PPW = 18,0 \%$ obj., $POS = 9,1 \%$ obj., $WTW = 3,6 \%$ obj. Wielkość dawki netto d_n dla nawodnień deszczownianych wynosi $(6,4 \times 3) + (8,9 \times 2) = 19,2 + 17,8 = 37,0$ mm

Metoda Somorowskiego

Dla danych z rozpatrywanego przykładu zawartość części spławialnych wynosi 7 %, a stosunek frakcji pylastej do części spławialnych wynosi 11. W tej sytuacji ustalenie dawki polewowej netto d_n polega na odczytaniu zapasów przy polowej pojemności wodnej Z_{PPW} i stosunku dawki polewowej netto do Z_{PPW} . Odczytane wartości z tabeli 4, wynoszą: $Z_{PPW} = 83$ mm, a stosunek $d_n/Z_{PPW} = 0,37$. Do odczytanych wartości Z_{PPW} wniesiono poprawki z tabeli 5, zmniejszając zapasy wody Z_{PPW} o 20 mm i z tabeli 6, zwiększając zapasy wody Z_{PPW} o 34 mm. W wyniku wniesionych poprawek uzyskano wartość ostateczną zapasów wody przy polowej pojemności wodnej $Z_{PPW} = 97$ mm. Ustalona wielkość dawki polewowej netto wynosi: $d_n = 97 \text{ mm} \times 0,37 = 35,9$ mm.

Metoda Doorenbosa i Pruitta

Obliczenie dawki polewowej netto metodą Doorenbosa i Pruitta w oparciu o instrukcję IMUZ polega na odczytaniu w zależności od gatunku gleby, ilości wody ogólnie dostępnej WOD z tabeli 7. W rozpatrywanym przypadku ilość wody ogólnie dostępnej

wynosi 100 mm, a procentowa zawartość wody łatwo dostępnej odczytana z tabeli 8 wynosi 30 %. Wielkość dawki polewowej netto d_n wynosi 30 mm.

PODSUMOWANIE

Zestawienie wyników przeprowadzonych obliczeń dawki polewowej netto dla nawodnień deszczownianych przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11. Wyniki obliczeń dawki polewowej netto d_n dla nawodnień deszczownianych.

Lp.	Metoda	Wielkość dawki polewowej netto d_n [mm]
1	Pomiar bezpośredni	44,0
2	Varallyay'a	43,5
3	Ślusarczyka	41,0
4	Trzeckiego	37,0
5	Somorowskiego	35,9
6	Doorenbosa i Pruitta	30,0

1. Z metod pośrednich obliczania wielkości dawek polewowych dla nawodnień deszczownianych najlepsze rezultaty uzyskano przy wykorzystaniu metody Varallyay'a. Metoda ta daje także możliwość uzyskania zależności wilgotnościowej i retencyjnej charakterystyki gleby tzw. krzywej pF.
2. W przypadku określania wielkości dawek polewowych w ujęciu dynamicznym przy wykorzystaniu metody Doorenbosa i Pruitta należy przy ustalaniu współczynnika dostępności wody dla roślin (p) uwzględnić także wartość potencjału wody glebowej (pF) odpowiadające uwilgotnieniu przy połowej pojemności wodnej gleby. Przykładowy przebieg współczynnika (p) dla trzech roślin uzyskany w badaniach przez Żakowicza podaje tabela 9.
3. W warunkach eksploatacyjnych wielkości dawek polewowych przy nawodnieniach deszczownianych jest zmienna co wynika głównie z warunków klimatycznych. Dlatego dla optymalnego gospodarowania wodą powinno się posiadać retencyjną i wilgotnościową charakterystykę profilu glebowego.

LITERATURA

- BOROŃ K., i in., 1990: Metoda ustalania współczynnika stresu wodnego roślin i możliwość jego wykorzystania do ustalenia okresów krytycznych zapotrzebowania na wodę. Z.N. AR nr 249 z 28, Kraków, p. 33-45.
- DOORENBOS J., PRUITT W. O., 1977: Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Roma.
- HSIAO T.C., 1973: Plant responses to water stress. *Ann.Rev. Plant Physiol.*,24,519-570.
- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S., 1988: Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. IMUZ Falenty. Nr 66.
- SOMOROWSKI CZ., 1967: Obliczenie dawek polewowych nawodnień deszczownianych na podstawie właściwości wodnych profilu glebowego. *Gospodarka Wodna*. Nr 6.
- ŚLUSARCZYK E., 1979: Określenie retencji użytecznej gleb mineralnych dla prognozowania i projektowania nawodnień. CBSiPWM „Bipromel” nr 10/75 Melior. Rol. Biur. Inf. z.3.
- TRZECKI S., 1974: Determination of water capacity of soils on the basis of their mechanical composition. *Rocznik Glebozn. t.25 (dodatek)*, PWN, Warszawa.
- TRZECKI S., 1976: Możliwości wyznaczania wilgotności trwałego wędnięcia roślin na podstawie maksymalnej higroskopijności i zawartości części spławialnych w glebach mineralnych. *Rocznik Glegozn. t.27, Nr 4*, PWN, Warszawa: 11-17.
- VARALLYAY G., MIRONIENKO E.V.,1979: "Soil water relationships in saline and alkali conditions. W Kovda V.A., Szabolces I.(ed.) *Modeling of Salinization and Alkalization. Agrokemia es Talatjan. Vol.28 (Suppl.): 33-82.*
- ŻAKOWICZ S., 1986: Wpływ wilgotności gleby i warunków ewapotranspiracji na przebieg procesu transpiracji roślin *Fragmenta Agronomica* nr 2, 21-28.
- ŻAKOWICZ S., 1990: Application of irrigations on the basis of soil moisture content at the point of transpiration impedance. *Zesz. PPNR z.388, 211-216.*

Streszczenie: *Metody obliczania dawek polewowych nawodnień deszczownianych.* Przedstawione w pracy metody obliczania dawek polewowych netto (d_n) dla nawodnień deszczownianych opierają się o zróżnicowane dane wyjściowe takie jak: krzywa pF, krzywa uziarnienia, gęstość objętościowa i zawartość substancji organicznych. Zróżnicowanie to pozwala w praktyce inżynierskiej poprawnie określić wielkości dawki (d_n) nie tylko droga

metod bezpośrednich ale i przy wykorzystaniu metod pośrednich. Do oznaczeń wielkości (d_n) dobre rezultaty uzyskano wykorzystując analityczną metodę Varellyay'a, która w pierwszym etapie określa krzywą retencyjności wodnej gleby (krzywa pF), a następnie umożliwia określenie przedziału wody łatwo dostępnej dla roślin (WŁD). Z przedstawionych w tabeli 5 badań zmienności współczynnika dostępności wody dla roślin (p) wynika, że jest on zależny nie tylko od rodzaju roślin, fazy wzrostu, wysokości ewapotranspiracji możliwej ale także od warunków uprawowych tzn. od wielkości uwilgotnienia przy PPW w środku strefy korzeniowej.

Adres autora:

Stanisław Zakowicz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Metodyka ustalenia wielkości dawki odsalającej i przemywającej

STANISŁAW ŻAKOWICZ

Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Department of Environmental Development
Warsaw Agricultural University

Abstrakt: *The methods of desalination and leaching doses determination.* Taking into account the increasing salination of water for plant irrigation of desalination and leaching doses determination occurs in engineering practice. The methods of those doses determination, allowable limits of salt concentration in the soil and also irrigation-water requirements with the link to the percentage decreasing of some plants crops are shown in the paper.

Key words: salinity, desalination doses, leaching doses, irrigation, yield.

WSTĘP

Przewodność właściwa roztworów glebowych zależy od rodzaju rozpuszczonych substancji ich stężenia i temperatury. Teoretyczna przewodność właściwa czystej chemicznie wody wynosi $5 \times 10^{-2} \mu\text{S}/\text{cm}$ w temperaturze $25 \text{ }^\circ\text{C}$, a woda destylowana wykazuje przewodność $0,5 - 2 \mu\text{S}/\text{cm}$. Przewodność właściwa wód naturalnych waha się w granicach od 50 do $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Przewodność właściwa wód zanieczyszczonych może przekraczać $10 \text{ mS}/\text{cm}$. Znając wartość przewodności właściwej roztworu, możemy w sposób przybliżony obliczyć wielkość suchej pozostałości w mg/l mnożąc wartość przewodności właściwej wyrażonej w S/cm przez współczynnik ustalony eksperymentalnie; którego wielkość znajduje się w przedziale od 0,55 do 0,90. W warunkach gleb zasolonych użytkowanych rolniczo współczynnik wynosi około 0,64. Przewodność roztworu wzrasta pod wpływem wzrostu temperatury. W celu obliczenia wielkości dawek odsalających i przemywających, a następnie opracowania harmonogramu ich realizacji należy skorzystać z wyników badań (Ayers i Westcot 1976, Yaron i inni 1969) nad wpływem zasolenia na rozwój i plonowanie roślin

uprawnych. Badania tego typu dla szeregu roślin w warunkach Polski prowadził między innymi Żakowicz (1993).

Stosowany w USA podział na klasy charakteryzujący jakość wód używanych do nawodnień podano w tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Charakterystyka jakości wód do nawodnień według podziału Thorn'a i Petersona, stosowana w USA

Klasy		Przewod. EC-w [mS/cm]	Zawartość soli [mg/l]	Jakość wody
Klasy konduktywności i zawartości soli	C1	<0,25	<160	Woda o niskim zasoleniu ; może być używana do nawodnień większości roślin na większości gleb bez obawy ich zasolenia. Melioracje przemywające mogą być konieczne tylko przy małej przepuszczalności gleb
	C2	0,25 – 0,75	160 – 500	Woda o umiarkowanym zasoleniu ; może być używana do nawodnień wszelkich roślin na glebach przepuszczalnych. W warunkach małej przepuszczalności należy dobierać rośliny odporniejsze na zasolenie oraz zapewnić dobre przemywanie.
	C3	0,75 – 2,25	500 – 1500	Woda o średnio wysokim zasoleniu ; może być używana tylko w glebach o średniej lub dużej przepuszczalności. Konieczne jest regularne przemywanie i dobór roślin odpornych na zasolenie.
	C4	2,25 – 4,00	1500 – 2500	Woda o wysokim zasoleniu ; może być używana do nawadniania roślin odpornych i tylko na glebach o bardzo dużej przepuszczalności przy zapewnionym intensywnym przemywaniu.
	C5	4,00 – 6,00	2500 – 3900	Woda o bardzo wysokim zasoleniu w zasadzie niewskazana do nawodnień. Wyjątkowo może być używana do nawadniania bardzo odpornych roślin i tylko na glebach przepuszczalnych przy ich częstym przemywaniu.
	C6	>6,00	>3900	Woda o nadmiernym zasoleniu, nie powinna być używana do nawodnień.

Stosowana klasyfikacja intensywności i szkodliwości zasolenia oparta jest na oznaczeniu przewodności elektrycznej roztworu glebowego przy standardowym pełnym nasyceniu gleby wodą. Jednakże uwilgotnienie gleby w warunkach produkcyjnych jest zmienne i najczęściej poniżej pełnego nasycenia gleby wodą. Przykładowo jeżeli przy nasyceniu 100 % gleby wodą zawartość soli w glebie wynosi 0,2 % w stosunku do suchej masy gleby to przewodność roztworu EC = 3,0, co jest dla większości roślin zupełnie bezpiecznym siedliskiem. Jeżeli uwilgotnienie gleby w wyniku ewapotranspiracji roślin obniży się do 75 % pełnego nasycenia to przewodność gleby

wzrasta do $EC = 4,0$. Przy dalszym wysychaniu gleby do wilgotności 50 % porowatości zasolenie roztworu wynosi 6,0 mS/cm, a przy 25 % nasyceniu gleby wodą przewodność roztworu glebowego wzrasta do $EC = 12,0$ co wytrzymują bez spadku plonowania tylko nieliczne uprawiane rośliny. Związek między zawartością soli w glebie, stopniem nasycenia gleby wodą, a konduktywnością roztworu glebowego według badań Thorna i Petersona (Ostromęcki 1973) przedstawiono na rysunku 1.

Przy ocenie jakości wód użytych do nawodnień poza solami, które wpływają ujemnie na wzrost i plonowanie roślin oraz właściwości fizyczne gleby przy stosunkowo wysokich koncentracjach, należy także uwzględnić występowanie pierwiastków toksycznych takich jak np. bor. Klasyfikacje wody do nawodnień w zależności od stopnia tolerancji roślin względem boru podano w tabeli 3.

Tabela 2. Charakterystyka jakości wód do nawodnień z zależności od nasycenia kompleksu sorpcyjnego kationem sodu (Na^+) według podziału Thorna i Petersona, stosowana w USA

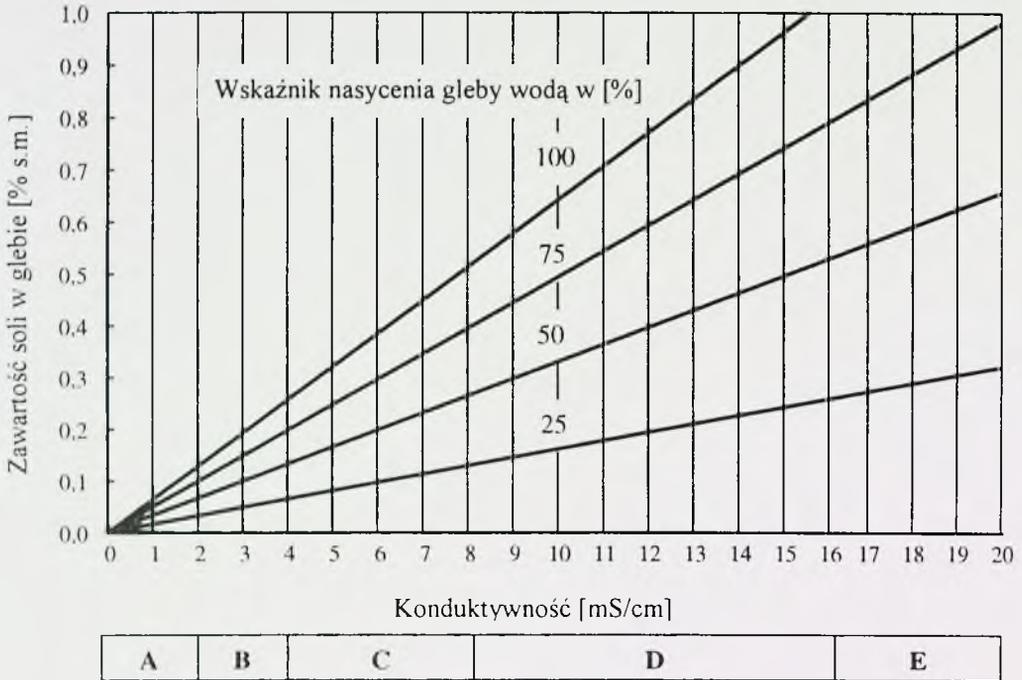
Klasy		Wskaźnik sorpcji sodu SAR ¹	Jakość wody
Klasy wskaźnika sorpcji sodu SAR	S1	0-10	Woda o bardzo niskim wskaźniku SAR, może być stosowana na wszelkich glebach bez obawy akumulacji sodu wymiennego.
	S2	10-18	Woda o niskim wskaźniku SAR może powodować akumulację sodu w glebach o dużej zawartości części spławialnych i małej ilości substancji organicznej. Nadaje się do gleb gruboziarnistych, przepuszczalnych.
	S3	18-26	Woda o wysokim wskaźniku SAR. W większości gleb nie zawierających gipsu powoduje szkodliwą akumulację sodu. Niezbędne są specjalne zabiegi – drenaż, przemywanie, gipsowanie, które jednak w przypadku wód klasy C5 nie są skuteczne.
	S4	> 26	Woda o bardzo wysokim wskaźniku SAR w zasadzie nie nadająca się do nawodnień, z wyjątkiem wód należących do klasy C1 i C2. Niezbędne są zabiegi specjalne – obfite przemywanie, gipsowanie.

¹ – wskaźnik sorpcji sodu (SAR) wyraża aktywność jonu Na^+ w reakcjach wymiany przy działaniu wody

na glebę i obliczany jest wzorem:
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

gdzie:

Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} - koncentracja kationów wyrażona w milirównoważnikach na litr.



Rys 1. Związek między zawartością soli w glebie, a konduktywnością roztworu glebowego wg Thoma i Petersona (Ostromięcki 1973). Klasy zasolenia: A – zasolenie nieznaczne bez wpływu na plonowanie roślin, B – rośliny mało odporne reagują zmniejszeniem plonu, C – większość roślin uprawnych reaguje zmniejszeniem plonu, D – tylko odporne rośliny plonują zadowalająco, E – tylko niektóre bardzo odporne rośliny wydają dostateczny plon.

Tabela 3. Dopuszczalna zawartość boru [ppm] w wodzie do nawodnień roślin o trzech klasach odporności na ten pierwiastek (Yaron i inni 1969).

Lp.	Rodzaj wody	Zawartość boru w wodzie do nawodnień roślin w ppm		
		Rośliny o małej tolerancji	Rośliny o średniej tolerancji	Rośliny o dużej tolerancji
1	Bardzo dobra	< 0,33	< 0,67	< 1,00
2	Dobra	0,33 – 0,67	0,67 – 1,33	1,00 – 2,00
3	Dopuszczalna	0,67 – 1,00	1,33 – 2,00	2,00 – 3,00
4	Wątpliwej jakości	1,00 – 1,25	2,00 – 2,50	3,00 – 3,75
5	Niedopuszczalna	> 1,25	> 2,50	> 3,75

METODYKA

W warunkach produkcyjnych niezbędna jest znajomość wpływu stopnia zasolenia gleby i wody na procentową obniżkę plonów w stosunku do plonu potencjalnego w poszczególnych fazach rozwojowych danej rośliny. Syntetyczne zestawienie dopuszczalnych koncentracji soli w glebie i w wodzie użytej do nawodnień na obniżenie plonu o 0 %, 50 % i 100 % dla szeregu roślin przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wpływ zasolenia gleby (ECe) i wody używanej do nawodnień (ECw) na poziom plonowania roślin.

Lp.	Roślina	Obniżenie plonu o 0 %		Obniżenie plonu o 50 %		Max	
		ECe ¹	ECw ²	ECe	ECw		Ece ¹
1	Rośliny pastewne	Jęczmień paszowy	6,0	4,0	13,0	8,7	20,0
2		Komonica	5,0	3,3	10,0	6,7	15,0
3		Koniczyna	1,5	1,0	10,3	6,8	19,0
4		Kostrzewa	3,9	2,6	13,3	8,9	23,0
5		Kukurydza	1,8	1,2	8,6	5,7	15,5
6		Kupkówka pospolita	1,5	1,0	9,6	6,4	17,5
7		Lucerna siewna	2,0	1,3	8,8	5,9	15,5
8		Mozga	4,6	3,1	11,1	7,4	18,0
9		Perz	7,5	5,0	15,0	9,8	22,0
10		Wyczyniec łąkowy	1,5	1,0	6,7	4,5	12,0
11		Wyka	3,0	2,0	7,6	5,0	12,0
12		Żytcia trwała	5,6	3,7	12,2	8,1	19,0
13	Rośliny polowe	Bawełna	7,7	5,1	17,0	12,0	27,0
14		Bób, bobik	1,6	1,1	6,8	4,5	12,0
15		Burak cukrowy	7,0	4,7	15,0	10,0	24,0
16		Fasola	1,3	0,9	4,9	3,2	8,5
17		Jęczmień	8,0	5,3	18,0	12,0	28,0
18		Kukurydza	1,7	1,1	5,9	3,9	10,0
19		Len	1,7	1,1	5,9	3,9	10,0
20		Pszenica	6,0	4,0	13,0	8,7	20,0
21		Ryż	3,0	2,0	7,2	4,8	11,5
22		Soja	5,0	3,3	7,5	5,0	10,0
23	Rośliny warzywne	Brokuły	2,8	1,9	8,2	5,5	13,5
24		Burak zwyczajny	4,0	2,7	9,6	6,4	15,0
25		Cebula	1,2	0,8	4,3	2,9	7,5
26		Fasola	1,0	0,7	3,6	2,4	6,5
27		Kapusta	1,8	1,2	7,0	4,6	12,0
28		Kukurydza słodka	1,7	1,1	5,9	3,9	10,0
29		Marchew	1,0	0,7	4,6	3,1	8,0
30		Melon	2,2	1,5	9,1	6,1	16,0
31		Ogórek	2,5	1,7	6,3	4,2	10,0
32		Papryka	1,5	1,0	5,1	3,4	8,5

cd. Tabela 4. Wpływ zasolenia gleby (EC_e) i wody używanej do nawodnień (EC_w) na poziom plonowania roślin.

Lp.	Roślina		Obniżenie plonu o 0 %		Obniżenie plonu o 50 %		Max E_{ce}^3
			EC_e^1	EC_w^2	EC_e	EC_w	
33	Rośliny warzywne	Pomidor	2,5	1,7	7,6	5,0	12,5
34		Rzodkiewka	1,2	0,8	5,0	3,4	9,0
35		Salata	1,3	0,9	5,2	3,4	9,0
36		Szpinak	2,0	1,3	8,6	5,7	15,0
37		Ziemniak	1,7	1,1	5,9	3,9	10,0
38	Rośliny sadownicze	Awokado	1,3	0,9	3,7	2,4	6,0
39		Brzoskwinia	1,7	1,1	4,1	2,7	6,5
40		Cytryna	1,7	1,1	4,8	3,2	8,0
41		Grejfrut	1,8	1,2	4,9	3,3	8,0
42		Grusza	1,7	1,0	4,8	3,2	8,0
43		Jabłoni	1,7	1,0	4,8	3,2	8,0
44		Malina	1,0	0,7	3,2	2,1	5,5
45		Morela	1,6	1,1	3,7	2,5	6,0
46		Oliwka europejska	2,7	1,8	8,4	5,6	14,0
47		Orzech włoski	1,7	1,0	4,8	3,2	8,0
48		Palma daktylowa	4,0	2,7	17,9	12,0	32,0
49		Pomarańcza	1,7	1,1	4,8	3,2	8,0
50		Śliwa	1,5	1,0	4,3	2,8	7,0
51		Truskawka	1,0	0,7	2,5	1,7	4,0
52		Winorośl	1,5	1,0	6,7	4,5	12,0

¹ – przewodność ekstraktu glebowego przy standardowym pełnym nasyceniu gleby wodą w [mS/cm].

² – przewodność wody wykorzystywanej do nawodnień w [mS/cm].

³ – przewodność ekstraktu glebowego przy standardowym pełnym nasyceniu gleby wodą przy spadku plonu do zera w [mS/cm].

Dla przykładu rozpatrzmy warunki uprawowe gdzie w pierwszym roku uprawiany jest jęczmień na ziarno. Zapasy wody przy połowej pojemności w strefie korzeniowej gleby (h_k) o miąższości 50 cm wynoszą $W_{ppw} = 150$ mm. Zasolenie początkowe (C_1) gleby wynosi 23 EC (EC – przewodność w milisimensach na cm [mS/cm], w amerykańskiej literaturze gleboznawczej (Yaron i inni 1969) używana jest jednostka 1000 razy mniejsza $\mu S/cm$). Współczynnik wymywania (K) ustalony doświadczalnie w tych warunkach wynosi 1,70. Koncentracja soli (EC) w wodzie: opadowej wynosi 0, a w wodzie wykorzystywanej do nawodnień w sezonie wegetacyjnym wynosi $C_n = 2,4$ EC. Wielkość dawki okresowej netto pokrywającej niedobory opadu wynosi $D_n = 160$ mm. Wielkość jednorazowej dawki polewowej netto do nawodnień zwilżających wynosi $d_n = 40$ mm.

Dawka odsalająca

W celu odsolenia gleby użytkowanej rolniczo stosowane są nawodnienia odsalające. Ilość wody niezbędna do wymycia nadmiaru soli z warstwy czynnej gleby określana jest jako dawka odsalająca. Obliczenie ilości wody niezbędnej do wymycia nadmiaru soli można przeprowadzić stosując wzór Panina:

$$D_o = W_p \cdot K \cdot \ln \frac{C_p}{C_d}$$

gdzie:

D_o – dawka odsalająca netto [mm lub m^3/ha],

C_p – wskaźnik zasolenia początkowego gleby [EC lub mg/l],

C_d – wskaźnik zasolenia końcowego gleby, który ma być osiągnięty w wyniku przemywania [EC lub mg/l],

W_p – zapas wody przy połowej pojemności wodnej danej warstwy gleby [mm lub m^3/ha]

K – współczynnika wymywania (zależny od rodzaju soli), który w zasadzie powinien być ustalony doświadczalnie dla danych warunków uprawowych. W glebach zasolonych siarczanami i chlorkami współczynnik ten wynosi około 1,7.

Dawka przemywająca

Gdy gleba nie jest nadmiernie zasolona, ale istnieje obawa akumulacji soli mineralnych wprowadzanych stale podczas nawodnień, należy zapewnić równowagę bilansową między przychodem soli, a jej rozchodem. Rozchód soli następuje poprzez odciek wody z czynnej warstwy gleby w głąb profilu. Nawodnienia mają wtedy charakter zapobiegawczy (nawodnienia przemywające) i mogą być włączone okresowo do systemu normalnych nawodnień zwilżających. Obliczenie dodatkowej dawki zapobiegającej nadmiernemu gromadzeniu się soli w glebie, nawadnianej wodą o niskiej jakości lecz nadającej się do nawodnień, można wykonać mając dane:

C_n – koncentracja soli w wodzie stosowanej do nawodnień, wyrażonych w jednostkach przewodności lub mg/l,

D_n – dawka okresowa netto w mm lub m^3/ha , jest to suma dawek polewowych netto podanych w rozpatrywanym okresie czasu. W wyniku dostarczenia sumarycznej dawki netto wprowadzamy do czynnej warstwy gleby określoną sumę soli.

Sumaryczna ilości wprowadzonej soli do strefy korzeniowej gleby wynosi więc $D_n C_n$.

Aby po okresie nawodnień utrzymać w glebie dopuszczalny poziom zasolenia C_d , należy dostarczyć więcej wody ponad dawkę okresową netto D_n , aby wraz z wodą odciekającą ze strefy korzeniowej gleby w ilości D_d , usunąć całkowitą ilość soli wprowadzoną z wodą podczas nawodnień. Zakładając, że koncentracja soli w odcieku może być przyjęta, jako równa dopuszczalnej koncentracji C_d , otrzymamy równanie bilansowe:

$$D_n C_n + D_d C_n = D_d C_d$$

z którego możemy obliczyć dodatkową dawkę okresową zapobiegającą zasoleniu:

$$D_d = D_n \cdot \frac{C_n}{C_d - C_n}$$

Łączna dawka wody netto dostarczana w formie nawodnień w okresie wegetacji wynosi:

$$D_r = D_n + D_d.$$

W warunkach gdy do nawodnień używa się wody o dużym zasoleniu to dodatkowe dawki przemywające należałoby realizować w trakcie każdego nawadniania poprzez zwiększenie dawki polewowej netto d_n o dawkę potrzebną na wymycie soli ze strefy korzeniowej roślin d_d . Łączna dawka polewowa netto wtedy wynosi $d_r = d_n + d_d$. Sposób obliczania jest podobny jak dla dawki okresowej. Każdy polew nawodnieniowy musimy wykonać dawką d_r gwarantującą przeciążenie wodą czynnej warstwy gleby i zrzut wody w głąb profilu do sieci odwadniającej.

W warunkach gleb zasolonych obliczenie prowadzimy najczęściej przy wykorzystaniu wskaźnika liczbowego (LR) opisującego *zapotrzebowanie wody dla wymycia soli, ze strefy korzeniowej profilu glebowego*. Stosunek liczbowy (LR) zapotrzebowania wody do wymycie soli obliczamy z formuły:

$$LR = \frac{D_d}{D_r} = \frac{C_n}{C_d} = \frac{C_r}{C_d}$$

gdzie:

LR – wskaźnik liczbowy zapotrzebowania wody do wymywania soli [-],

D_r – ilość wody dostarczona w trakcie nawodnienia $D_r = D_n + D_d$.

$C_r = C_n$ – koncentracja soli w wodzie stosowanej do nawodnień [EC w mS/cm] lub [mg/l],

Ilość wody (D_r) niezbędna do pokrycia niedoborów opadu i wymycia soli (wprowadzanej do gleby podczas nawadniania) do stężenia bezpiecznego możemy obliczyć ze wzoru:

$$D_r = D_n \cdot \left(\frac{1}{1 - LR} \right) = D_n \cdot \frac{C_d}{C_d - C_r}$$

WYNIKI OBLICZEŃ

Obliczenie dla rozpatrywanego przykładu wielkości dawki odsalającej D_o :

Przed rozpoczęciem siewu jęczmienia należy obniżyć zasolenie czynnej warstwy gleby z 23 EC do 8 EC.

Niezbędna wielkość dawki odsalającej, przy założeniu, że nie nastąpi obniżenie wysokości plonu wynosi:

$$D_o = 150 \cdot 1,70 \cdot \ln \frac{23}{8} = 255 \cdot \ln 2,875 = 255 \cdot 1,056 = 269,3 \approx 270 \text{ mm}$$

Jeżeli założymy, że obniżenie plonu ziarna może wynosić 50 % to dawka odsalająca D_o^{50} wynosi:

$$D_o^{50} = 150 \cdot 1,70 \cdot \ln \frac{23}{18} = 62,5 \text{ mm}$$

Obliczenia dla rozpatrywanego przykładu dodatkowej dawki przemywającej (okresowej - D_d) lub (polewowej - d_d).

Wielkość dawki przemywającej D_d wynosi:

$$D_d = D_n \cdot \frac{C_n}{C_d - C_n} = 160 \cdot \frac{2,4}{8 - 2,4} = 160 \cdot \frac{2,4}{5,6} = 68,6 \text{ mm}$$

Łączna dawka wody netto dostarczona w okresie nawodnień $D_r = D_n + D_d = 160 + 68,6 \approx 229$ mm. Dodatkową dawkę przemywającą realizujemy najczęściej w czasie każdego nawadniania. W takiej sytuacji polewową dawkę netto (d_n) zwiększamy o odpowiednią ilość wody równą dodatkowej polewowej dawce nawadniającej (d_d). Dawka polewowa przemywająca wynosi:

$$d_d = d_n \cdot \frac{c_n}{C_d - c_n} = 40 \cdot \frac{2,4}{8 - 2,4} = 40 \cdot 0,4286 = 17,14 \approx 17 \text{ mm}$$

Łączna dawka polewowa netto wynosi $40 + 17 = 57$ mm.

W warunkach gleb zasolonych często obliczenia dawek przemywających przeprowadza się wykorzystując wskaźnik liczbowy LR odwzorowujący zapotrzebowanie wody do wymycia soli ze strefy korzeniowej gleby. W rozpatrywanym przykładzie LR jest równe:

$$LR = \frac{D_d}{D_r} = \frac{C_n}{C_d} = \frac{C_r}{C_d} = \frac{68,6}{228} = \frac{2,4}{8} = 0,30$$

Ilość wody (D_r) niezbędna do pokrycia niedoboru opadu i wymycia soli do stężenia bezpiecznego (C_d) wynosi:

$$D_r = D_n \cdot \frac{1}{1 - LR} = 160 \cdot \frac{1}{1 - 0,3} = 160 \cdot \frac{1}{0,7} = 228 \text{ mm}$$

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przy określaniu wielkości nawadniających dawek zwilżających powinniśmy w Polsce w niektórych warunkach uwzględniać dodatkowe ilości wody niezbędne do przemywania profilu glebowego i odsalania strefy korzeniowej roślin. Wynika to z faktu, że wody powierzchniowe używane do nawodnień są często zasolone zwłaszcza w przypadku poboru wody z rzek i strumieni, do których doprowadzane są silnie zasolone wody pokopalniane lub ścieki.

1. W warunkach produkcji roślinnej podane w tabeli 4 dopuszczalne granice zasolenia gleby i wody używanej do nawodnień pozwalają obliczyć wielkości dawek przemywających i odsalających przy założonym stopniu obniżenia plonowania roślin.
2. Z uwagi, że uwilgotnienie strefy korzeniowej jest zmienne i utrzymuje się poniżej pełnego nasycenia należy w warunkach produkcyjnych uwzględniać ścisły związek między zawartością soli w glebie, nasyceniem gleby wodą, a przewodnością roztworu glebowego (rys.1).

LITERATURA

- AYERS R.S., WESTCOT D.W. 1976: La qualite de leau en agriculture. Bulletin FAO D'Irrigation et de drainage n 29.
- DOORENBOS J., KASSAN A.H., 1979: Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 31, FAO, Rome.
- OSTROMĘCKI J., 1973: Podstawy melioracji nawadniających, PWN Warszawa.
- YARON B., DANFOS E., VAADIA Y., 1969: Irrigation in arid zones. Report 32. Bet Dagan.
- ŻAKOWICZ S. 1993: The effect of the level of salinity of water used for irrigation on the amount of water available for plants. Int. Agrophysics, vol.7, p.21-25.

Streszczenie: *Metodyka ustalenia wielkości dawki odsalającej i przemywającej.* Z uwagi na wzrost zasolenia wód stosowanych do nawodnień roślin zachodzi niekiedy w praktyce inżynierskiej konieczność ustalenia wielkości dawki odsalającej i przemywającej. W artykule przedstawiono metodykę obliczania wielkości dawek i podano dopuszczalne granice koncentracji soli w glebie i wodzie użytej do nawodnień w powiązaniu z procentową obniżką plonów szeregu roślin.

Słowa kluczowe: zasolenie, dawka odsalająca, dawka przemywająca, nawodnienie, plony.

Adres autora:

Stanisław Żakowicz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Zmienność opadów w sezonach wegetacyjnych ostatniego dwudziestolecia i reakcja roślin w środkowej Polsce

LUDWIKA MARTYNIAK¹, RYSZARD SZYMCZYK²

¹Instytut Melioracji i Użytków Zielonych k/Warszawy

²Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej k/Poznań

Abstract: *Variability of precipitations during vegetation seasons in the recent twenty years and reaction of plants in the central region of Poland* In the work, twenty-year series of climatological observations were presented and the results of the studies on field experiments with spring barley, conducted in the years 1978-1997, were discussed. The aim of the study to show the size and variability of precipitations and other meteorological elements in many-year period, and to determine the mutual relationships and the correlations between the plants and environment, basing on the example of spring barley. Analysis of precipitation agent showed its diversity in respect of small areas and during the years of the studies. A high variability of potential plant evapotranspiration value as a reference point of climatic index in the studied years, was demonstrated. Variability of the yield of spring barley grain was mainly caused by weather conditions, causing the stress conditions in defined stages of plant development what resulted in limitation of their yield - producing potential.

Key words: variability, precipitations, vegetation seasons, reaction of plants, spring barley.

WSTĘP

Zmiany klimatu wywierają bezpośredni wpływ na poziom oraz strukturę produkcji rolnej. Ocena prognostyczna produktywności upraw rolniczych w naturalnych warunkach geomorfologicznych dokonywana bywa przez analizę kształtowania się poszczególnych elementów klimatu, w powiązaniu z gospodarką wodną roślin. Miernikiem oceny stosunków wodnych, w jakich przebiega rozwój roślin jest wielkość ewapotranspiracji oraz stopień pokrycia ich potrzeb wodnych z opadów atmosferycznych. Różnice pomiędzy sumami opadów i ewapotranspiracji roślin określają wielkość niedoborów lub nadmiarów wodnych w określonym czasie i przestrzeni.

Niedobory opadów, a częściej niekorzystny ich rozkład w okresie wegetacji roślin jest w Polsce jedną z głównych przyczyn ograniczających wzrost plonów, powodujących ich wahania w latach i zmniejszających efektywność nawożenia.

Wielkość i zmienność opadów w przedziale wieloletnim oraz reakcja roślin na przykładzie jęczmienia jarego były przedmiotem niniejszego opracowania.

W tym celu wykorzystano dwudziestoletnie serie obserwacyjne oraz wyniki badań doświadczeń polowych z jęczmieniem jarym przeprowadzonych w stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian w rejonie środkowej części Polski.

METODYKA BADAŃ

W pracy wykorzystano wyniki doświadczeń odmianowych z jęczmieniem jarym przeprowadzonych w latach 1978-1997 w pięciu Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO), rozmieszczonych w rejonie środkowej części Polski w obszarze 51°48' - 52°14' szerokości geograficznej i 15°31' - 21°56' długości geograficznej. We wszystkich miejscowościach w danym roku wysiewano ten sam zestaw odmian. Doświadczenia prowadzono wg jednolitej metodyki. Zakładano je w czterech powtórzeniach, w układzie bloków losowanych. Powierzchnia pojedynczego poletka do zbioru wynosiła 15 m². Podstawową jednostką analityczną był średni plon z wszystkich badanych odmian w pojedynczym doświadczeniu. Plon ziarna przeliczono przy 15% zawartości wody.

Materiały źródłowe podstawowych elementów meteorologicznych w latach badań pochodziły z terminowych obserwacji klimatologicznych wykonywanych w tych samych miejscowościach, gdzie prowadzono badania eksperymentalne lub z najbliższej SDOO położonych posterunków IMGW.

Wartości ewapotranspiracji potencjalnej (ET_o) jako punktu odniesienia wskaźnika klimatycznego obliczono wg wzoru Penmana - Monteitha.

Określenie wzajemnych powiązań oraz korelacji roślin i siedliska przeprowadzono za pomocą Pearson correlation matrix.

Przy obliczaniu wartości ewapotranspiracji rzeczywistej (ET) jęczmienia jarego w okresie wegetacji roślin posłużono się modelem matematycznym CROPWAT. Analizę wzajemnych powiązań pomiędzy plonem ziarna jęczmienia jarego, a potrzebami

wodnymi roślin (ET) i ich zaspokojeniem w okresie wegetacji przeprowadzono za pomocą regresji prostej.

WARUNKI AGROKLIMATYCZNE W LATACH BADAŃ

Przebieg warunków agroklimatycznych w latach 1978-1997 w rejonie środkowej części Polski dla okresów 1 kwiecień do 30 wrzesień przedstawiono na rys. 1.

Analiza opadów na przykładzie pięciu punktów pomiarowych ukazała dużą ich zmienność w czasie i przestrzeni.

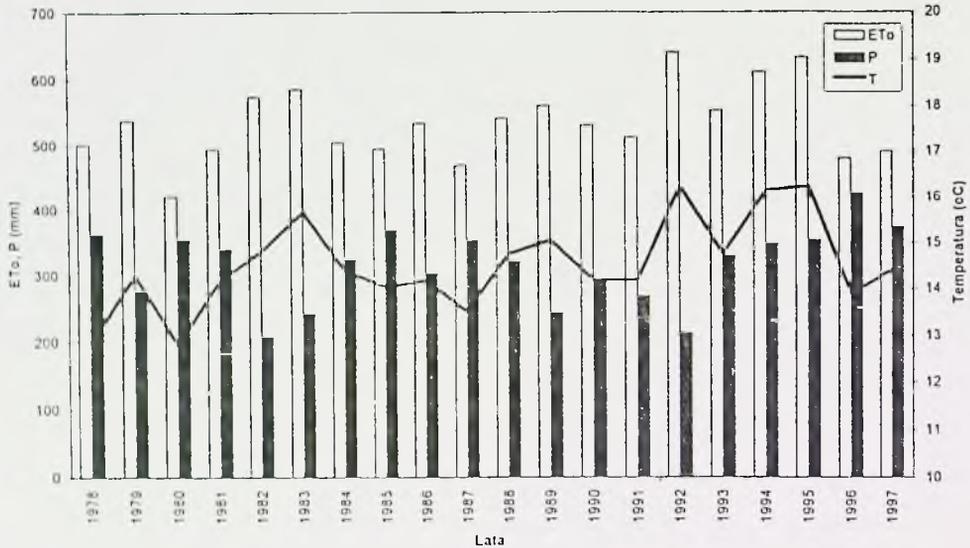
Pod względem sumy opadów wyróżniono lata suche (co najmniej 25% poniżej średniej z wielolecia 1978-1997, przeciętne (75-125%) i lata mokre, gdzie suma opadów w sezonie 1.04-30.09 wynosiła co najmniej 25% powyżej średniej wieloletniej. Zgodnie z powyższym założeniem do lat zdecydowanie mokrych w omawianym obszarze badań zaliczono 1996 rok oraz lata: 1978, 1980, 1985, 1987 i 1997.

Latami posusznymi były: 1982 i 1992 oraz lata: 1979, 1983, 1989, 1991. W pozostałych ośmiu latach ostatniego dwudziestolecia, średnie wartości liczbowe sum opadów za okres wegetacji były zbliżone lub mieściły się w granicach średniej z lat 1891-1930. Podział taki nie odzwierciedlał jednak obiektywnie stanu zasilania gleby opadami atmosferycznymi w poszczególnych latach i fazach wzrostu zbóż, ponieważ rozkład opadów w okresie wegetacji nie był równomierny. W każdym sezonie wegetacyjnym w różnych terminach kalendarzowych notowano dłuższe lub krótsze okresy bezopadowe (tabela 1). W sezonach wegetacyjnych jęczmienia jarego w latach 1978-1997, w badanym rejonie wystąpiło średnio 6 ciągów bezdeszczowych powyżej 14 dni.

Najdotkliwsze susze występowały w SDOO Lubinicko, miejscowości najbardziej wysuniętej na zachód w obszarze długości geograficznej 15°, gdzie długotrwałe ciągi bezdeszczowe występowały średnio co drugi rok. W pasie środkowym oraz środkowo-wschodnim Polski susze występowały średnio raz na trzy lub cztery lata.

W badanym 20-leciu najdotkliwsza susza wystąpiła w 1992 roku. Bezpośrednią przyczyną suszy był duży niedobór opadów atmosferycznych w całym okresie wegetacji roślin. Susza glebowa w 1992 roku w środkowej Polsce wystąpiła już w III-ciej dekadzie kwietnia. Występujące w maju i czerwcu niedobory opadów przypadły na okres największego zapotrzebowania na wodę zbóż jarych. W efekcie suszy zboża

kłosiły się i dojrzewały o 10-14 dni wcześniej niż przeciętnie, co oznaczało drastyczne skrócenie okresu wegetacji i obniżenie plonu ziarna.



Rys. 1. Przebieg warunków agroklimatycznych w latach 1978-1997 w rejonie środkowej części Polski (średnie z pięciu SDOO dla sezonu IV-IX)

Na wzrost, rozwój i plonowanie roślin, niekorzystny wpływ mają również nadmiary opadów. Szczególnie silny wpływ na plonowanie zbóż wywierają opady dobowe bardzo silne (ponad 20 mm) oraz gwałtowne opady burzowe występujące w końcowym okresie wegetacji. Powodują one wyleganie roślin, co utrudnia nalewanie ziarna i w konsekwencji obniża plon. W minionym 20-leciu, w badanym rejonie szczególnie dotkliwe skutki dużych opadów atmosferycznych u zbóż jarych notowano w latach 1980, 1984, 1985, 1988 i 1997.

W wyniku silnego wylegania roślin, w tych latach nastąpiło obniżenie plonu ziarna do 20%.

Tabela 1. WARUNKI METEOROLOGICZNE W LATACH 1978 - 1997

Lp.	Miejscowość	Współrzędne geograficzne		Okres wegetacji		Opady mm]		Średnia dobowa temperatura powietrza °C]	
		szerokość	długość	data kalendarzowa	liczba dni	Σ za okres IV-IX	Σ ciągów bezdeszczowych powyżej 14 dni ¹⁾	za okres IV-IX	Σ dekad z temperaturą ¹⁾ ≥ 20°C
WARTOŚCI ŚREDNIE Z LAT 1978-1997									
1.	Kawęczyn	52°10'	20°21'	8.04.-26.07.	108	316	5	14,4	20
2.	Kościelna Wieś	51°48'	18°01'	12.04.-27.07.	105	309	4	14,8	39
3.	Lubinicko	52°14'	15°35'	5.04.-27.07.	112	306	10	14,6	32
4.	Seroczyn	52°00'	21°56'	10.04.-29.07.	109	342	4	14,2	24
5.	Słupia Wielka	52°13'	17°13'	11.04.-26.07.	105	307	5	14,7	39
1-5.	REJON	51°48'-52°14'	15°35'-20°21'	9.04.-27.07.	108	316	6	14	31
WARTOŚCI EKSTREMALNE MAKSYMALNE ²⁾									
6.	Kawęczyn	52°10'	20°21'	8.04.-4.08.	118 (84)	432 (85)	1 (82,83,92,94,97)	16,3 (95)	5 (95)
7.	Kościelna Wieś	51°48'	18°01'	1.04.-31.07.	121 (78)	442 (96)	2 (92)	16,8 (84,94)	5 (82,84,94,95)
8.	Lubinicko	52°14'	15°35'	16.04.-16.08.	122 (87)	383 (87)	2 (92,97)	16,4 (95)	5 (92,95)
9.	Seroczyn	52°00'	21°56'	6.04.-14.08.	130 (78)	464 (96)	1 (82,83,92,97)	16,3 (94)	5 (92,94)
10.	Słupia Wielka	52°13'	17°13'	15.04.-16.08.	123 (93)	422 (96)	1 (82,83,86,92,94)	17,4 (92)	9 (92)
WARTOŚCI EKSTREMALNE MINIMALNE									
11.	Kawęczyn	52°10'	20°21'	11.04.-16.07.	96 (83)	184 (92)	0	12,6 (78)	0 (78,83,85,87,90,93,96,97)
12.	Kościelna Wieś	51°48'	18°01'	23.04.-23.07.	91 (94)	179 (92)	0	12,8 (80)	0 (78,80,87,90,93)
13.	Lubinicko	52°14'	15°35'	7.04.-16.07.	100 (92)	147 (82)	0	12,9 (80)	0 (78,80,84,85,87,90,93,96)
14.	Seroczyn	52°00'	21°56'	19.04.-24.07.	96 (95)	251 (83)	0	12,2 (78)	0 (78,80,81,83,84,85,87,90,93,96,97)
15.	Słupia Wielka	52°13'	17°13'	12.04.-13.07.	92 (79)	139 (82)	0	12,8 (80)	0 (78,80,85,87,90,97)

¹⁾ za okres IV-IX w latach 1978-1997²⁾ liczba w nawiasie przy wartościach ekstremalnych (84) oznacza rok zdarzenia 1984

Tabela 4

Wyniki analizy oraz współczynniki zmienności dla plonu ziarna jęczmienia jarego i ewapotranspiracji potencjalnej w miejscowościach prowadzenia doświadczeń;
średnie z lat 1978-1997.

Miejscowość	Plon ziarna (dt/ha)						Ewapotranspiracja potencjalna w okresie IV-IX (mm)					
	średnia arytmetyczna	maksymalny	minimalny	odchyl. stand.	błąd stand.	współcz. zmienności	średnia arytmetyczna	maksymalna	minimalna	odchyl. stand.	błąd stand.	współcz. zmienności
Kawęczyn	48,7	65,8	31,2	10,55	2,36	21,7	485	586	384	46,2	10,3	9,5
Kościelna Wieś	53,1	67,9	38,1	8,78	1,96	16,5	546	677	439	61,5	13,7	11,3
Lubinicko	50,0	68,6	32,1	11,08	2,48	22,1	554	659	458	55,9	12,5	10,1
Seroczyn	53,4	65,3	40,4	7,58	1,70	14,2	524	622	421	53,1	11,9	10,1
Słupia Wielka	53,9	69,0	22,7	12,28	2,75	22,8	558	750	403	84,6	18,9	15,2
Średnia dla rejonu	51,8	61,5	36,7	6,78	1,52	13,1	533	640	421	56,2	12,6	10,5

Analiza wyników badań na przestrzeni lat wykazuje dużą zmienność wartości ewapotranspiracji potencjalnej (ET_o). Ewapotranspiracja ta jako funkcja czynników meteorologicznych (temperatura, usłonecznienia, ciśnienia pary wodnej i siły wiatru) dla standardowej rośliny, w warunkach pełnego pokrycia potrzeb wodnych nie uwzględnia wpływu masy roślinnej.

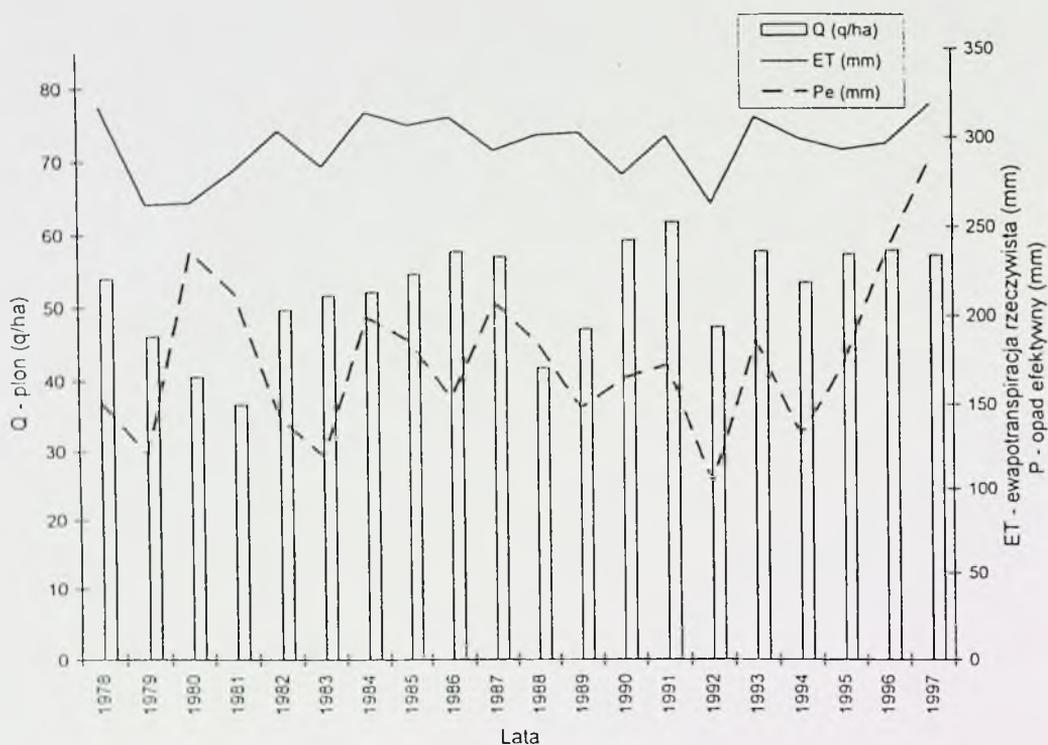
Przebieg sumarycznej wartości ET_o za okres IV-IX w środkowej części Polski w ostatnim dwudziestolecu charakteryzuje się sześcioma ekstremami; lata: 1982 i 1983, oraz ciąg lat 1992, 1993, 1994 i 1995. W wymienionych ekstremach najwyższym wartościom ET_o odpowiadały najwyższe temperatury powietrza oraz z reguły - najniższe sumy opadów.

W analizowanym wieloleciu średnia dobowa temperatura powietrza w okresie wegetacji IV-IX dla środkowej części Polski wynosiła 14,5°C i była wyższa o 0,2°C od średniej wieloletniej z okresu 1967-1989, oraz wyższa o 0,5°C od wielolecia 1891-1930. Natomiast średnie za okres IV-IX sumy opadów z ostatniego dwudziestolecia dla tego rejonu były niższe o 20 mm od średniej z lat 1967-1989 oraz niższe o 18 mm w porównaniu z wieloleciem 1891-1930 (tabela 2).

Tabela 2.

Średnie dobowe temperatury powietrza oraz sumy opadów w okresie IV-IX dla miejscowości prowadzenia doświadczeń w wieloleciu

Miejscowość	Temperatura powietrza (°C)			Opady (mm)		
	w i e l o l e c i e					
	1978- 1997	1967- 1989	1891- 1930	1978- 1997	1967- 1989	1891- 1930
Kawęczyn	14,4	14,3	13,7	316	344	330
Kościelna Wieś	14,8	14,4	14,1	309	341	360
Lubinicko	14,6	14,4	14,0	306	316	290
Seroczyn	14,2	14,1	14,0	342	364	380
Słupia Wielka	14,7	14,4	14,3	307	317	310
R e j o n	14,5	14,3	14,0	316	336	334



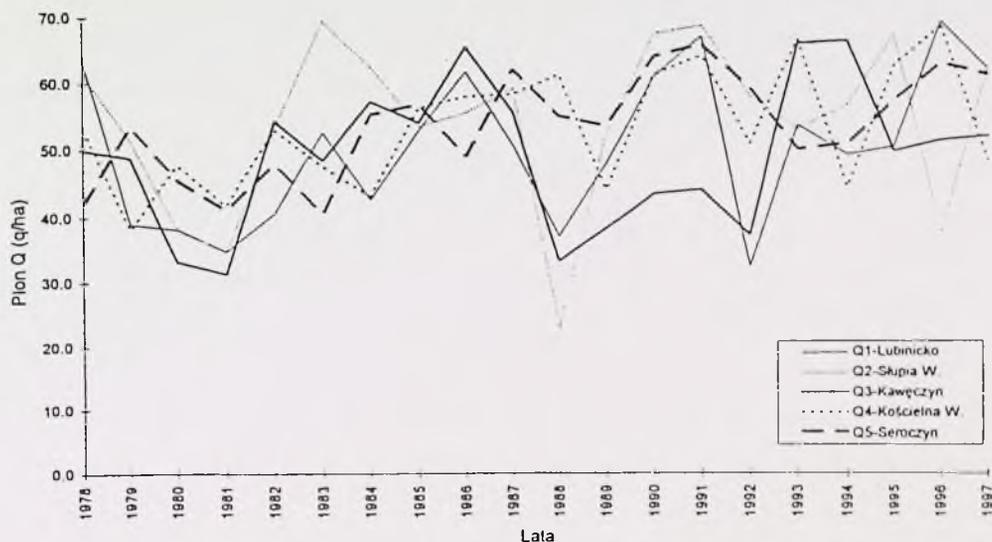
Rys. 2. Sumaryczne wartości ewapotranspiracji roślin i opadów na tle plonu ziarna jęczmienia jarego

PLONOWANIE

Na wielkość plonu rolniczego w głównej mierze wpływają warunki agroklimatyczne i właściwości genetyczne roślin.

Średni z lat 1978-1997 plon ziarna jęczmienia jarego w obszarze środkowej części Polski wyniósł 51,8 dt z ha. Zmienność plonowania zarówno w latach jak i w poszczególnych punktach była duża. Ekstremalnie wysokie plony ziarna w granicach 66-68 dt z ha uzyskano w latach 1996, w dwóch SDOO oraz w roku 1993 (w jednym doświadczeniu). Ujemny wpływ na kształtowanie plonu miały ponad dwutygodniowe okresy bezopadowe oraz termin i częstość ich występowania. Na ogół susze wczesno wiosenne nie wpływały na obniżkę plonu, bowiem rośliny w tym czasie wykorzystywały wilgoć zgromadzoną w glebie w okresie jesienno-zimowym. Jeśli jednak długotrwałe susze wczesno wiosenne występowały po zimie z niskimi zapasami

wodnymi w glebie, wówczas następowały duże spadki plonu ziarna. Przykładem tego były lata 1981.



Rys. 3. Plony ziarna jęczmienia jarego w latach 1978-1997 w rejonie środkowej części Polski

Tabela 3

Analiza skupień - metoda grupowania podziałowego

Grupa	Lata	Ewapotranspiracja potencjalna [mm]		Opady [mm]		Temperatura powietrza [°C]		Plon ziarna [dt/ha]	
		średnia	odchyl. stand.	średni	odchyl. stand.	średnia	odchyl. stand.	średni	odchyl. stand.
1	92	640	0,0	214	0,0	16,2	0,0	47,2	0,0
2	94,95	622	11,0	352	2,7	16,2	0,05	55,0	1,9
3	79;82;83;86;89;91	551	25,1	257	29,5	14,7	0,6	52,2	5,6
4	78;81;84;85;87;88;90;93	511	26,3	337	23,4	14,1	0,6	51,5	7,5
5	80;96;97	464	30,5	385	30,0	13,7	0,7	51,6	7,8

Analiza skupień (tabela 3) wg pakietu statystycznego Systat Balicki 1998] przeprowadzona dla lat 1978-1997, wykazała różne związki między badanymi cechami. Najwyższe plony ziarna jęczmienia jarego osiągnięto w latach ciepłych o dostatecznej ilości i rozkładzie opadów atmosferycznych. Redukcję plonu od 20-30% w stosunku do

maksymalnego otrzymano w latach 1972, 1982 i 1992, o wysokim niedoborze opadów. Na zmienność plonowania jęczmienia jarego w latach badań ujemny wpływ miały również opady typu burzowego powodujące wyleganie roślin, a w następstwie tego niedorozwój ziarna oraz nasilenie chorób. Przykładem tego był rok 1997, w którym w okresie po wykłoszeniu notowano silne wyleganie roślin, a w następstwie tego - obniżenie plonu.

Obliczone współczynniki korelacji między plonem, a elementami meteorologicznymi w postaci sum lub średnich za okres IV-IX dla poszczególnych miejscowości i rejonu, wykazują brak ścisłych zależności między tymi cechami. Wynikałoby z tego, że plon nie jest obrazem zmiennych klimatycznych. Nie wyklucza to jednak wzajemnych ich powiązań. Wskazuje jedynie na to, że fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska powodujące obniżenie plonu upraw rolniczych należy odnosić do krótszych okresów czasowych niż sumy lub średnie dla sezonów wegetacyjnych.

WNIOSKI

1. Analiza czynnika opadowego wykazała dużą jego różnorodność w zakresie małych obszarów i w latach badań.
2. Wykazano dużą zmienność wartości ewapotranspiracji potencjalnej roślin jako punktu odniesienia wskaźnika klimatycznego w latach badań.
3. Na zmienność plonu końcowego jęczmienia jarego dominujący wpływ mają ekstrema pogodowe powodujące stresowe warunki w określonych fazach wzrostu i rozwoju roślin, w efekcie czego ograniczają ich potencjał plonotwórczy.
4. Zarówno niedobory wodne spowodowane długimi okresami bezopadowymi (ciągi ponad 14 dni) jak i silne opady dobowe (ponad 20 mm), lub opady typu burzowego występujące w końcowym okresie wegetacji - są przyczyną spadku plonu.

LITERATURA

- BALICKI A., 1998.: Statystyka w badaniach ochrony środowiska GUS, Warszawa s. 118-136
- BARANOWSKI P., MAZUREK W., 1996.: Modelowanie procesu ewapotranspiracji - przegląd metod. VIII Szkoła „Fizyka z elementami agrofizyki. Modele wzrostu i plonowania roślin” PAN Lublin s. 107-121.

- DOORENBOS J., KASSAM A. H., 1979: Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, s. 193
- KOSSOWSKA-CEZAK U., 1999.: Niedostatek i nadmiar opadów - uwagi metodyczne. Materiały Sesji. PTG Warszawa, s. 7-10.
- KOWALIK P., 1995.: Obieg wody w ekosystemach lądowych. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN z.9.
- MARTYNIAK L., SZYMCZAK E., 1999.: Wpływ zmiennych elementów meteorologicznych na kształtowanie wielkości ewapotranspiracji zbiorowiska traw w rejonie niziny południowo-mazowieckiej. Maszynopis.
- MRUGAŁA SZ., 1997.: Próba określenia naturalnej normy i anomalii opadów atmosferycznych. Prz. Geof. XLII 2. s. 169-174.

Streszczenie: *Zmienność opadów w sezonach wegetacyjnych ostatniego dwudziestolecia i reakcja roślin w środkowej Polsce* W pracy przedstawiono dwudziestoletnie serie obserwacyjne klimatologiczne oraz wyniki badań doświadczeń polowych z jęczmieniem jarym przeprowadzone w latach 1978-1997 w środkowej Polsce. W obszarze 51°48'-52°14' szerokości geograficznej i 15°31'-21°56' długości geograficznej. Celem opracowania było ukazanie wielkości i zmienności opadów i innych elementów meteorologicznych w przedziale wieloletnim i próba określenia, wzajemnych powiązań oraz korelacji roślin i środowiska na przykładzie jęczmienia jarego. Analiza czynnika opadowego wykazała dużą jego różnorodność w zakresie małych obszarów i w latach badań. Wykazano dużą zmienność wartości ewapotranspiracji potencjalnej roślin jako punktu odniesienia wskaźnika klimatycznego w latach badań. Na zmienność plonu ziarna jęczmienia jarego dominujący wpływ mają ekstrema pogodowe powodujące stresowe warunki w określonych fazach i rozwoju roślin, w efekcie czego ograniczają ich potencjał plonotwórczy.

Słowa kluczowe: zmienność, opady, sezon wegetacyjny, reakcja roślin, jęczmień jary.

Adres autorów:

Ludwika Martyniak

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych

Falenty k/Warszawa

05-090 Raszyn

Ryszard Szymczyk

Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej k/Poznań

The influence of mineral fertilization and irrigation on the occurrence of leaf lesions, phyllosphere and arbuscular mycorrhizal fungi in four spring cereal species

JANUSZ BŁASZKOWSKI¹, STANISŁAW KARZMARCZYK², CEZARY PODSIADŁO², MARIUSZ TADYCH¹, TADEUSZ MADEJ¹, IWONA ADAMSKA¹

¹Department of Plant Pathology, ²Department of Plant Cultivation and Irrigation, University of Agriculture, Słowackiego 17, PL-71434 Szczecin, Poland

Abstract: *The influence of mineral fertilization and irrigation on the occurrence of leaf lesions, phyllosphere and arbuscular mycorrhizal fungi in four spring cereal species.* In a field experiment conducted in 1996, the influence of four rates of mineral fertilizers and irrigation on the occurrence of leaf lesions, as well as phyllosphere and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in four spring cereal species was investigated. The NPK rates applied were 150, 300, and 450 kg ha⁻¹. The controls were plots with no fertilization and irrigation. The cereals compared were wheat cv. Banti, Xtriticosecale cv. Mingo, malting barley cv. Orlik, and fodder barley cv. Boss. The highest percent of leaf area with lesions was found in wheat fertilized with 450 kg of NPK ha⁻¹. The mineral fertilization and irrigation applied generally increased the overall number of spores of phyllosphere and the underground AM fungi associated with the plants examined, but differently affected the sporulation of the species revealed of the two fungal groups.

INTRODUCTION

Land plants harbour different kinds of microscopic fungi. Of them, phyllosphere and arbuscular mycorrhizal fungi have an especially high importance for health and productivity of plants (Smith and Read 1997; Windels and Lindow 1985).

According to Subramanian (1983), excellent substrates for microscopic fungi are leaves of monocotyledonous plants. Investigations of the communities of fungi colonizing the phyllosphere of cereal plants revealed different groups of microorganisms, including non-pathogenic and pathogenic species, whose quantitative and qualitative composition highly depended on, e. g., the plant species considered and its growing conditions (Błaszowski 1993; Dickinson and Preece 1976). Fluctuations in the occurrence of individual fungal species have also been suggested to be caused by changes in the number of accompanying fungi (Mills and Wallace 1968).

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF: Glomales, Zygomycota) form symbiotic associations with at least 80% of plants of the Earth (Gianinazzi and Gianinazzi-Pearson 1986), including most cultivated plants (Gerdemann 1968). The plants generally considered to be good hosts of AMF are members of the family Poaceae (Błaszowski 1993; Brundrett et al. 1999; Harley and Harley 1987). Of the cultivated plants of this family, all cereals host AMF, although their mycorrhizal dependency and influence on sporulation of AMF varied, depending on the cultivar used (Azcon and Ocampo 1981), stage of plant development (Srenivasa and Rajashekhara 1989), and culture conditions (Hayman 1970). A large number of literature data exist of the protective effect of arbuscular mycorrhizae towards pathogenic microorganisms (Smith and Read 1997).

The agricultural practices markedly modifying the activity of both plants and associated microorganisms are mineral fertilization and irrigation (Cook and Baker 1983). Mineral fertilizers influenced plant resistance, as well as leaf and root exudation (Cook and Baker 1983), and the amount and composition of the exudates altered the quantitative and qualitative composition of co-occurring non- and pathogenic microorganisms (Cook and Baker 1983; Smith and Read 1997).

Mineral fertilization also affected root colonization and spore production by AMF (Hayman 1970). For example, nitrogen (N) fertilization has either stimulated (Aziz and Habte 1989) or inhibited (Buwalda and Goh 1982, Johnson et al. 1984) these fungi, depending on soil N (Mosse and Phillips 1971) and phosphorous (P; Buwalda and Goh 1982) concentrations, N source and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios (Johnson et al. 1984), and the sensitivity of AMF species to N fertilizers (Hayman 1975). High levels of P in soils and plants can inhibit both mycorrhiza formation (Douds and Schenck 1990) and spore production (Smith and Read 1997). Although less documented, potassium (K) added at low and high rates was associated with high levels of colonization of roots by AMF (Plenchette and Corpon 1987; Vejsadová 1992). The effects of compounded NPK fertilizers were complex and depended on many prevailing variables (Hayman 1975).

Soil moisture has been shown to affect AMF and mycorrhizae. For example, soil water deficiency has lowered and delayed spore germination (Tommerup 1984), root growth (Reid and Bowen 1979) and, thereby, mycorrhizal formation (Paula and Siqueira 1987, Reid and Bowen 1979). In contrast, irrigation has increased both mycorrhizal colonization and spore production of AMF. Suggested reasons have been enhanced root

growth (Paula and Siqueira 1987), alterations in moisture and nutrient properties of the soil (Safir et al. 1990), and improved spore distribution in the soil profile (Levi et al. 1983). However, the effects of irrigation on AMF revealed were associated with the stage of plant development, fungal species, rate (Safir et al. 1990) and chemical content of the water used (Levi et al. 1983).

The aim of this study was to determine the influence of different rates of fertilization and irrigation on the occurrence of leaf lesions, phyllosphere, and arbuscular mycorrhizal fungi in four spring cereal species.

MATERIALS AND METHODS

In 1996, a field experiment was conducted to investigate the influence of mineral fertilization and irrigation on the occurrence of leaf lesions, phylloplane and arbuscular mycorrhizal fungi in four spring cereal species. The experiment was performed on a sandy soil in the Szczecin Pomerania Region (north-western Poland). The characteristics of the experiment set up were:

- soil of a good rye complex and a valuation class of IVb: pH in KCl 5.3-5.6; orgC 1.5%,
- experimental design – split-split block with four replicates and 10 x 1.8 m plots,
- host plant – malting barley cv. Orlik, fodder barley cv. Boss, wheat cv. Banti, *XTriticosecale* cv. Mingo,
- fertilization (kg ha⁻¹) – N as NH₄NO₃, P as superphosphate, K as KCl; broadcast in random order to the plots; wheat and *XTriticosecale* at 50, 40, 60 (N₁P₁K₁), 100, 80, 120 (N₂P₂K₂), and 150, 120, 180 (N₃P₃K₃); malting barley at 20, 40, 60 (N₁P₁K₁), 40, 80, 120 (N₂P₂K₂), and 60, 120, 180 (N₃P₃K₃); fodder barley at 40, 40, 60 (N₁P₁K₁), 80, 80, 120 (N₂P₂K₂), and 120, 120, 180 (N₃P₃K₃),
- irrigation (mm) – tap water applied in the 3rd decade of May and 1st and 2nd decades of June, at 40 (2 x 20) for malting barley and fodder barley and at 50 (2 x 25) mm for wheat and *XTriticosecale*. Plants were irrigated with sprinkler heads, spaced 4 m apart,
- control – plots without fertilization and irrigation.

Leaves and mixtures of rhizosphere soils and roots were collected at the milky ripe stage of plants.

The percent of leaf area with lesions was evaluated according to graphical sales (Błaszowski et al. 1999).

Spores of phyllosphere fungi were isolated following vigorous washing of leaves in a bulb containing tap water. The spore density was determined using a hemocytometer.

Spores of AMF were recovered from root-rhizosphere soil mixtures by wet sieving and decanting (Gerdemann and Nicolson 1963).

RESULTS

Leaf lesions. The highest percent of leaf area with lesions occurred in the wheat cv. Banti combination (Tab. 1). The lowest values of leaf damage regarded the *XTriticosecale* cv. Mingo, 3NPK+W, malting barley, cv. Orlik, ONPK, and malting barley, cv. Orlik, ONPK+W treatments.

Table 1. The influence of fertilization and irrigation on the percent of leaf area with lesions

Plant species	Spring wheat cv. Banti	Spring <i>Triticosecale</i> cv. Mingo	Malting barley cv. Orlik	Fodder barley cv. Boss
Fertilization (NPK) and irrigation (W)				
0NPK	47.0	26.0	24.0	9.0
0NPK+W	23.0	27.0	17.5	10.0
3NPK	49.5	23.0	16.0	17.0
3NPK+W	27.0	8.0	25.0	17.0

Phyllosphere fungi

Wheat. The rates of the mineral fertilizers applied did not influence both the overall spore density of all phyllosphere fungi and the number of spores of the pathogenic and saprophytic fungi considered (Tab. 2).

Table 2. The influence of mineral fertilization and irrigation on the abundance of spores of phyllosphere fungi

Treatment		Fungi									
		<i>Alternaria alternata</i>	<i>Blumeria graminis</i>	<i>Cladosporium</i> spp.	<i>Epiccocum nigrum</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Helminthosporium avenae</i>	<i>Puccinia</i> spp.	other	Total	
		Spring wheat									
NPK (kg ha ⁻¹)	0	5.25	15.01	0.50	-	9.75	-	23.25	6.00	69.75	
	150	8.25	6.75	8.25	1.50	3.75	-	28.50	6.00	63.00	
	300	6.75	3.00	5.25	0.75	5.25	-	18.00	2.25	41.25	
	450	7.50	-	4.50	3.00	6.00	-	18.00	3.00	43.50	
Irrigation	0*	4.50	8.62	6.00	1.12	8.25	-	22.50	4.87	55.87	
	W	9.37	3.75	8.25	1.50	4.12	-	21.37	4.50	52.87	
		<i>Xtriticosecale</i>									
NPK (kg ha ⁻¹)	0	6.75	11.25	8.25	0.75	2.25	-	24.75	4.50	58.50	
	150	4.50	12.00	9.75	0.75	4.50	-	30.75	5.25	67.50	
	300	4.50	12.25	7.50	-	6.75	-	34.25	9.75	75.00	
	450	6.00	12.00	6.75	-	4.50	-	39.75	8.25	77.25	
Irrigation	0	5.62	16.87	9.00	-	3.37	-	28.12	6.00	69.00	
	W	5.25	6.37	7.12	0.75	5.62	-	36.75	7.87	69.75	
		Malting barley									
NPK (kg ha ⁻¹)	0	4.50	8.25	5.28	-	2.25	0.75	15.00	6.00	42.00	
	150	6.75	6.00	6.75	3.00	4.50	0.75	17.25	6.75	51.75	
	300	3.00	12.75	7.50	-	7.50	3.00	18.75	6.00	58.50	
	450	7.50	12.00	7.50	3.00	8.25	0.75	15.75	7.50	62.25	
Irrigation	0	6.00	7.87	6.75	2.62	7.12	1.12	17.25	5.62	54.37	
	W	4.87	11.62	6.75	0.37	4.12	1.50	16.12	7.50	52.87	
		Fodder barley									
NPK (kg ha ⁻¹)	0	3.00	7.50	4.50	-	5.25	-	17.25	6.75	44.25	
	150	3.75	12.00	9.00	-	8.25	1.50	26.25	6.00	66.75	
	300	5.25	13.50	7.50	6.75	6.00	2.25	24.75	9.75	75.75	
	450	8.25	10.50	10.50	5.25	6.75	3.00	23.25	6.00	73.50	
Irrigation	0	6.37	9.75	6.37	3.00	7.12	2.62	21.75	9.37	66.37	
	W	3.75	12.00	9.37	3.00	6.00	0.75	24.00	4.87	63.75	

*0 - no irrigation, W - irrigation applied

Irrigation decreased the overall density of fungal spores and highly lowered the number of spores of *B. graminis* and *Fusarium* spp. In contrast, the sporulation of *Alternaria alternata*, *Cladosporium* spp. and *Epicoccum nigrum* was higher in the phyllosphere of irrigated plants than in those with no water application.

X^{Triticosecale}. Increasing rates of fertilizers enhanced the overall spore density of all fungi and the number of spores of the genera *Fusarium* spp. and *Puccinia* spp., but did not influence the production of spores by *Blumeria graminis*, *A. alternata*, *Cladosporium* spp., and *E. nigrum* (Tab. 2).

Water application did not change the overall fungal spore density, slightly increased the sporulation of *Fusarium* spp. and *Puccinia* spp., but highly decreased the spore production by *B. graminis*.

Malting barley. Increasing rates of NPK enhanced the overall fungal spore density (Tab. 2). Although mineral fertilization had no marked influence on the sporulation of *A. alternata*, *Cladosporium* spp., *E. nigrum*, and *Helminthosporium avenae*, it highly increased the number of *B. graminis* and *Fusarium* spp. spores.

Except for *H. avenae*, irrigation slightly lowered both the overall fungal spore density and the spore density of the other fungal species considered.

Fodder barley. Mineral fertilization increased the overall fungal spore density and the spore density of *A. alternata*, *Cladosporium* spp., and *E. nigrum* (Tab. 2). However, it did not influence markedly the abundance of spores of *B. graminis*, *Fusarium* spp., and *Puccinia* spp.

Despite the water application decreased the overall fungal spore density and that of *A. alternata*, *Fusarium* spp., and *H. avenae*, a slight enhancement of the sporulation of *B. graminis*, *Cladosporium* spp., and *Puccinia* spp. was recorded.

Arbuscular mycorrhizal fungi

Wheat. The highest number of spores of AMF was found in the rhizosphere soils of plants growing in unfertilized plots (Tab. 3). The sporulation of AMF was highest inhibited following the use of 150 and 450 kg NPK ha⁻¹. The species of AMF whose spore production was highest lowered was *G. deserticola*. In contrast, the spore abundance of *Glomus constrictum* was highest at a rate of 300 kg NPK ha⁻¹. Irrigation decreased the sporulation of all the AM fungal species considered.

Table 3. The influence of mineral fertilization and irrigation on the spore density of arbuscular mycorrhizal fungi associated with roots of four cereal plant species

Treatment	<i>Acaulospora</i>		<i>Glomus</i>							Total	
	<i>lacunosa</i>	<i>polylamina</i>	<i>caledonium</i>	<i>constrictum</i>	<i>deserticola</i>	<i>dominikii</i>	<i>etunicatum</i>	<i>fasciculatum</i>	<i>mosseae</i>		
NPK (kg ha ⁻¹)	0	-	-	13.50	0.50	57.00	0.50	5.00	-	0.50	77.0
	150	-	-	0.50	1.50	0.50	6.50	-	-	1.00	10.0
	300	-	-	7.50	10.00	4.00	5.00	1.50	-	10.0	38.0
	450	-	-	2.50	5.00	1.50	-	-	-	2.50	11.5
Irrigation	0	-	-	8.50	2.50	30.50	3.25	2.50	-	2.25	49.50
	W	-	-	3.50	6.00	1.00	2.75	0.75	-	4.75	18.80
<i>Xtriticosecale</i>											
NPK (kg ha ⁻¹)	0	-	-	4.00	0.50	1.50	0.50	1.50	-	1.00	9.00
	150	-	-	1.50	5.00	2.50	-	2.50	-	0.50	12.00
	300	-	-	4.50	6.50	4.00	-	9.50	-	-	24.50
	450	1.50	-	12.00	5.50	-	2.50	7.50	-	1.50	30.50
Irrigation	0	0.75	-	6.00	1.50	3.25	1.50	4.50	-	0.75	18.30
	W	-	-	5.00	7.25	0.75	-	6.00	-	0.75	19.80
Malting barley											
NPK (kg ha ⁻¹)	0	-	-	16.50	0.50	4.00	-	-	-	0.50	21.50
	150	-	-	11.00	2.50	2.50	-	-	-	3.00	19.00
	300	-	-	6.00	2.50	1.50	-	4.50	-	2.00	16.50
	450	0.50	-	5.50	1.00	1.00	-	1.00	-	-	9.00
Irrigation	0	-	-	9.25	2.25	-	-	1.00	-	1.00	13.50
	W	0.25	-	10.30	1.00	4.50	-	1.75	-	1.75	19.50
Fodder barley											
NPK (kg ha ⁻¹)	0	-	-	2.50	6.00	-	7.00	-	-	3.50	19.00
	150	-	-	9.50	1.50	-	0.50	1.50	2.00	-	15.00
	300	-	-	5.50	1.50	-	-	-	1.50	-	8.50
	450	-	-	2.00	6.50	-	-	-	-	-	8.50
Irrigation	0	-	-	2.25	2.50	-	-	-	0.25	1.50	6.50
	W	-	-	7.50	5.25	-	3.75	0.75	1.50	0.25	19.00

*0 - no irrigation, W - irrigation applied

XTriticosecale. Enhancement of the rates of mineral fertilizers generally increased the sporulation of AMF (Tab. 3). The highest increase was observed in *G. caledonium* and *G. etunicatum*.

Although water application slightly increased the overall spore abundance of AMF, the fungal species responded differently to irrigation. For example, *G. constrictum* highly increased spore productivity following water application, whereas *G. deserticola* responded inversely.

Malting barley. Increasing rates of NPK accompanied a gradual decline of the overall spore abundance of AMF (Tab. 3). Most of the fungal species recovered responded similarly.

Except for *G. constrictum*, irrigation enhanced both the spore density of the fungal species identified and the overall spore abundance of these fungi.

Fodder barley. Mineral fertilization decreased the overall spore abundance of AMF, but differently influenced the sporulation of the fungal species revealed (Tab. 3).

Except for *G. mosseae*, water application increased the spore density of all the other species and the overall number of spores of AMF associated with roots of fodder barley.

DISCUSSION

The mineral fertilization and irrigation applied generally increased the overall number of spores of phyllosphere and the underground AM fungi, but differently affected the sporulation of the species revealed of the two fungal groups.

The changes observed may have resulted from both the direct and indirect effects of the mineral fertilizers and water applied on these fungi.

The direct influences may have been (1) a better supplying of both phyllosphere and AM fungi with nutrients and water by their fertilized and irrigated host plants (Cook and Baker 1983), (2) inhibition of the activity of some species of the fungal groups considered by the NPK rates applied (Anderson et al. 1987; Douds and Schenck 1990; Harinikumar and Bagyaraj 1989; Hetrick et al. 1984; Saif 1986; Thomson et al. 1986), (3) facilitation of germination and dissemination of infection propagules of phyllosphere and AM fungi by the water used (Levi et al. 1983; Tommerup 1984), (4)

enhancement of the extend of mycorrhizal colonization (Paula and Siqueira 1987; Reid and Bowen 1979; Safir et al. 1990), and (5) reduction of the number of spores of phyllosphere fungi due to their bursting or washing down to the ground by water drops (Harwood 1995).

The indirect reasons of the changes revealed in the activity of phyllosphere and AM fungal communities after fertilization and irrigation may have been (1) enhancement of leaf and root areas of plants and, thereby, the extension of a niche for these microorganisms (Brundrett et al. 1999; Cook and Baker 1983; Redhead 1975; Safir et al. 1993), (2) reduction of concentration of soil solution below a harmful level to all or some species of AMF because of dilution of the mineral elements incorporated (Błaszowski et al. 1993), (3) changes in phyllosphere and rhizosphere pHs (Blakeman 1985; Chambers et al. 1980; Morris and Rouse 1985), (4) alterations in exudation of roots and leaves (Russell 1977), and (5) increased activity of non-mycorrhizal soil and phyllosphere microorganisms not considered in this study (Blakeman 1985; Conner et al. 1992).

Acknowledgement. This study was supported in part by The Committee of Scientific Researches, grant no. 6.P04C.015.13.

REFERENCES

- ANDERSON E. L., MILLNER P. D., KUNISHI H. M. 1987: Maize root length density and mycorrhizal infection as influenced by tillage and soil phosphorous. *J. Plant Nutrition* 10: 1349-1356.
- AZCON R., OCAMPO J. A. 1981: Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytol.* 87: 677-685.
- AZIZ T., HABTE M. 1989: Influence of inorganic N on mycorrhizal activity, nodulation, growth of *Leucaena leucocephala* in an oxisol subjected to stimulated erosion. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 20: 239-251.
- BLAKEMAN J. P. 1985: Ecological succession of leaf surface microorganisms in relation to biological control. In: Windels C. E., Lindow S. E. *Biological control of the phylloplane*. The American Phytopath. Soc. St. Paul, Minnesota: 6-30.

- BŁASZKOWSKI J. 1993: Comparative studies of the occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in cultivated and uncultivated soils of Poland. *Acta Mycol.* 28: 93-140.
- BŁASZKOWSKI J., KOSZAŃSKI Z., KARCZMARCZYK S. 1993: The influence of irrigation and nitrogen fertilization on the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi and *Phialophora graminicola* (Deacon) Walker associated with roots of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Phytopath. Polonica* 6 (XVIII): 61-71.
- Błaszowski J., Tadych M., Madej T. 1999. Przewodnik do zajęć z fitopatologii. AR Szczec.
- BRUNDRETT M. C., JASPER D. A., ASHWATH N. 1999: Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. II. The effect of nutrient levels and host species on the isolation of fungi. *Mycorrhiza* 8: 315-321.
- BUWALDA J. G., GOH K. M. 1982: Host-fungus competition for carbon as a cause of growth depressions in vesicular-arbuscular mycorrhizal ryegrass. *Soil Biol. Biochem.* 14: 103-106.
- CHAMBERS C. S., SMITH S. M., SMITH F. A. 1980: Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulation and growth of *Trifolium subterraneum*. *New Phytol.* 85: 47-62.
- CONNER R. L., CAREFOOT J. M., BOLE J. B., KOZUB G. C. 1992: The effect of nitrogen fertilizer and irrigation on black point incidence in soft white spring wheat. *Plant and Soil* 140: 41-47.
- COOK R. J., BAKER K. F. 1983: The nature and practice of biological control of plant pathogens. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota.
- DOUDS D. D., SCHENCK N. C. 1990: Relationship of colonization and sporulation by VA mycorrhizal fungi to plant nutrient and carbohydrate contents. *New Phytol.* 116: 621-627.
- DICKINSON C. H., PREECE T. F. 1976: Microbiology of aerial plant surfaces. Academic Press. London, New York, San Francisco: 669 pp.
- GERDEMANN J. W. 1968: Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annu. Rev. Phytopath.* 6: 397-418.
- GIANINAZZI S. AND GIANINAZZI-PEARSON V. 1986: Progress and headaches in endomycorrhiza biotechnology. *Symbiosis* 2: 139-149.
- HARINIKUMAR K. M., BAGYARAJ D. J. 1989: Effect of cropping sequence, fertilizers, and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crops over three consecutive seasons. *Biol. Fertil. Soils* 7: 173-175.
- HARLEY J. L., HARLEY E. L. 1987: A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytol.* 105: 1-102.

- HARWOOD CH. 1995: Adventures of a rose pathologist. In: Andrews J. H., Tommerup I. C. Advances in plant pathology. Academic Press. London, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto: 303-316.
- HAYMAN D. S. 1970: *Endogone* spore numbers in soil and vesicular-arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment. Trans. Br. Mycol. Soc. 54: 53-63.
- HAYMAN D. S. 1975: The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In: Endomycorrhizas, 495-509; Ed.: Sanders F. E., Mosse B., Tinker P. B., Academic Press, London.
- HETRICK B. A. D., HETRICK J. A., BLOOM J. 1984: Interaction of mycorrhizal infection, phosphorus level, and moisture stress in growth of field corn. Can. J. Bot. 62: 2267-2271.
- JOHNSON C. R., JARRELL W. M., MENGE J. A. 1984: Influence of ammonium : nitrate ratio and solution pH on mycorrhizal infection, growth and nutrient composition of *Chrysanthemum morifolium* var. *Circus*. Plant and Soil 77: 151-157.
- LEVI Y., DODD J., KRIKUN J. 1983: Effect of irrigation, water salinity and root stock on the vertical distribution of vesicular-arbuscular mycorrhiza in citrus roots. New Phytol. 95: 397-403.
- MILLS J. T., WALLACE H. A. H. 1968: Determination of selective action of fungicides on the mycoflora of barley seed. Can. J. plant Sci. 48: 587-594.
- MORRIS C. E., ROUSE D. I. 1985: Role of nutrients in regulating epiphytic bacterial populations. In: Windels C. E., Lindow S. E. Biological control of the phylloplane. The American Phytopath. Soc. St. Paul, Minnesota: 63-82.
- MOSSE B., PHILLIPS J. M. 1971: The influence of phosphate and other nutrients on the development of vesicular-arbuscular mycorrhiza in culture. J. Gen. Microbiol. 69: 157-166.
- PAULA M. A., SIQUEIRA J. O. 1987: Efeitos da umidade de solo sobre a simbiose endomicorrizica em soja: I. Colonizaco radicular, esporulaco, nodulacao e acumulo de nitrogenio. R. bras. Ci. Solo 11: 283-287.
- PLENCHETTE C., COPRON I. 1987: Influence of P and K fertilization on VA mycorrhizal fungi population. In: mycorrhizae in the next decade practical applications and research priorities. Proc. Seventh North American Conference on Mycorrhizae. Sylvia D. M., Hung L. L., Graham J. H. (eds.), Gainesville, FL 3-8 May, 1987. Univ. FL Gainesville: 35.
- REID C. P. P., BOWEN C. D. 1979: Effects of soil moisture on VA mycorrhiza formation and root development in Medicago. In: The soil-root interface: 211-219; Ed.: Harley J. L., Russell R. S., Academic Press, London.
- SAIF S. R. 1986: Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. Angew. Botanik 60: 125-139.

- SAFIR G. R., SIQUEIRA J. O., BURTON T. M. 1990: Vesicular-arbuscular mycorrhizae in a wastewater-irrigated oldfield ecosystem in Michigan. *Plant and Soil* 121: 187-196.
- SMITH S. E., READ D. J. 1997: Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. Harcourt Brace & Company, Publishers. San Diego, London, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto.
- SREENIVASA M. N., RAJASHEKHARA E. 1989: Influence of the stage of development and genotypes on mycorrhizal colonization of field grown wheat. *Zentralbl. Mikrobiol.* 144: 381-384.
- SUBRAMANIAN C. V. 1983: Hyphomycetes. Taxonomy and biology. Academic Press. London, New York, Paris, San Diego, San Francisco, São Paulo, Sydney, Toronto: 502 pp.
- THOMSON B. D., ROBSON A. D., ABBOTT L. K. 1986: Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. *New Phytol.* 103: 751-765.
- TOMMERUP I. C. 1984: Effect of soil water potential on spore germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 83: 193-202.
- VEJSADOVÁ H. 1992: The influence of organic and inorganic fertilization on development of indigenous VA fungi in roots of red clover. In: Read D. J., Lewis D. H., Fitter A. H., Alexander I. J. Mycorrhizas in ecosystems. CAB International: 406.
- WINDELS C. E., LINDOW S. E. 1985: Biological control of the phylloplane. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota: 169 pp.

Streszczenie: Wpływ nawożenia mineralnego i nawadniania na występowanie plamistości liści, grzybów fylloferowych i arbuskularnych grzybów mikoryzowych u czterech gatunków zbóż jarych. W doświadczeniu polowym przeprowadzonym w roku 1996 zbadano wpływ czterech dawek nawozów mineralnych i nawadniania na występowanie plamistości liści i grzybów fylloferowych oraz arbuskularnych grzybów mikoryzowych u czterech gatunków zbóż jarych. Zastosowanymi dawkami NPK były 150, 300 i 450 kg ha⁻¹. Kontrolą były poletka nie nawożone i nie nawadniane. Porównywanymi roślinami były pszenica odm. Banti, pszenżyto odm. Mingo, jęczmień browarny odm. Orlik i jęczmień pastewny odm. Boss. Największy procent powierzchni liści z plamistościami stwierdzono u pszenicy po zastosowaniu 450 kg ha⁻¹ NPK. Nawożenie mineralne i nawadnianie na ogół zwiększały ogólną liczbę zarodników grzybów fylloferowych i zarodników podziemnych arbuskularnych grzybów mikoryzowych związanych ze zbadanymi roślinami, ale różnie wpływały na zarodnikowanie ujawnionych gatunków obu tych grup grzybów.

Author's address:

Janusz Błaszowski¹, Stanisław Karczmarczyk², Cezary Podsiadło², Mariusz Tadych¹, Tadeusz Madej¹, Iwona Adamska¹

¹Katedra Fitopatologii, Akademia Rolnicza w Szczecinie,

²Zakład Produkcji Roślinnej i Nawadniania

71-434 Szczecin, ul. Słowackiego 17, Poland.

Irrigating potatoes in the Wrocław region

KAZIMIERZ CHMURA, STANISŁAW ROJEK

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław

Abstract: *Irrigating potatoes in the Wrocław region.* The investigations were conducted over 1974-97 in the Plant Irrigation Station at Samotwór by Wrocław, on soil of a rye complex (IVb valuation class). Various earliness groups of potato (48 cultivars) were studied. It was found that irrigation and nitrogen fertilisation increased the yields of all cultivar groups, independent of year category. However, the greatest yield was obtained in the case of late cultivars in mean and medium wet years. Simultaneous irrigation and fertilisation gives best results, independent of year category and cultivar earliness.

Key words: potatoes, cultivars, weather course, irrigation, fertilisation, yield

INTRODUCTION

The potato is one of the most popular crops, aside of cereals. It is cultivated as consumable, industrial and fodder plant. In the crop structure it occupies, depending on region, about 12%. Hence the fairly great interest in that crop of scientists and producers. The potato is a plant typical for cultivation in moderate climate. It yields quite well on light soils provided the soils are rich in nutrients, that is adequately fertilised and with enough moisture. However, in Poland it is difficult to insure the optimal conditions for proper growth and development of the plant because of weather variation and unequal distribution of precipitation. So, if we want to obtain dependable, high and good quality yields, irrigation equipment must be installed to guard against the negative consequences of a drought. The importance of the problem is suggested by the numerous investigations and research papers on potato irrigation [4,5,10,14,16,17]. However, fragmentary publications prevail that are conducted over a short period of time (usually 3 years). In the present paper we refer to only some of them [1-3,6-9,11-13,15,18]. The Department of Environmental Effects of Agriculture in collaboration with the Potato Institute in Jadwisin and conducting experiments supported by the State

Research Committee (KBN), has performed in 1974-1997 investigations on a large number (48) of sprinkled potato varieties.

The aim of the present work was to make a synthetic elaboration of the effect of sprinkling and nitrogen fertilisation on yielding of various cultivars of this popular root crop, dependent on earliness and type of year (weather course).

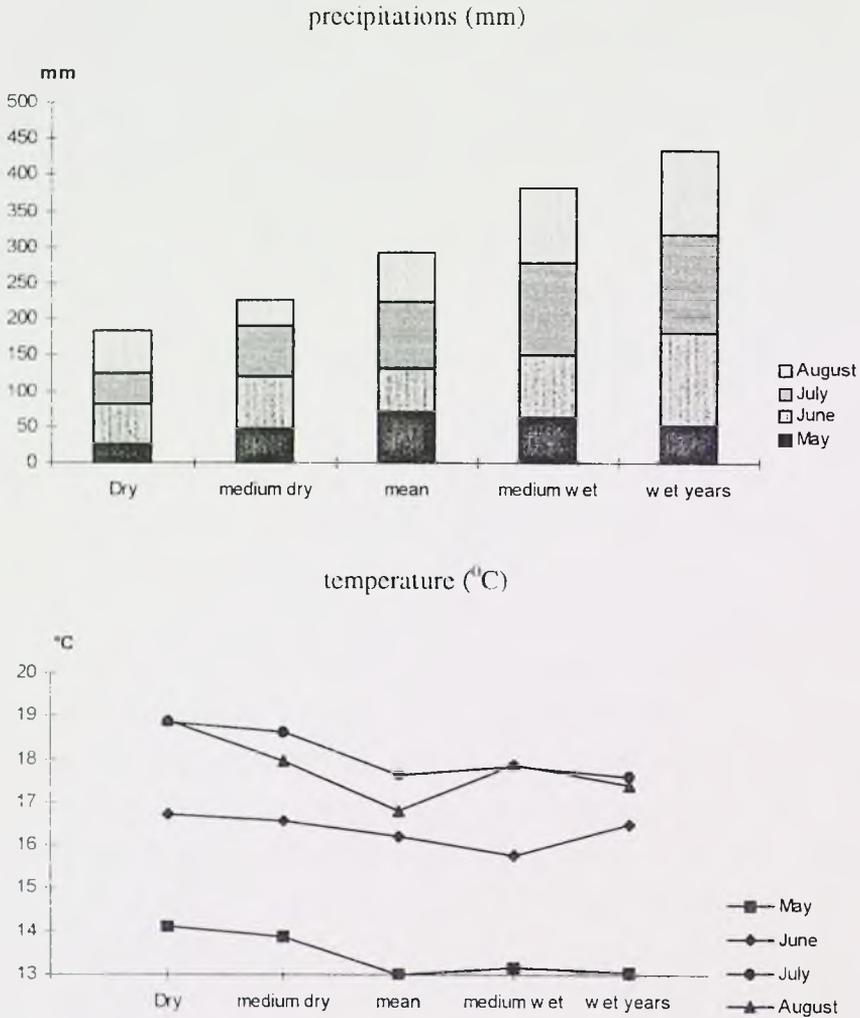


Fig. 1. Precipitations and temperature in May-August, acc. to year category.

CONDITIONS, METHODS AND SCOPE

Field investigations were conducted over the years 1974-1997 in the Irrigation Station at Samotwór by Wrocław. They were localised on soil of a good rye complex of IVb valuation class. The weather course is shown in Fig.1, where mean precipitation totals and mean temperatures are given for the period May-September, i.e. for the vegetation period which is decisive for yielding of the cultivars studied. The years have been classified as follows. Precipitation totals for the period May-August were ordered in an increasing sequence. The mean value for the multiannual period was calculated, then the consecutive means for low and high precipitation. On this basis 5 year category intervals were distinguished. The division into year category, mean temperatures, precipitation totals and water doses is presented in Table 1.

The mean precipitation totals and mean temperatures for dry years were 183.8 mm and 17.1°C, for medium dry 227.4 and 16.7, for mean ones 293.1 and 15.9, for medium wet 382.4 and 16.2, and wet 434.3 mm and 16.1 °C, respectively. These data indicate that the temperature tends to decrease with increasing precipitation.

The field experiments were done using the split-block method, in a dependent system with three variable factors and four repetitions (cultivars, nitrogen fertilisation and irrigation). The following very early cultivars were studied: Irys, Frezja, Cynia, Ruta, Malwa, Azalia, Narcyz, early: Dalia, Sasanka, Jaśmin, Elipsa, Perkoz, Lotos, Alka and Kalina; medium early: Pola, Ronda, Elida, Beryl, Bliza, Ibis, Irga, Dukat, Bintje, Kos and Maryna, medium late: Sokół, Sowa, Atol, Cisa, Brda, Heban, Fregata, Marta, Leda, Poprad, Bogna, Ania and Lawina; and late cultivars: Narew, Janka, Bronka, Bóbr, Ceza, Odra, Liwia, Kora and Krab.

Fertilisation was applied: nitrogen 0, 80, 160 and 240 kg/ha (46% as urea), phosphorous 80 kg P₂O₅/ha and potassium 160 kg K₂O/ha. These fertilisers were spread in the spring before planting potatoes. Organic fertilisation 30 tons of manure per hectare was done in Autumn of the previous year.

Sprinkling was applied in two variants: without irrigation (WO) and with irrigation (W1) dependent on weather course, soil moisture (tensiometrically measured) and on the plant developmental phases. Overall doses of water are given in Table 1.

Table 1. Year categories dependent on precipitation total in May-August and mean temperatures (°C) and water doses (mm).

Year categories	Dose of water mm	Temperature °C	Precipitation mm	Year categories	Dose of water mm	Temperature °C	Precipitation mm
1994	300	17,8	166,7	1987	67	15,2	269,2
1992	260	19,0	181,3	1983	94	17,5	282,5
1990	166	17,0	186,9	1996	100	16,2	294,1
1979	103	15,5	189,9	1981	37	16,7	297,0
1989	140	16,6	194,3	1984	34	15,4	298,3
				1976	53	15,6	304,9
				1978	51	14,9	305,5
Dry	194			Mean	62		
				1985	74	16,2	369,6
1988	94	17,0	217,3	1986	93	16,6	377,0
1982	43	17,2	219,7	1980	49	14,8	377,5
1991	60	15,9	242,3	1974	60	15,1	382,5
1993	160	16,7	247,4	1997	80	17,1	393,1
				1995	71	17,2	394,4
Medium dry	89			Medium wet	71		
				1975	60	16,8	397,8
				1977	40	15,5	470,7
				Wet	50		

RESULTS

In the present work are given mean bulb yields for cultivars, groups of cultivars, N fertilisation and irrigation. The mean yields for the respective groups of earliness are presented in Fig. 2. It was found that the highest yields from control treatments for medium late and late cultivars were 22.2 t/ha, smaller yields were given by medium early cultivars (26.7), and the smallest by early (15.3) and very early (16.3). In the respective groups of earliness the following cultivars yielded best: Janka (30.9), Lawina (27.8), Bintje (26.1), Frezja (21.4) and Kalina (19.7 t/ha).

In order to know how the groups of cultivars were affected by the respective measures, mean yields from irrigated, N fertilised and treatments with both measures applied were compared with the control treatments. The results are presented in Fig. 3. It was found that the irrigated early and very early cultivars increased yields by 2.6 t/ha, medium arly by 3.3, medium late by 3.8, and late by 2.0 t/ha. The weak reaction to irrigation of

almost all the very early, early and late cultivars is understandable, though the causes are various. The first ones, due to their short vegetation, were usually irrigated from 0 to 2 times with 20 mm. Gathering took place 75 day after planting, so that vegetation was very brief and the amount of post-winter water in soil sufficient. In turn, the lifting of late cultivars took place 160 days after planting, so that consecutive precipitation in 45 days decreased the effects of sprinkling.

Nitrogen fertilisation increased yield if the very early and early cultivars by 3.3 t/ha, medium early by 6.3, medium late by 5.2 and late by 6.6 t/ha. One may thus say that the cultivars of longer vegetation period utilise that component better and yield better as a result.

Simultaneous application of sprinkling and nitrogen fertilisation induces highest increases in yield. In that case together with increased vegetation of the cultivars studied the increments in yield were the following 5.7, 5.9, 9.9, 11.4 and 10.4 t/ha. (Fig.3).

The investigations showed that cultivars reacted to irrigation and nitrogen fertilisation variously. Some increased the yield markedly, while others only at a minimum. The percentage reaction of the cultivars studied to irrigation is shown in Fig.4, to nitrogen fertilisation in Fig.5 and co-operation of both factors in Fig.6. The figures include only those cultivars whose increases were greater than the mean for cultivar groups. In the respective groups of airlines the highest increases in yield due to sprinkling gave the cultivars: Azalia (29.1%), Alka (24.8), Beryl (31.6), Marta (53.3), Cisa (19.0) and Bronka (19.1). The medium early cultivars reacted strongest to that measure.

Yield increases due to fertilisation were on average larger than those due to sprinkling and referred mostly to other cultivars. In the respective groups the strongest reaction to that factor was found for: Azalia (36.7%), Perkoz (39.6), Dukat (48.1), Cisa (39.8) and Bronka (75.5); details in Fig. 5.

Both the treatments when applied together caused the greatest increase in yield of the cultivars studied. Of the cultivars represented in Fig. 6 the largest increases in yield were given by: Azalia (92.8%), Dalia (70.5), Dukat (75.1), Bogna (101.5) and Bronka (110.5).

Interested are potatoes yields as dependent on the treatments applied in year with various precipitation in the vegetation period.

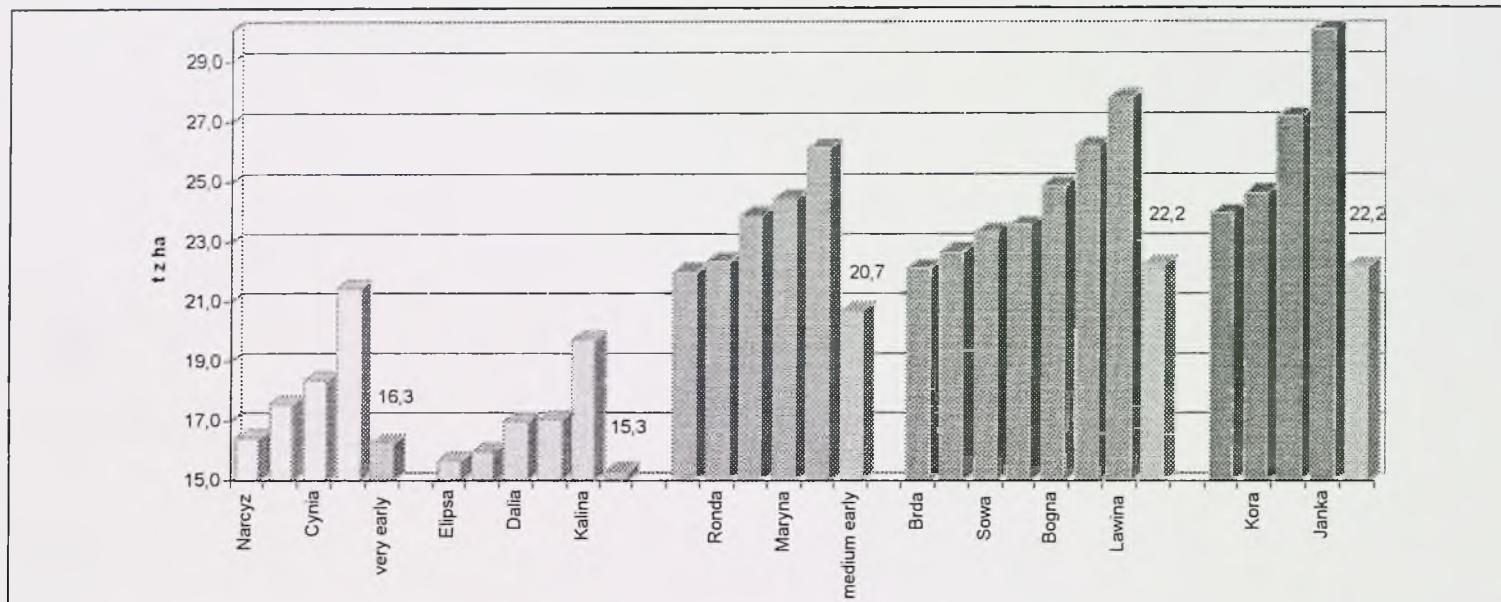


Fig. 2. Mean yields of potato cultivars acc. to earliness groups, in t/ha.

Irrigating potatoes in the Wrocław region

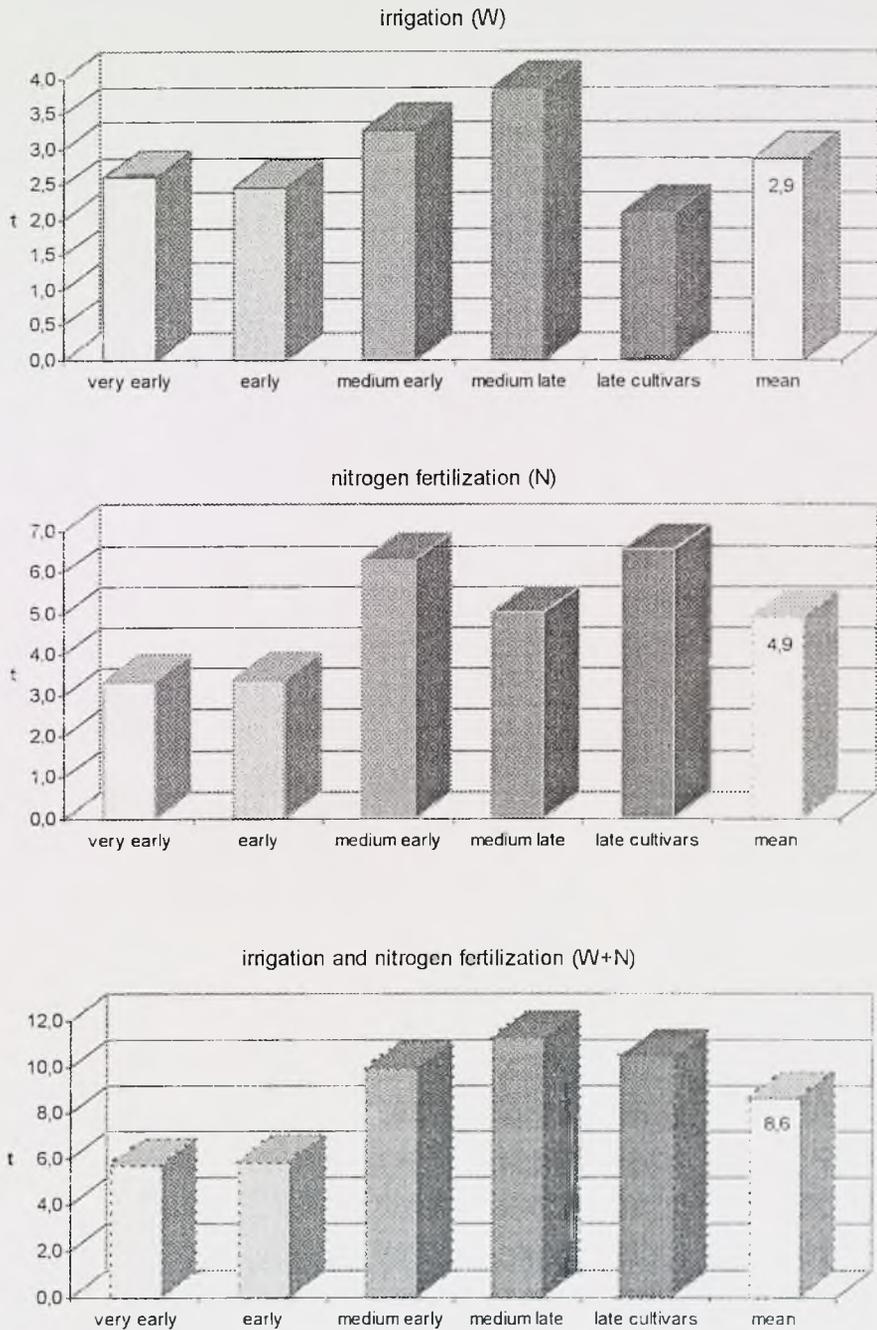


Fig. 3. Potatoes yield increase acc. to earliness groups and treatments, in t/ha.

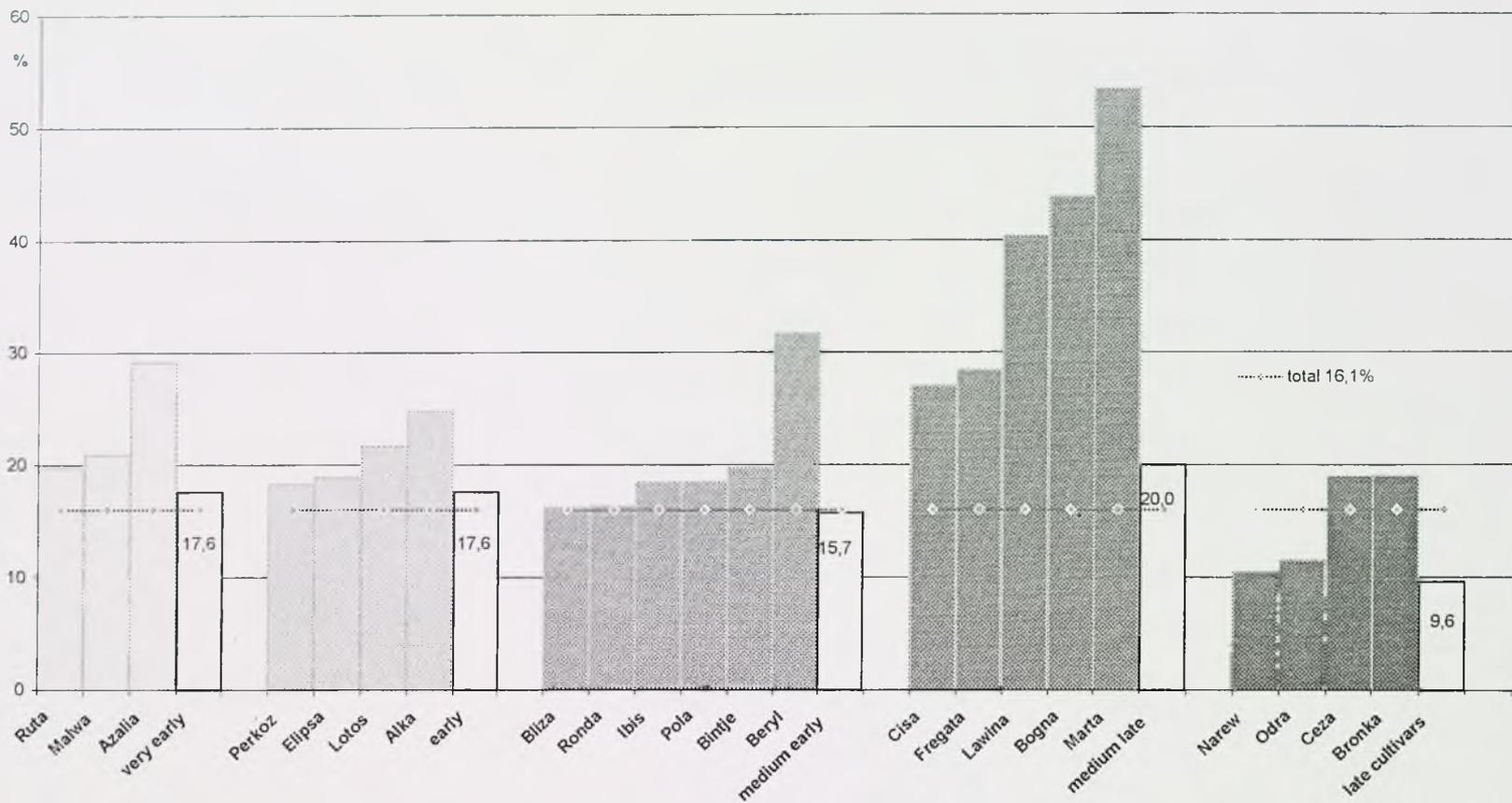


Fig. 4. Potato yield increase due to irrigation, in %

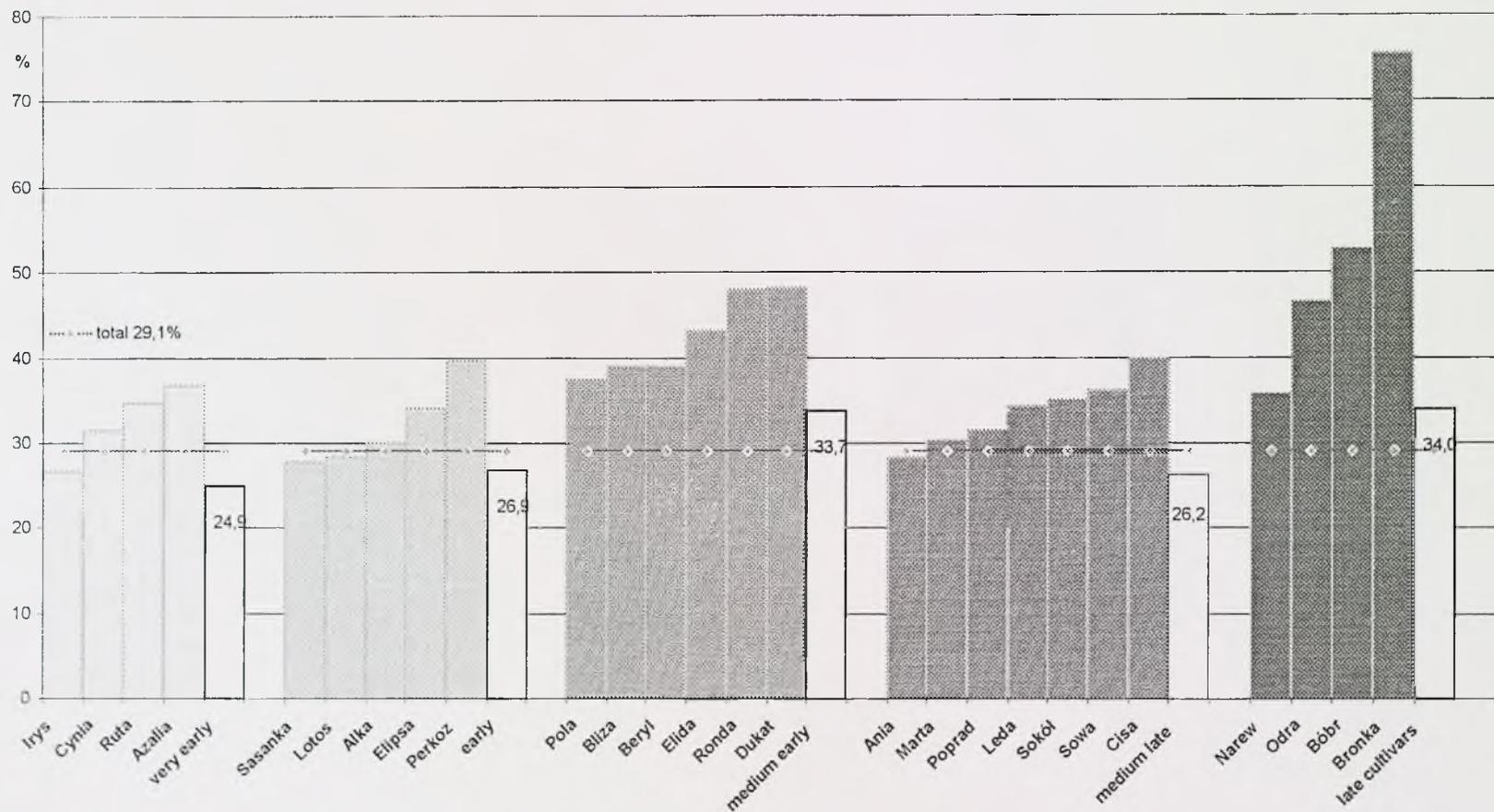


Fig. 5. Potato yield increase due to nitrogen fertilization, in %

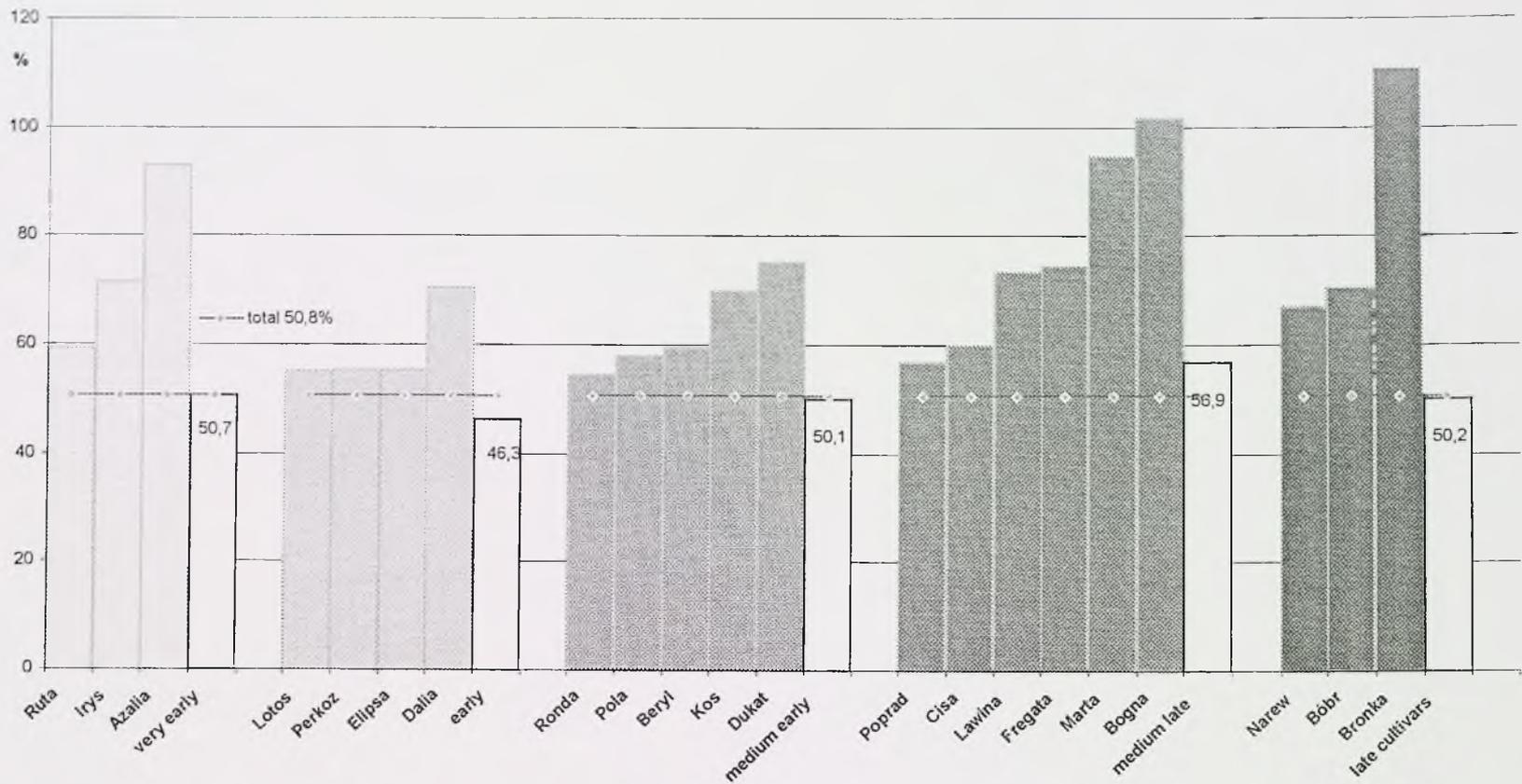


Fig. 6. Potato yield increase due to irrigation and nitrogen fertilization, in %

Fig. 7 shows the mean yield of all 48 studied cultivars dependent on irrigation, N fertilisation and combined action of the two measures in various year groups. The presented data indicate that the yields of potatoes grown on control treatments (manure fertilised) exhibited an increasing tendency with increasing precipitation total.

The applied irrigation gave highest yield increases in dry years (27.6%), the increments being progressively smaller with increasing soil water content.

N fertilisation induced largest yield increases in years of mean precipitation, in dry years the increase being smallest.

Sprinkling and N fertilisation combined caused largest yield increases in dry years, and smallest in wet years (Fig. 7).

Analysing the data on the mean yields of the early cultivar potatoes as dependent on the group of earliness and year category (Fig. 8), one can say that on control treatments (without sprinkling) the highest yields were given by medium early cultivars (21.3 t/ha), lower by medium late (20.3) and late (21.1), and the lowest by very early and early (16.6 t/ha). In the following characteristics, the yields of the two last cultivar groups have been discussed together owing to the same lifting time, i.e. 75 days after planting. It should be noted that early cultivars increased yields with increasing precipitation from 13.9 t/ha in dry years to 22.2 t/ha in wet years. This was not the case with medium early and late cultivars. Medium late cultivars showed a tendency to larger yields with increasing moisture (Fig. 8).

Irrigation affected most beneficially the yield of medium late cultivars (25.4 t/ha). The other groups of cultivars yielded weaker. Thus the yield of late cultivars was at the level of 23.8, medium early 23.3 and early 18.3 t/ha, the latter giving highest yields in medium wet years (20.3 t/ha). The remaining cultivar groups yielded best when irrigated in dry years.

Nitrogen fertilisation increased yield with increasing precipitation and length of cultivar vegetation. Thus the lowest yields were given by early cultivars (20.1 t/ha), higher by medium early (26.9) and medium late (27.4), and the highest by late (28.4 t/ha).

Simultaneous irrigation and fertilisation with mineral nitrogen had the best effect on development and yielding of potatoes. Due to these measures, best yields were obtained for medium late cultivars in dry years (41.8 t/ha). Detailed relations are illustrated in Fig. 8.

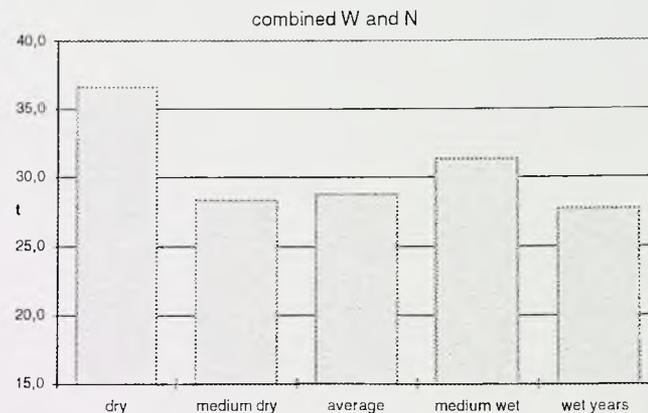
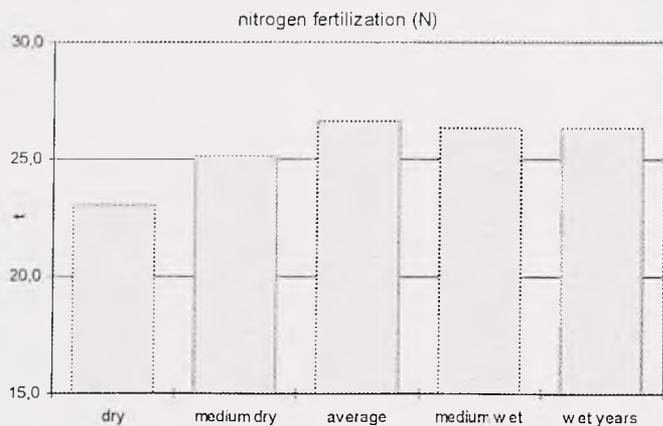
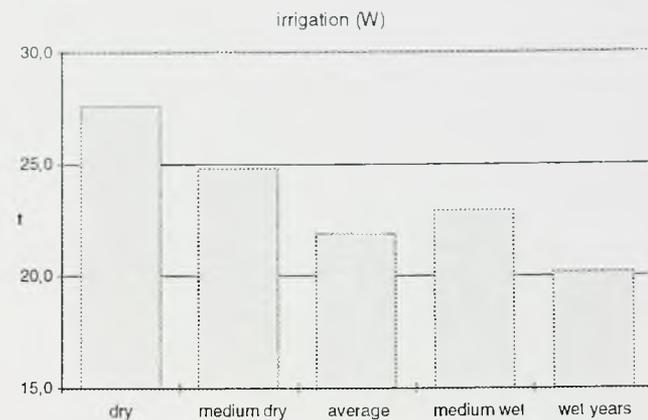


Fig. 7. Potato yield dependent on year category and treatments, in t/ha.

Irrigating potatoes in the Wrocław region

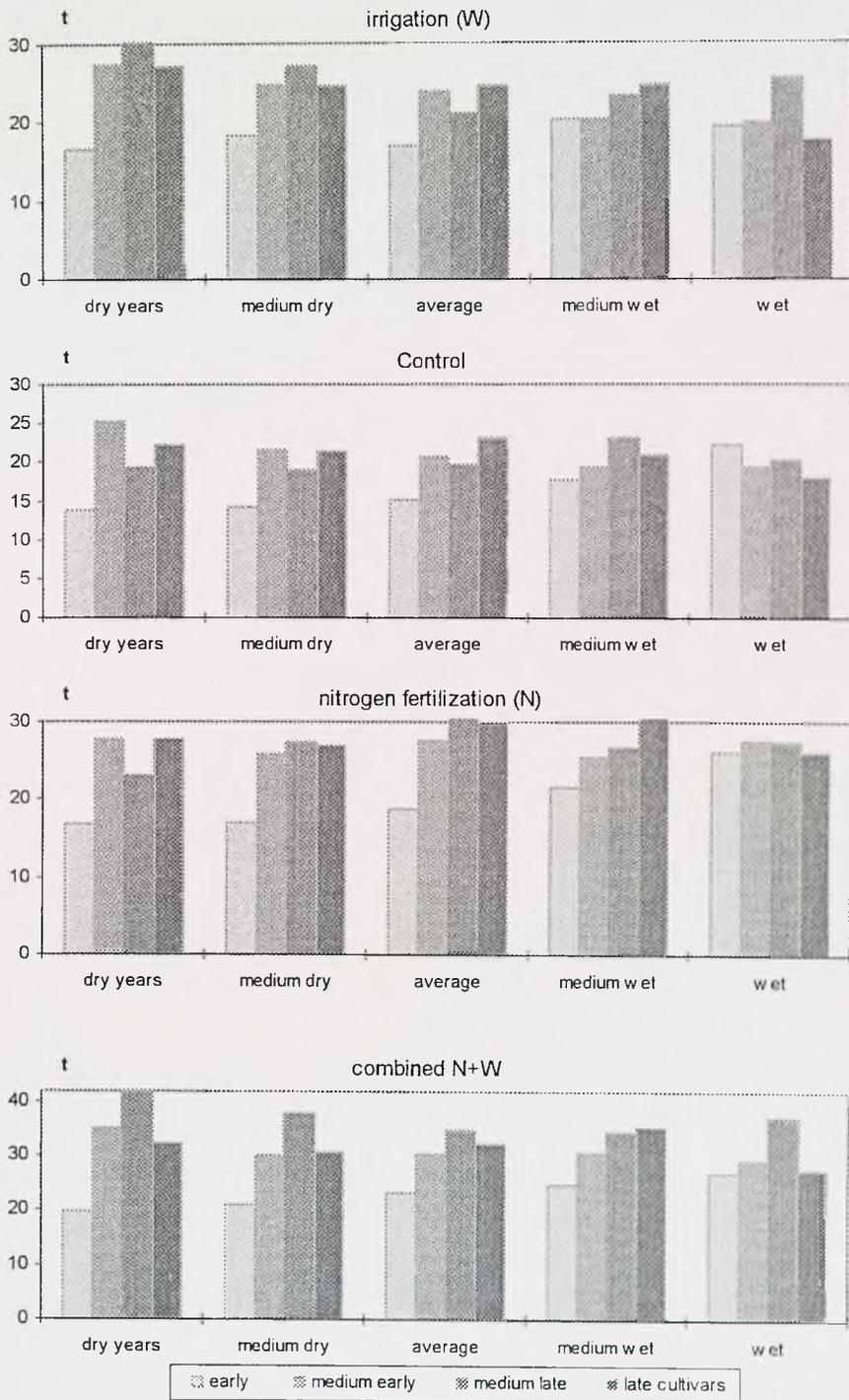


Fig. 8. Potato yield dependent on earliness group and year category, in t

CONCLUSIONS

1. Irrigation of different potato cultivars depended on the weather course, genetic potential (cultivar) and nitrogen fertilisation.
2. The greatest increases in yields due to sprinkling are obtained in dry years, this effect becoming smaller with increasing precipitation.
3. Comparison of yield from different cultivar groups shows that the largest increases in yield can be reached applying irrigation to medium late cultivars (Fig. 4).
4. In the respective groups of earliness the highest increases in yield due to irrigation were produced by the cultivars: Azalia, Alka, Beryl, Marta, Ceza and Bronka.
5. Nitrogen fertilisation increased yield, the highest increases being reached in year with mean precipitation (Fig. 7).
6. The highest yields and increases result from irrigation and nitrogen fertilisation combined in dry years. This is true especially for medium early and late cultivars.

REFERENCES

1. BRUŹDZIAK M., DZIEŻYC J., MILEWSKA J. 1980: Bibliography of Polish literature on plant water management and irrigation from 1945-1970 (PWN, Warszawa 1972) and from 1971-1975 (PWN Warszawa 1980) (in Polish)
2. CHMURA K. 1997: Production results in potato cropping under irrigation. *Fragm.Agronom. Bibliot.,t.3.(Conf.PTNA Rzeszów-Zalesie 15-16 Sept.:* „Optimalization of crop production under changing economic conditions”. (in Polish)
3. CHMURA K. 1997: Effects of sums and precipitation distribution during vegetation on potato yielding. *Zesz.Nauk.AR Wroc., Konf.XV, 313.* (in Polish)
4. DZIEŻYC H., PANEK K., ZMYŚLONY R. 1997: Effect of sun, temperature and precipitation, and their interaction, on yield of medium-early potatoes in Poland. *Zesz.Nauk.AR Wroc., Konf.XV, 313.* (in Polish)
5. DZIEŻYC J., BIESZCZAD S., DMOWSKI Z., DZIEŻYCOWA D., NOWAK L., PANEK K. 1980: Indices for yield decrease due to shortage and excess of

- precipitation in the Great Lowlands. *Zesz.Nauk.AR Wroc.*, 128, *Melior.XXIII.* (in Polish)
6. ROJEK S., CHMURA K. 1987: Production effectivity of potato sprinkling. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 326. (in Polish)
 7. ROJEK S., CHMURA K. 1995: Productivity of rainfall and sprinkling in potato cropping. *Zesz.Nauk.AR Wroc.*, *Konf.IX*, 267.(XII OSN "Technical and productive possibilities of utilising the agricultural environment in various regions of Poland"). (in Polish)
 8. ROJEK S., CHMURA K. 1996: Sprinkler irrigation and mineral fertilisation as factors in potato cropping. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 438. (in Polish)
 9. ROJEK S., CHMURA K., 1997: Productivity of rainfall and sprinkler irrigation in potato growing. *Conf.Israel*, 5-16 december 1997 "Water requirements and irrigation effects cultivated in arid and semiarid climates.
 10. ROJEK S., CHMURA K., 1997: Water needs and irrigation effects on fodder crops in Poland. *Conf.Israel*, 5-16 december 1997 "Water requirements and irrigation effects cultivated in arid and semiarid climates.
 11. ROJEK S., CHMURA K., DMOWSKI Z. 1987: Productivity of sprinkler irrigation in early potato cropping as dependent on the course of weather. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 314. (in Polish)
 12. ROJEK S., CHMURA K., DMOWSKI Z. 1993: Yielding of potatoes dependent on precipitation distribution in the Wrocław region. *Fragm Agron.*, I Kongres PTNA, 4(40). (in Polish)
 13. ROJEK S., DMOWSKI Z., CHMURA K. 1987: Productivity of water from sprinkler irrigation in cropping of late potatoes dependent on weather course. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 314. (in Polish)
 14. NOWAK L. 1992: Effect of rainfall and sprinkling on yielding of root crops under various habitat conditions. *Zesz.Nauk.AR Wroc. Rozpr.*, 106. (in Polish)
 15. COLLECTIVE WORKS: *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, nr 86, 88, 110, 140, 181, 199. (in Polish)
 16. ROZTROPOWICZ S. 1986: Water deficiency during potato vegetation in Poland. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 268. (in Polish)

17. ROZTROPOWICZ S. 1992: Productive consequences of decreasing outlays on potato agrotechnics. Part II. Consequences of faulty implementation of non-investment measures in potato agrotechnics. *Fragm. Agron.*, 3(35). (in Polish)
18. ROZTROPOWICZ S., GOC K. 1978: Reaction of 9 cultivars of potato to interventionist irrigation in August. *Mat. na XI Sesję Naukową Inst. Ziem.* (in Polish)
19. RZEKANOWSKI C., ŻARSKI J., ROLBIECKI J. 1997: Meteorological factors in root crops yielding on light soils. *Zesz. Nauk. AR Wroc., Konf. XV*, 313. (in Polish)

Streszczenie: *Nawadnianie ziemniaków w rejonie Wrocławia.* Badania przeprowadzono w latach 1974-1997 w Stacji Nawadniania Roślin w Samotworze k. Wrocławia, na glebie lekkiej, IVb klasy bonitacyjnej. Przebadano łącznie 48 odmian (7 z grupy bardzo wczesnych, 8 wczesnych, 11 średniowczesnych, 13 średniopóźnych i 9 późnych). Stwierdzono, że efekty deszczowania różnych odmian ziemniaka zależały od przebiegu pogody, potencjału genetycznego (odmiany) i nawożenia azotem. Najwyższe przyrosty na skutek deszczowania, uzyskiwano w lata o niskich opadach w miesiącach maj-sierpień. W lata o wyższych opadach zwyczajnie te były odpowiednio mniejsze. Najsilniej na nawadnianie reagowały ziemniaki z grupy odmian średniopóźnych (przeciętnie przyrost o 20%). Szczególnie wysokie przyrosty plonu stwierdzono w przypadku odmian: Bogna (14,4 t/ha), Marta (11,6), Fragata (11,1) i Lawina (10,5). Znacznie słabiej reagowały odmiany wczesne. Nawożenie azotem zwiększało plony najsilniej w lata o opadach przeciętnych. Jednoczesne zastosowanie w uprawie ziemniaka nawadniania i nawożenia azotem przynosiło z reguły dodatnie efekty niezależnie od kategorii lat i wczesności odmian

Autor's address:

Kazimierz Chmura, Rojek Stanisław

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław
50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24, Poland

Yielding of triticale in Lower Silesia related to soil, cultivar, years, and precipitation total and its distribution

Part I. Winter triticale

ZENOBIUSZ DMOWSKI, HALINA DZIEŻYC, LECH NOWAK

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University, Wrocław

Abstract: *Yielding of triticale in Lower Silesia related to soil, cultivar, years, and precipitation total and its distribution. Part I. Winter triticale* Based on a synthesis of agrotechnical experiments with winter triticale over 1983-96 at 6 locations in Lower Silesia, it was found that the factors studied modified the yield as follows: soil 25%, cultivar 29% and years 33%. The yield was positively correlated with precipitation total and the number of days with precipitation throughout the vegetation season except the brief time from vegetation start to shooting. Productivity of 1 mm precipitation was 3.6 kg grain, of 1 day with up to 5 mm precipitation - 21.5 kg grain and 1 day with any precipitation - 20.7 kg grain per ha and maximum and minimum number of days with precipitation ≤ 5 mm - 0.86 t grain per ha, and total number of days with precipitation- 0.97 t grain per ha.

Key words: winter triticale, soil, cultivar, precipitation total, precipitation distribution, Lower Silesia

INTRODUCTION

Triticale, the fifth corn officially allowed for cultivation in the 1984/85 season, has entered the national crop structure for good. It is distinct for its high yielding potential and great fodder value. Therefore, it competes well with other corns, especially on medium soils, and its cultivation is not demanding on less fertile soils. The recent advances with respect to triticale cultivation and varieties induced a dynamic increase in its cultivation area to about 700.000 ha in 1998. The list of triticale spring and winter cultivars is long, the investigations on its biology, fodder value and agrotechnical requirements - broad (Maćkowiak et al., 1993, Starczewski et al. 1993). In spite of intensive investigations, however, the knowledge about regional natural and agricultural

requirements, particularly regarding the level and distribution of precipitation, must be judged insufficient (Dmowski, 1998, Makowiecki and Mączka 1993). The objective of the present work was to determine the dependence of yielding of winter triticale on overall precipitation and its distribution for multiannual vegetation, and also on soil, cultivar and years in the Lower Silesia region.

MATERIALS AND METHODS

In the investigations were employed the results of cultivar experiments, conducted over 1983-96 in the following stations of cultivar valuation: Tomaszów, Lubinicko, Pokój, Grabik, Krościna Mała and Naroczyce. From those stations, aside of yields, were obtained also precipitation data. The effect of soil complex, cultivar and years was statistically elaborated using the variation analysis method. The vegetation time of winter triticale (the spring start of vegetation - wax maturity) was divided into three phases: phase 1 - spring start of vegetation until shooting, phase 2 - shooting till heading, phase 3 - heading till wax maturity. In each of the phases were considered the following parameters connected with precipitation: overall precipitation, number of days with precipitation lower or equal to 5 mm and total number of days with precipitation. The minimum, maximum and mean values were determined, as well as correlation coefficients with yield of each parameter studied and its significance. Based on the regression straight line, the productivity of 1 mm precipitation, of 1 day with precipitation ≤ 5 mm and 1 day with any precipitation were determined for each of the phases. The change in yield of winter triticale induced by each of the parameters studied was determined by calculating, on the basis of the regression straight, the difference between the yield for maximum and minimum of the respective parameter. This allowed to find out which of the parameters studied and in which phase significantly affect the yield. The same indices were determined for the whole vegetation period.

RESULTS

It is generally believed that the soil requirements of triticale are lower than those of wheat or barley and greater than those of rye. Triticale yielded significantly best on

wheat good and rye good complexes - over 7 t/ha (Tab.1). On other complexes the yield was lower: on wheat very good complex - by 6%, on wheat faulty and rye good - by 7% and on rye weak - by 26%. Thus the variation in yield of winter triticale due to soil quality amount to 26%. Aside of soil, strong effects exerted cultivars years. The investigations included 18 cultivars of winter triticale (Tab. 2). In Lower Silesia best yielded the Marko cultivar - 7.7 t/ha and the cultivars Alzo - 7.33 t/ha, Moreno - 7.18 t/ha, Bogo - 7.12 t/ha, Tewo - 7.06 t/ha. The yields of the other cultivars did not differ significantly from the above named except for Largo, which yielded lowest (5.25 t/ha). Maximum differences in yield of the respective cultivars of winter triticale reached 29%, so that this factor affected yielding more than soil conditions.

Table 1.

Effect of soil on yielding of winter triticale (Lowe Silesia)

No	Complex	Number of data	Yield		Significant differences between complexes
			t/ha	%	
1.	Wheat v. good (1)	100	6,78	94	1 → 6
2.	Wheat good (2)	109	7,19	100	2 → 4.6
3.	Wheat faulty (3)	77	6,68	93	5 → 4.6
4.	Rye v. good (4)	166	6,66	93	3 → 6
5.	Rye good (5)	149	7,17	100	
6.	Rye weak (6)	115	5,34	74	

The yield value depended also on weather conditions in the respective years, greater yield variation in yielding of winter triticale being caused by years than soils and cultivars. The effect of years on yielding of winter triticale was, however, smaller than on yielding of spring triticale due to the stronger and deeper root system, which enables the plants to take water from deeper levels when precipitation is not sufficient. The highest yields of winter triticale occurred in 1995 - 7.92 t/ha and without significant differences in 1990 - 7.63 t/ha and in 1991 - 7.28 t/ha (Tab. 3). In the remaining years the yields were significantly lower, especially in 1984 by 33%, 1987 - 30%, 1983 - 28%, 1986 - 27%, 1988 - 26% and 1996 - 24%. Yield variations throughout the years caused by weather amounted to 33%. Starczewski et al. (1993) in their studies on the variation and structure of winter triticale yield record a great effect of years.

Table 2.

Yielding of winter triticale cultivars in Lower Silesia

No	Cultivar	Number of data	Yield		Significant differences
			t/ha	%	
1.	Grado	40	5,84	79	10,12,14, 16,17→4
2.	Dagro	44	6,00	81	
3.	Bolero	46	6,02	82	
4.	Lagro	21	5,25	71	
5.	Malno	60	6,55	89	
6.	Ugo	57	6,56	89	
7.	Presto	57	6,72	91	
8.	Almo	53	6,42	87	
9.	Moniko	53	6,42	87	
10.	Tewo	42	7,06	96	
11.	Prego	42	6,70	91	
12.	Moreno	38	7,18	97	
13.	Vero	38	6,93	94	
14.	Bogo	34	7,12	96	
15.	Tornado	23	7,02	95	
16.	Marko	17	7,37	100	
17.	Alzo	17	7,33	99	
18.	Fidelio	11	6,57	89	

The precipitation conditions in cultivation of winter triticale were considered from the spring start of vegetation till wax maturity and in the following developmental periods: spring start of vegetation - shooting, shooting - heading, heading - wax maturity (Tab. 4). Precipitation total in Lower Silesia in 1983-96 in the period spring start of vegetation - wax maturity varied from 103 to 315 mm. The mean precipitation was 218 mm. The correlation coefficient between yield and precipitation was positive in that period (significant). Analysing yields of winter triticale with respect to precipitation in the respective growth periods we found a negative correlation for the phase spring vegetation start - shooting, and a positive correlation for the two consecutive phases (shooting - heading, heading - wax maturity).

Apparently, in spring winter triticale until shooting has a sufficient amount of water in the soil form after-winter precipitation, and the spring precipitation at that time exerts a negative effect since they can bring about a lowering of soil and air temperature. The highest correlation between yield and precipitation occurred during the very intensive growth in the shooting-heading phase. Koziara (1996) also obtained for that phase the highest correlation between yield and precipitation, conducting investigations with triticale over 1987-93 in the Poznań region.

Table 3.

Yielding of winter triticale in the years 1983-96 (Low Silesia)

No	Year of investigation	Number of data	Yield		Significant differences
			t/ha	%	
1.	1983	12	5,67	72	13 → 1,2,3,4,5,6, 10,11,12,14
2.	1984	15	5,34	67	
3.	1985	18	6,07	77	
4.	1986	32	5,78	73	
5.	1987	50	5,55	70	
6.	1988	60	5,83	74	
7.	1989	44	6,98	88	
8.	1990	52	7,63	96	
9.	1991	78	7,28	92	
10.	1992	60	5,89	74	
11.	1993	72	6,57	83	
12.	1994	92	6,68	84	
13.	1995	70	7,92	100	
14.	1996	70	6,01	76	

The correlation was also calculated for yield and days with precipitation equal or lower than 5 mm, and with the total number of days with precipitation for the above mentioned phases of triticale development. The obtained correlation coefficient for days with precipitation ≤ 5 mm and total number of days with precipitation were significant and in general higher than for yield and precipitation total. Only for the time since vegetation start till shooting the correlation coefficients were lower than for the yield-precipitation total correlation.

Table 4

Precipitation conditions in cultivation of winter triticale in Lower Silesia and their correlation with yield

Develop. Phase ^{*)}	Parameters studied	Min. value	Max. value	Average	Correlation coefficient with yield	Productivity 1 mm/1 day with precipitation in t	Difference in yield for max and min parameter [t]
1	precipitation total [mm]	3	133	46	-0,1345^{**)}	-0,0068	-0,88
	number of days with precipitation <= 5 mm	2	28	12	-0,050	-0,0123	-0,32
	total number of days with precipitation	3	35	15	-0,0742	-0,0147	-0,47
2	precipitation total [mm]	7	121	49	0,1631	0,0097	1,11
	number of days with precipitation <= 5 mm	2	23	9	0,2008	0,0620	1,30
	total number of days with precipitation	3	29	12	0,1938	0,0505	1,31
3	precipitation total [mm]	45	264	123	0,0989	0,0035	0,77
	number of days with precipitation <= 5 mm	6	35	18	0,1221	0,0335	0,97
	total number of days with precipitation	10	43	25	0,1542	0,0369	1,22
Whole period	precipitation total [mm]	103	315	218	0,1005	0,0036	0,70
	number of days with precipitation <= 5 mm	23	63	40	0,1383	0,0215	0,86
	total number of days with precipitation	35	82	54	0,1451	0,0207	0,97

*) Phase 1 - spring start of vegetation - shooting

Phase 2 - shooting - heading

Phase 3 - heading - wax maturity

Whole period - spring start of vegetation - wax maturity

**) Bold face denotes correlation coefficients significant at 0.05 level, and the corresponding productivity and yield difference

An important problem for winter triticale water economy has been the determination of productivity of 1 mm precipitation, of 1 day with precipitation lower or equal to 5 mm and 1 day with any precipitation, since there are no such data in the literature.

Based on the regression straight line, the above mentioned indices were calculated in kg of grain yield per ha. Productivity of 1 mm precipitation since the spring start of vegetation till shooting was negative and equal to - 6.8 kg grain, since precipitation in that time lowered yielding. It was positive in the remaining periods. The highest productivity of 9.7 kg grain per 1 mm precipitation took place in the shooting-heading phase, and then decreased to 3.5 kg grain in the heading- wax maturity phase. However, for the whole vegetation season, i.e. since the spring vegetation start till wax maturity, it 3.6 kg grain per 1 mm precipitation.

Productivity of 1 day with precipitation lower or equal 5 mm and 1 day with any precipitation, since vegetation start till shooting was negative and equal 12.3 and 14.7 kg grain, respectively, per each day with precipitation in that period. In the subsequent periods it was positive; in the shooting-heading phase being 62.0 and 50.5 kg grain and in the heading-wax maturity phase 33.5 and 36.9 kg grain. Instead, in the whole vegetation season productivity of day with precipitation was 21.5 and 20.7 kg grain. In the investigations were also determined the differences in yielding between minimum and maximum precipitation, between minimum and maximum number of days with precipitation lower or equal to 5 mm and the total number of days with precipitation in the respective phases and in the whole spring vegetation. The results obtained are as follows: in the whole period (spring start of vegetation - wax maturity) the difference in yielding caused by precipitation was 0.7 t grain per ha, number of days with precipitation ≤ 5 mm - 0.86 t grain per ha and total number of days with precipitation 0.97 t grain per ha. In the respective developmental phases of triticale the differences were very high. In the first period since vegetation start to shooting all the precipitation parameters affected the yield negatively, namely the precipitation total differentiated yield by 0.88 t, the number of days with precipitation ≤ 5 mm by 0.47 t and the number of days with any precipitation by 0.47 t per ha. In the following phases the effect was positive. The greatest differences occurred in the shooting - heading phase, being then 1.1 t grain per ha for minimum and maximum precipitation, 1.3 t grain per ha for the

number of days with precipitation ≤ 5 mm and 1.31 t/ha for the total number of days with precipitation.

CONCLUSIONS

On the basis of the synthesis of agrotechnical experiments with winter triticale over the years 1983-96 in Lower Silesia, the following conclusions can be formulated:

1. In the 14 years studied, a great variation in winter triticale yielding occurred due to soil ca. 26%, cultivar ca. 29%, and weather over the years ca. 33%.
2. The yields of winter triticale were positively correlated to precipitation, the number of days with precipitation lower or equal to 5 mm and the total number of days in the whole period of spring-summer vegetation, and in the phases shooting-heading and heading-wax maturity.
3. During spring-summer vegetation of winter triticale the productivity of 1 mm precipitation, 1 day with precipitation lower or equal 5 mm and 1 day with any precipitation was: 3.6, 21.5 kg and 20.7 kg grain, respectively.
4. During spring-summer vegetation of winter triticale the difference in yield due to minimum and maximum precipitation was 0.7 t grain per ha and the minimum and maximum number of days with precipitation lower or equal to 5 mm was 0.86 t grain per ha and total number of days with precipitation - 0.97 t grain per ha.

REFERENCES

1. DMOWSKI Z. 1998: Report on the realisation of investigation project No 5P06B00411/96 entitled: The effect of soil, cultivation region and agrotechnics on yielding of triticale - a synthesis of country-wide investigations. Department of Environmental Effects of Agriculture. Agricultural University of Wrocław.
2. KOZIARA W. 1996: Growth, development and yielding of spring and winter triticale, dependent on meteorological and agrotechnical factors. *Rozprawy naukowe*. 265. Poznań Agricultural University.

3. MAĆKOWIAK W., PAIZERT K., MAZURKIEWICZ L., WOŚ H. 1993: Achievements of problems of triticale cultivation in Poland. *Biuletyn IHAR* No 187, 141-146.
4. MAKOWIECKI J., MACZKA T., 1993: Conditions for high yields of winter triticale on wheat-rye soils in Sielsia. *Fragm. Agron.* No 4, 57-58.
5. STARCZEWSKI J., BOBIK A., KŁYS D., TRĘTOWSKI J. 1993: Variation of winter triticale yield and its structure induced by some agrotechnical and environmental factors. *Fragm. Agron.* No 4, 49-50.
6. WOLSKI T., BANASZAK Z. 1994: Characteristics of triticale cultivars bred in plant breeding station at Dańko. *Zesz. Nauk Agricultural University in Szczecin.* 162, 273-275.

Streszczenie: *Plonowanie pszenżyta na Dolnym Śląsku w zależności od gleby, odmiany i lat oraz od sumy i rozkładu opadów. Cz.I. Pszenżyto ozime.* Na podstawie syntezy doświadczeń agrotechnicznych z pszenżytem ozimym opracowano zależność plonowania od odmiany, gleby, lat oraz od sumy i rozkładu opadów w okresie od wiosennego początku wegetacji do dojrzałości woskowej. Badania dotyczą lat 1983-1996 w 6 miejscowościach Dolnego Śląska. Uwzględniono 18 odmian na kompleksach od pszennego bardzo dobrego do kompleksu żytniego słabego. W badanych 14 latach wystąpiło duże zróżnicowanie plonowania pszenżyta ozimego powodowane glebą – około 26%, odmianą - około 29% i rozkładem opadów – około 33%. Plony pszenżyta ozimego były dodatnio skorelowane z ilością opadów w całym okresie wegetacji oraz ilością opadów w fazach strzelanie w źdźbło - kłoszenie i kłoszenie - dojrzałość woskowa. Opady w okresie od początku wiosennej wegetacji do fazy strzelania w źdźbło ujemnie korelowały z plonem, czego powodem może być wystarczająca ilość wody pozimowej. Liczba dni z opadem ≤ 5 mm i liczba dni z opadem niezależnie od jego wysokości w całym okresie wiosenno-letniej wegetacji dodatnio wpływała na plon, podobnie jak w fazach strzelanie w źdźbło - kłoszenie i kłoszenie - dojrzałość woskowa. Stwierdzono natomiast ujemny wpływ na plon liczby dni z opadem ≤ 5 mm i liczba dni z opadem niezależnie od jego wysokości w fazie od wiosennego początku wegetacji do strzelania w źdźbło. Produktywność 1 mm opadów oraz 1 dnia z opadem ≤ 5 mm i opadem niezależnie od jego wysokości od początku wegetacji do fazy strzelania w źdźbło była ujemna – opady w tym okresie obniżały plonowanie. W pozostałych okresach była dodatnia. W całym okresie wegetacyjnym produktywność wynosiła 3,6 kg ziarna na 1 mm opadów, 21,5 kg ziarna na jeden dzień opadów ≤ 5 mm i 20,7 kg ziarna na jeden dzień opadów niezależnie od wysokości. Różnice plonowania pomiędzy minimalnymi a maksymalnymi opadami w okresie wiosennoletniej wegetacji pszenżyta ozimego wynosiły 0,7 t ziarna z ha, a plonowania przy minimalnej i maksymalnej liczbie dni z opadem ≤ 5 mm - 0,86 t ziarna z ha. W przypadku liczby dni z opadem niezależnie od jego wysokości różnica plonowania wynosiła 0,97 t ziarna z ha.

Authors' address:

Zenobiusz Dmowski, Halina Dzieżyc, Lech Nowak
 Department of Environmental Effects of Agriculture,
 Agricultural University in Wrocław
 50-363 Wrocław, plac Grunwaldzki 24, Poland.

Yielding of triticale in Lower Silesia related to soil, cultivar, years, and precipitation total and its distribution

Part II. Spring triticale

ZENOBIUSZ DMOWSKI, HALINA DZIEŻYC, LECH NOWAK

Department of Environmental Effects of Agriculture. Agricultural University, Wrocław

Abstract: *Yielding of triticale in Lower Silesia related to soil, cultivar, years, and precipitation total and its distribution. Part II. Spring triticale.* Based on a synthesis of agrotechnical experiments with spring triticale over the years 1983-96 at 6 locations in Lower Silesia, it was found that the factors studied modified the yield as follows: cultivar 3%, soil 27% and years 46%. The yield of triticale was positively correlated with precipitation total, the number of days with precipitation smaller or equal to 5 mm and the total number of days with any precipitation from sowing to wax maturity, and also in the phases: propagation - shooting and heading - wax maturity. Productivity of 1 mm precipitation in the period since sowing till wax maturity was 8.6 kg grain, whereas productivity in that period of 1 day with precipitation ≤ 5 mm was 49.0 kg grain and 1 day with any precipitation 54.7 kg grain. Differences in yield due to maximum and minimum precipitation in the whole vegetation season amounted to 2.62 t grain per ha, and minimum and maximum number of days with precipitation ≤ 5 mm 1.81 t grain per ha, and the total number of days with precipitation 2.57 t grain per ha.

Key words: spring triticale, soil, cultivar, precipitation total, precipitation distribution, Lower Silesia

INTRODUCTION

Though spring triticale has not been in cultivation for long, it counts, however, in the production of fodder cereals in Poland. The first Polish cultivar Jago was registered in 1987. In the following year Maja joined cultivation, and in 1991 Gabo - a cultivar of lower straw, whereas in 1994 Migo. According to investigations (Dmowski, 1998), the cultivars registered under middle conditions yielded higher than spring corns or at similar level. Those cultivars are better adapted to cultivation under worse soil conditions and are more resistant to acidic soil than barley and spring wheat. Corn grain

yields remain, however, closely related to soil quality (Dmowski, 1998, Maćkowiak et al. 1993) and environmental factors, among which of high importance is the amount of precipitation, especially on lighter soils (Koziaara, 1996, Rudnicki and Kotwica, 1993, Rudnicki et al., 1997). Of no lesser importance than the precipitation total is their distribution throughout the vegetation season (Koziaara, 1996, Rudnicki et al., 1997).

The objective of the investigations was to determine the dependence of spring triticale yield in Lower Silesia on soil, cultivar, years as well as precipitation total and their distribution.

MATERIALS AND METHODS

Based on the results of cultivar experiments with spring triticale and precipitation data from the years 1987-96, obtained from the following experimental stations of cultivar valuation in Lower Silesia: Tomaszów, Lubnicko, Pokój, Grabik, Kroęcina Mała and Naroczycze, the dependence was determined of yield on soil, cultivar, years as well as precipitation total and their distribution. The method of study was given in Part I.

RESULTS

In spite of the large tolerance for changing soil conditions, spring triticale reacted clearly to soil condition with yield level (Tab. 1). The highest yields were obtained on a wheat good complex - 5.45 t/ha. On the other complexes the yield was lower: on a rye very good complex by 3%, and on rye good (markedly weaker) by 10%. Spring triticale yielded lowest on a rye weak complex, as much as 27% compared with winter triticale, and yield variation due to soil quality were similar.

In the investigations 4 cultivars of spring triticale were considered: Jago, Maja, Migo and Wanad (Tab. 2). The spring triticale cultivars registered in Poland are competitive with other corns grown on light soils, owing to its tolerance to soil acidification, fungal diseases as well as yield reliability and high protein content (Maćkowiak et al., 1993).

Mean yields for the respective cultivars were from 4.78 to 4.95 t/ha, while the difference between the lowest yielding cultivar Maja and the highest Jago and Wanad was barely 3%, which may be viewed as a very equitable yielding in Lower Silesia.

Yield variations of spring triticale over the years were by far greater than those of winter triticale (Part I). Spring corns make less use of the after-winter water reserves. They develop a less deep root system, with yield depending mostly on precipitation course during vegetation season. Over the years 1987-96 in Lower Silesia the highest yields of spring triticale in investigations occurred in 1991 - on average over 6 t grain per ha, whereas the lowest (by 46% lower) were obtained in 1992. Surely, the difference in yielding of spring triticale in those years was most of all due to precipitation distribution, and to a lesser degree to precipitation total. Namely, in 1991 when the highest yields were obtained, since sowing to wax maturity of triticale the average precipitation total from 6 localities was 213 mm and was not the highest for the years investigated. While the precipitation distribution expressed in days with precipitation lower or equal to 5 mm and the number of days with any precipitation was the highest and equal to 43 and 55 days, respectively.

Table 1

Effect of soil on yielding of spring triticale (Lower Silesia)

No	Complex	Number of data	Yield		Significant differences between complexes
			t/ha	%	
1	Wheat good (2)	30	5,45	100,0	2,4,5 → 6
2	Rye v. good (4)	43	5,28	97	
3	Rye good (5)	53	4,89	90	
4	Rye weak (6)	41	3,97	73	

The lowest yields took place in 1992. The precipitation total then registered was barely 102 mm and was the lowest of all the years investigated, the smallest number of days with precipitation being registered then also. During triticale vegetation only 34 days with precipitation occurred, including 28 days with precipitation lower or equal to 5 mm. In the remaining years investigated the differences in yielding were lower, being from 6 to 35%.

The yields differed significantly in some years only; namely, 1992 yields were significantly different from those of 1988, 1994, 1995 and 1996.

Table 2

Yield of spring triticale cultivars in Lower Silesia

No	Cultivar	Number of data	Yield		Significant differences
			t/ha	%	
1	Jago	39	4,95	100	No significant differences
2	Maja	51	4,78	97	
3	Migo	42	4,89	99	
4	Wanad	28	4,93	100	

The precipitation conditions in the cultivation of spring triticale were considered from sowing to wax maturity and in the respective developmental phases; namely, sowing-propagation, propagation-shooting, shooting- heading and heading- wax maturity (Tab. 4).

The precipitation total in 1987-96 in Lower Silesia for the period since sowing till wax maturity of spring triticale varied from 38 to 343 mm, the mean for the multiannual period being 207 mm. The positive and significant correlation coefficients between yield and precipitation were found only in the phases: propagation- shooting and heading- wax maturity as well as for the whole spring triticale vegetation. A greater correlation between precipitation total with yield was obtained for the whole vegetation period (sowing- wax maturity)then for single developmental phases. A similar relationship was obtained by Koziara (1996) analysing spring triticale yielding versus precipitation in the region of Paznań. Rudnicki and Kotwica (1993) report also high correlation coefficients for spring triticale yield and precipitation total.

An analysis of the correlation between yield and precipitation distribution gives significantly positive correlation coefficients between the number of days with precipitation lower or equal to 5 mm and the total number of days with precipitation and grain yield in the same developmental phases in which a dependence on precipitation total was found. It should be noted here that normally in the literature precipitation distribution is meant to be as precipitation total in the respective developmental phases (Koziara, 1996) or months of vegetation (Rudnicki et al., 1997).

Triticale reacted negatively to precipitation total and number of days with precipitation only in the first period from sowing to propagation, although the coefficients obtained

were not significant. An important problem of spring triticale water relation was the determination of productivity of 1 mm precipitation, 1 day with precipitation lower or equal to 5 mm and 1 day with any precipitation. Those coefficient were calculated on the basis of the regression straight line and presented in kg grain yield per unit of factor (mm, day).

Table 3

Yielding of spring triticale over the years 1987-96 (Lower Silesia)

No	Years investigated	Number of data	Yield		Significant differences
			t/ha	%	
1.	1987	10	5,65	93	5 → 2,6,8, 9,10
2.	1988	15	4,44	73	
3.	1989	15	4,96	82	
4.	1990	12	5,72	94	
5.	1991	20	6,07	100	
6.	1992	16	3,25	54	
7.	1993	20	5,41	89	
8.	1994	20	3,92	65	
9.	1995	20	4,72	78	
10.	1996	16	4,51	74	

The productivity of 1 mm precipitation for the period since sowing till wax maturity of triticale was 8.6 kg grain, in the phase since heading till wax maturity 6.3 kg grain and since propagation till shooting 13.3 kg grain.

In the same developmental phases of triticale the productivity of 1 day with precipitation lower or equal to 5 mm was 49, 45 and 186.6 kg grain, respectively, and of 1 day with any precipitation 54.7, 44.3 and 119 kg grain.

It was also calculated the difference in yield for maximum and minimum value of precipitation total in the whole vegetation period and in the respective developmental phases as well as maximum and minimum number of days with precipitation lower or equal to 5 mm and general number of days with precipitation.

CONCLUSIONS

On the basis of a synthesis of agrotechnical experiments with spring triticale over the years 1987-96 in Lower Silesia, the following conclusions observations can be registered:

1. For the 10-year investigation of spring triticale it was found that yield variations were due to cultivar by 3%, soil by 27% and weather course by 46%.
2. The yields of spring triticale were positively correlated with precipitation total, number of days with precipitation lower or equal to 5 mm, as well as with the number of days with precipitation in the period since sowing till wax maturity and in the phases: propagation-shooting and heading- wax maturity.
3. The productivity of 1 mm precipitation in the period since sowing till wax maturity was 8.6 kg grain, whereas productivity of 1 day with precipitation lower or equal to 5 mm and 1 day with any precipitation was 49.0 kg and 54.7 kg grain per day, respectively.
4. The differences in yielding caused by the minimum and maximum precipitation in the period since sowing till wax maturity of triticale was 2.6 t grain per ha, and in the case of the number of days with any precipitation the differences amounted to 1.81 and 2.57 t grain per ha, respectively.
5. The level of spring triticale yield was markedly more dependent on precipitation total and their distribution in the multiannual vegetation than the yield of winter triticale, since the productivity of precipitation and day with precipitation is few time higher in the case of spring triticale; namely, 1 mm precipitation by 2.4 times, 1 day with precipitation ≤ 5 mm by 2.3 times and 1 day with any precipitation by 2.6 times higher than that of winter triticale (based on comparison of Part I and II of the paper).

Table 4

Precipitation conditions in spring triticale cultivation in Lower Silesia and their correlation with yield

Devel opm. phase ^{*)}	Parameters studied	Min. value	Max. value	Average	Correlation coefficient with yield	Productivity 1 mm/1 day with preci- pitation in t	Difference in yield for max and min parameter [t]
1	precipitation total [mm]	3	82	35	-0,0645	-0,0043	-0,33
	number of days with precipitation <= 5 mm	2	16	8	-0,0031	-0,0011	-0,02
	total number of days with precipitation	3	19	10	-0,0429	-0,0137	-0,22
2	precipitation total [mm]	0	154	35	0,2351	0,0133	2,05
	number of days with precipitation <= 5 mm	0	13	5	0,3737	0,1866	2,43
	total number of days with precipitation	1	19	7	0,3313	0,1190	2,14
3	precipitation total [mm]	0	121	35	0,0072	0,0004	0,05
	number of days with precipitation <= 5 mm	0	19	6	0,3737	0,0473	0,90
	total number of days with precipitation	0	22	8	0,0825	0,0246	0,54
4	precipitation total [mm]	7	277	102	0,2616	0,0063	1,70
	number of days with precipitation <= 5 mm	4	28	14	0,1749	0,0450	1,08
	total number of days with precipitation	5	38	20	0,2398	0,0443	1,46
Whole period	precipitation total [mm]	38	343	207	0,3477	0,0086	2,62
	number of days with precipitation <= 5 mm	18	55	33	0,2961	0,0490	1,81
	total number of days with precipitation	21	68	46	0,3596	0,0547	2,57

*) Phase 1: sowing-propagation.

phase 2: propagation-shooting.

phase 3: shooting-heading.

phase 4: heading- wax maturity

Whole period: sowing- wax maturity

**) bold face for coefficients significant at 0.05. and the respective productivity and yield difference

REFERENCES

1. DMOWSKI Z. 1998: Report on the realisation of investigation project No 5P06B00411/96 entitled: The effect of soil, cultivation region and agrotechnics on yielding of triticale - a synthesis of country-wide investigations. Department of Environmental Effects of Agriculture. Agricultural University of Wrocław.
2. KOZIARA W. 1996: Growth, development and yielding of spring and winter triticale, dependent on meteorological and agrotechnical factors. *Rozprawy naukowe*. 265. Poznań Agricultural University.
3. MAĆKOWIAK W., PAIZERT K., MAZURKIEWICZ L., WOŚ H. 1993: Achievements of problems of triticale cultivation in Poland. *Biuletyn IHAR* No 187, 141-146.
4. RUDNICKI F., KOTWICKA K. 1993: Reaction of spring triticale to sowing density and precipitation number. *Fragmenta Agronomica* No 1 p. 22-30.
5. RUDNICKI F., DARIUSZ J., KOTWICKA K. 1997: Yield of spring triticale as dependent on sowing density and precipitation number. *Zeszyty Naukowe Szczecin Agricultural University*, p. 175, 379-385.

Streszczenie: *Plonowanie pszenżyta na Dolnym Śląsku w zależności od gleby, odmiany i lat oraz od sumy i rozkładu opadów. Cz. II Pszenżyto jare.* Na podstawie syntezy doświadczeń agrotechnicznych z pszenżytem jarym opracowano zależności plonowania od odmiany, gleby, lat oraz od sumy i rozkładu opadów w okresie od siewu do dojrzałości woskowej.

W badaniach uwzględniono odmiany: Jago, Maja, Migo i Gabo na kompleksach: pszenny dobry, żytni bardzo dobry, żytni dobry i żytni słaby. Uzyskane wyniki wskazują na zróżnicowane plonowanie pszenżyta jarego powodowane odmiana w około 3%, gleba w około 27% i przebiegiem pogody w latach w 46%. Stwierdzono dodatnie korelacje plonu z sumą opadów i liczbą dni z opadem od siewu do dojrzałość woskowej oraz w fazach krzewienie – strzelanie w źdźbło i kłoszenie – dojrzałość woskowa. Pszenżyto tylko w pierwszym okresie od siewu do krzewienia reagowało ujemnie na sumę opadów i liczbę dni z opadami, chociaż uzyskane współczynniki były nieistotne. Produktyność 1 mm opadu od siewu do dojrzałości woskowej wynosiła 8,6 kg ziarna, 1 dnia z opadem ≤ 5 mm 49,0 kg ziarna i 1 dnia z opadem niezależnie od wysokości 54,7 kg ziarna. Różnice plonowania powodowane minimalnym i maksymalnym opadem, liczbą dni z opadem ≤ 5 mm i ogólną liczbą dni z opadem w okresie siew-dojrzałość woskowa pszenżyta jarego wynosiła odpowiednio: 2,60, 1,81, 2,57 tony ziarna z ha.

Authors' address:

Zenobiusz Dmowski, Halina Dzieżyc, Lech Nowak

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław
50-363 Wrocław, Plac Grunwaldzki 24, Poland

Effect of sprinkling medium-early cultivar potatoes in Wrocław region dependent on precipitation

LECH NOWAK

Department of Environmental Effects of Agriculture, Wrocław Agricultural University

Abstract: *Effect of sprinkling medium-early cultivar potatoes in Wrocław region dependent on precipitation* The work makes use of exact field experiments with sprinkling medium-early cultivar potatoes, conducted over the years 1974-98 in RZD Swojec and Samotwór by Wrocław, on a soil of good rye complex. The effects of sprinkling were calculated with allowance for the amount of precipitation, in the period of maximum water demands of potato, i.e., from flowering start to potatoes stalks drying. On treatments that were not sprinkled potato yielded best (29.7 t/ha) with precipitation of 117-167 mm (average years). A much greater decrease in yields, relative to mean ones, was observed in dry years than in wet ones. The mean increase in yield for the years caused by sprinkling was 7.7 t/ha, i.e. 29%; and varied from 1.7 t/ha in wet years to 14.8 t/ha in dry years. Productivity of 1 mm sprinkled water increased with increasing seasonal norm of sprinkling, and varied from 47.7 kg bulbs in wet years to 105.4 kg in dry years.

Key words: medium-early potatoes, yield, sprinkling, productivity

INTRODUCTION

From experiments conducted up to date, it follows that sprinkling of medium-early potatoes has, as a rule, positive effects. But the increase in yield is clearly differentiated, and depends on climatic region, type of soil, level of mineral fertilisation, weather course, and most of all on the amount and distribution of precipitation [1,2,3,4,5,6].

The aim of the work was to evaluate the effect of sprinkling medium-early potatoes, grown in the Wrocław region on the soil of a good rye complex, in years of differentiated precipitation.

CONDITIONS, METHODS AND SCOPE OF INVESTIGATION

In the present paper have been used the results of exact field investigations with sprinkling medium-early potatoes, done in 1974-98 and published in the consecutive numbers of *Zeszyty Problemowych Postępów Nauk Rolniczych* and *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej*.

The field investigations were conducted in RZD Samotwór and RZD Swojec by Wrocław, on pseudo-podzolic soil, formed of strongly loamy sand on gravel, belonging to good rye complex, of IV b evaluation class. The following doses of mineral fertilisers were applied in the experiments: N 130-160 kg/ha, P₂O₅ 70-80 kg/ha and K₂O 140-160 kg/ha. The manure dose was 30 t/ha. The potatoes were sprinkled in the period since flowering till the start of stalks drying. A drop in soil moisture below 75 fwc signalled the start of sprinkling. A single dose of water was 20 mm.

Using the method of step-by-step analysis of regression, was determined the relation between the yield of medium-early potatoes and precipitation total in the periods: emergence-flowering, flowering- stalks drying. In the starting model of the analysis were considered linear and square terms as well as precipitation interactions in the periods. The model obtained was studied in the variation interval 50-125 mm for the phase emergence - flowering and 75-200 mm for the phase flowering - stalks drying, which roughly corresponded to the intervals: mean sum of precipitation in the phases ± standard deviation.

Employing an analogous method, as the above described, a model of yield growth due to sprinkling under various precipitation conditions for the phases emergence-flowering and flowering- stalks drying, was also created. The model was analysed in the variation intervals described above. From the analysis it follows that the yields of potatoes were considerably more affected by precipitation occurring when water demands were greatest, i.e. since the beginning of April till stalks drying. On the basis of precipitation totals in the consecutive years, wet, medium-wet, mean, medium-dry and dry years were distinguished, and for those years the effects of sprinkling and productivity of 1 mm sprinkled water were calculated.

RESULTS OF THE INVESTIGATIONS

The bulb yields of medium-early potatoes as dependent on precipitation in the periods emergence - flowering and flowering - stalks drying are shown in Fig. 1. From the analysis of the model it follows that the yield is significantly affected by precipitation in the phase flowering- stalks drying. In the interval investigated (75-200 mm) it changes the yield by about 6 to 9 t/ha (depending on precipitation during emergence-flowering), the optimum value being within the range 150-170 mm, while the least favourable is at the beginning of the range studied, i.e. for 75 mm. Precipitation in the emergence-flowering phase modify the yield only slightly and dependent on precipitation conditions in the next phase the difference in yield is from 1 to 3 t/ha.

$$z=7,86+0,2748*x-0,000968*x^2-0,000464*y^2+0,000512*x*y$$

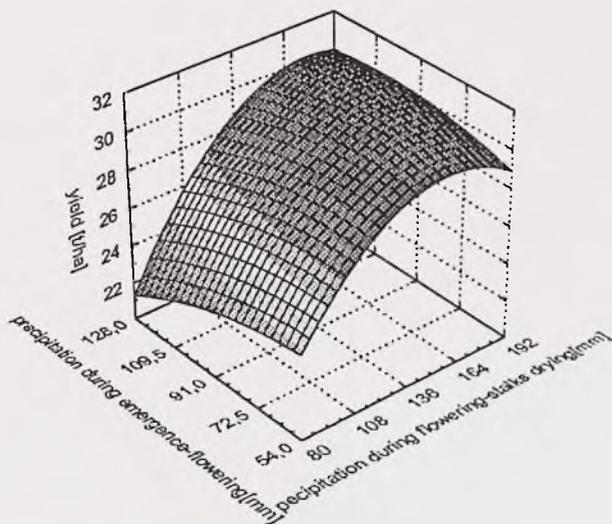


Fig. 1 Yield of medium-early potatoes as dependent on precipitation in the period emergence-flowering and flowering-stalks drying

The effect of sprinkling medium-early potatoes is shown in Table 1. The bulb yields in the multiple-year period were 26.63 t/ha. The highest yields (29.66 t/ha) were obtained in mean years, where the precipitation in the period flowering - stalks drying were within the range 117-161 mm. In wet years (precipitation over 208 mm) the bulb yield was lower by 10.1 % and by 27.3% in dry years. The mean yields for multiple-year period from sprinkled treatments amounted to 34.37 t/ha and were by 29.1% higher than those from control treatments. The increase in yield due to sprinkling depended on

precipitation in the period flowering-stalks drying. Sprinkling of potatoes resulted in greatest effects in dry years, where the increase in yield induced by sprinkling was 14.75 t/ha.

Table 1

Effects of sprinkling medium-early potatoes

Type of years	Precipitation in flowering – stalks drying period in mm	Num ber of years	Bulb yield t/ha		Bulb yield increase	
			O ^{*)}	W ^{**)}	in t/ha	in %
Wet	over 208	4	26,70	28,37	1,67	6,3
Medium wet	162-207	3	27,47	30,83	3,36	12,2
Mean	117-161	9	29,66	36,33	6,67	22,5
Medium dry	85-116	3	25,53	36,07	10,54	41,3
Dry	above 85	6	21,60	36,35	14,75	68,3
On average			26,63	34,37	7,74	29,1

^{*)} control treatments ^{**)} sprinkled treatments

With increasing precipitation the increase in yield diminished consistently, and in wet years was only 1.67 t/ha. The increase in yield under sprinkling depended not only on precipitation in the phase flowering - stalks drying but also, though to a lesser degree, the precipitation from the previous phase, i.e. emergence - flowering.

$$z=37,48-0,16732*x-0,24472*y+0,00123*x*y$$

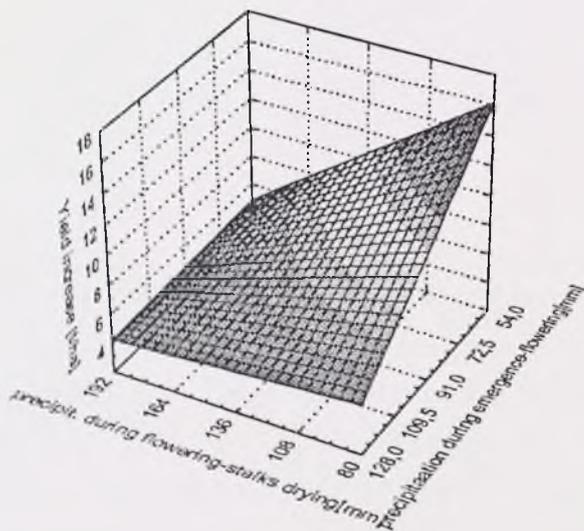


Fig. 2 Bulb yield increase of medium-early potatoes due to precipitation dependent on sprinkling in the periods emergence-flowering and flowering-stalks drying

Table 2

Productivity of 1 mm sprinkled water in kg bulb

Year type	Mean total water dose	Productivity of 1 mm sprinkled water in kg bulb
Wet	35	47,7
Medium wet	55	61,1
Mean	90	74,1
Medium dry	115	91,6
Dry	140	105,4

Using a method similar to the above described, a model was created for the increase in yield under sprinkling in various precipitation conditions in the phases emergence - flowering and flowering - stalks drying. The model shows (Fig. 2) that the greatest effect of sprinkling obtains (17.4 t/ha increase) when the precipitation is lowest, both in the emergence -flowering and flowering - stalks drying phases. When precipitation in those phases are highest, the yields obtained increase in yield was only 4.3 t/ha. Similar increases in yield due to sprinkling are obtained when precipitation in the first phase is low and high in the second. However, in a reversed situation (first phase wet and second dry) the yield increase is about 6t/ha.

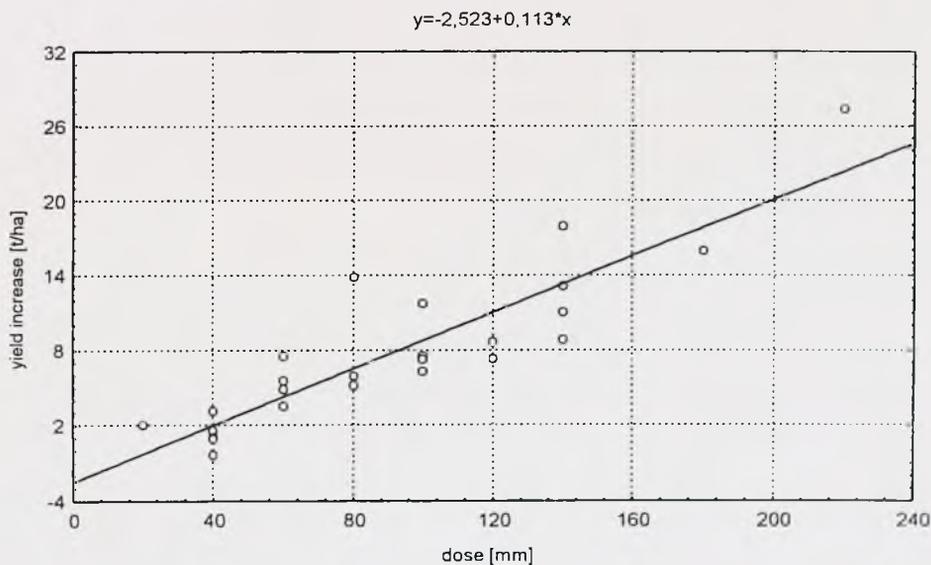


Fig 3. Bulb yield increase of medium-early potatoes dependent on the amount of sprinkled water

The effect of the quantity of sprinkled water (seasonal norm of irrigation) on bulb yield increase is well described by the positive linear relation (Fig. 3). With increasing seasonal norm of irrigation the yield increases regularly.

Productivity of 1 mm sprinkled water is shown in Tab. 2. In wet years the seasonal norm of sprinkled water was 35 mm, and productivity of 1 mm was 48 kg bulb. This index increased regularly with increasing amount of sprinkled water and in dry years amounted to 105 kg bulb per 1 mm of sprinkled water.

CONCLUSIONS

1. Precipitation during vegetation of medium-early potatoes modified the yield of bulbs significantly, the greatest effect having precipitation during the flowering - stalks drying phase.
2. The highest bulb yields were obtained in years with mean precipitation. In wet years the yield was lower by 3 t/ha on average, and in dry years by over 8 t/ha.
3. Sprinkling medium-early potatoes grown on soils of good rye complex in the Wrocław region, one can expect that the mean increase in bulb yield will be about 7.7 kg/ha.
4. The effects of sprinkling and productivity of 1 mm sprinkled water were highest in dry years. With increasing amount of precipitation those indices decreased regularly.
5. The region of Wrocław should be regarded as favourable for irrigation, because dry years occur more often (24%) than wet (16%).

REFERENCES

1. DZIEZYC J., DMOWSKI Z., NOWAK L., PANEK K. 1987: Results and productive effectivity of sprinkling plants in field cultivation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 326, potatoes. 27-43.
2. JANKOWIAK J., TOMASZEWSKA J. 1987: Results of plant sprinkling as dependent on climatic and soil conditions. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 314, potatoes. 173-192.
3. NOWAK L. 1997: Effects of irrigation on root crops in various regions of Poland. Conf. Israel, 5-16 December 1997 „Water requirements and irrigation effects of plants cultivated in arid and semiarid climates”, 77-81.
4. NOWAK L. 1992: Effect of precipitation and sprinkling on yielding of root crops under various habitat conditions. *Zesz. Nauk. Agr. Univ. Wrocław.* Thesis 106.

5. ROJEK S. 1987 Effects of irrigation on various potato cultivars. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 314, p. 229-240.
6. ROJEK S., CHMURA K. 1987: Production effectivity of potato sprinkling. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 326, potatoes.77-88.

Streszczenie: *Efekty deszczowania ziemniaków średnio wczesnych w rejonie Wrocławia zależnie od ilości opadów. W pracy wykorzystano wyniki ścisłych doświadczeń polowych z deszczowaniem ziemniaków średnio wczesnych przeprowadzonych w latach 1974-1998, w RZD Swojec i Samotwór k.Wrocławia, na glebie zaliczanej do kompleksu żytniego dobrego. W doświadczeniu stosowano obornik w ilości 30 t/ha, oraz następujące dawki nawozów mineralnych: N 130-160 kg/ha, P₂O₅.kg/ha i K₂O 140-160 kg/ha. Ziemniaki deszczowano przy spadku wilgotności gleby do 75% ppw. Jednorazowa dawka wody wynosiła 20 mm. Efekty deszczowania obliczono zależnie od ilości opadów w okresie największych potrzeb wodnych ziemniaka tj. od początku kwitnienia do zasychania łątów. Na obiektach nie nawadnianych ziemniak najwyżej plonował (29,7 t/ha) przy opadach wynoszących 117-161 mm (lata przeciętne). W latach wilgotnych plon był niższy średnio o 3 t/ha, a w latach suchych o ponad 8 t/ha. Średni w wieloleciu przyrost plonów w wyniku deszczowania wynosił 7,7 t/ha tj. 29% i wahał się od 1,7 t/ha w latach wilgotnych do 14,8 t/ha w latach suchych. Produktywność 1 mm rozdeszczowanej wody wzrastała wraz ze wzrostem sezonowej normy deszczowania i wahała się od 47,7 kg bulw w latach wilgotnych do 105,4 kg w latach suchych*

Author's address:

Lech Nowak

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław,
50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24

Production effects of sprinkling sugar beet grown on good rye complex in Wrocław region

LECH NOWAK

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław

Abstract: *Production effects of sprinkling sugar beet grown on good rye complex in Wrocław region.* In the work were used the results of exact field experiments with sprinkling sugar beet, conducted over 1962-90 in RZD Swojec and Samotwór by Wrocław, on a good rye complex soil. The results of were calculated as dependent on precipitation in the period of greatest water demands of beet, i.e. since the 3 decade of June till the 1 decade of September. On the control treatments beet yielded best (39.8 t/ha) when precipitation was 227-280 mm (medium-wet years). The mean increase in yield for the multiple-year period on sprinkled treatments was 11.5 t/ha i.e. 32% and varied from 1.5 t/ha in wet years to 22.9 t/ha in dry years. Productivity of 1 mm sprinkled water increased with increasing seasonal norm of irrigation and varied from 38 kg root in wet years to 122 kg root in dry years.

Key words: sugar beet, precipitation, yield

INTRODUCTION

The beet belongs to plants with high water and soil requirements. The long vegetation period, mild climate and a little greater precipitation than in other Polish lowlands are the reasons why Lower Silesia is a good region for beet cultivation, where the effects of sprinkling the plant are high. This is confirmed by both single experiments (3,5,6,7) and syntheses made so far [1,2,4].

The aim of the work was to estimate the production effects of sprinkling sugar beet grown on soil of good rye complex.

CONDITIONS, METHODS AND SCOPE

In the present work have been used the results of exact field investigations with sprinkling sugar beet, conducted over the years 1962-90 and published in consecutive numbers of *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* and *Zesz. Nauk. Acad. Rol.* Exact field experiments were performed in RZD Swojec and Samotwór by Wrocław, on a soil of good rye complex of IVb valuation class. The following doses of mineral fertilisers were applied in the experiment: N - 140-180 kg/ha, P₂O₅ - 80-90 kg/ha and K₂O - 150-170 kg/ha. Sugar beets were grown on manure (30 t/ha). Sprinkling was applied in the period regarded by Dzieżyc [1] as critical in beet water management, i.e. from the 3rd decade of June to the 1st decade of September, based on the tensiometric method (when soil moisture dropped below 75% of field water capacity). A single dose of water was 30 mm. Using the method of step-by-step analysis of regression, the relation was found between sugar beet yield and precipitation total in the periods: sowing - 2. VI and 3d. VI - 1d. IX. In the initial model of the analysis were considered linear and square terms, as well as precipitation interaction in the above periods. The model obtained was studied in 90-170 mm interval for the period sowing - 2d.VI and in 140-260 mm for the period 3d.VI - 1d.IX, which roughly corresponded to the intervals: mean precipitation total in the periods studied \pm standard deviation. Analysis of the model allows to state that more important for yield value has precipitation in the period 3d.VI-1d.IX. Hence, the effects of sprinkling have been calculated depending on precipitation in the period of greatest water demands of beet, i.e. since the 3rd decade of June till the 1st decade of September. Taking into account the precipitation total in the period, in the 29 years studied were distinguished wet, medium wet, mean, medium dry and dry years.

RESULTS

The yields of sugar beet as dependent on precipitation in the period sowing-2nd decade of June and 3rd decade of June - 1st decade of September are shown in Fig. 1. In the first of the periods discussed the yields of beet were favoured by lower precipitation.

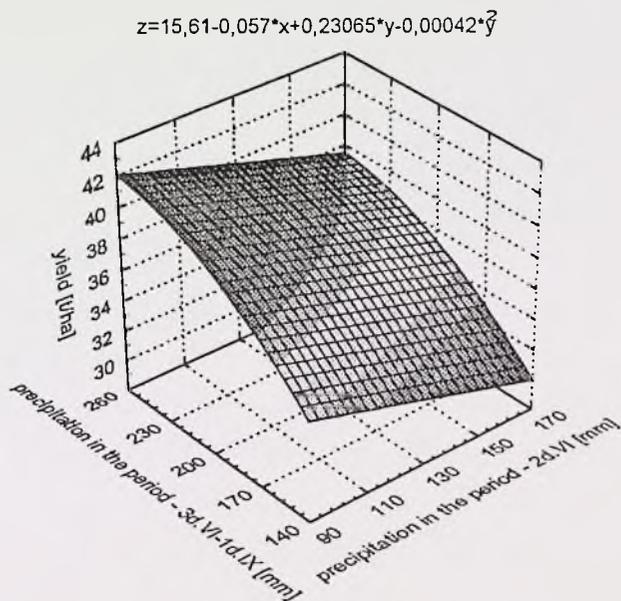


Fig. 1 Yield of sugar beet roots dependent on precipitation in the periods: sowing-2d.VI and 3d. VI-1d. IX.



Fig. 2 Yield increase of beet roots due to irrigation, dependent on precipitation during 3d. VI-1 d.IX.

With increasing precipitation within the range 90-170 mm the root yield decreased, and in an extreme case the difference in yield was about 4.0 t/ha. While in the critical period of beet water management (3rd decade of June till 1st decade of September), in the studied range of precipitation 140-260 mm, the root yields increased with increasing precipitation and in extreme cases differed by about 7.5 t/ha.

The optimum precipitation in the critical period was 227-280 mm (Table 1). Under such conditions the mean yield of roots was 39.75 t/ha. The beet proved to be much more sensitive to water deficiency than to its excess. In wet years the yield was lower by 5.5%, whereas in dry ones by 30.7%, compared with years with optimum precipitation. It should be underlined that in the 29-years period of investigation years with lower precipitation occurred markedly more often (41% of years) than those with higher than mean precipitation (24% of years).

The average root yield from control treatments for the multi-year period was 35.63% t/ha, and 47.10 t/ha from sprinkled ones (Tab. 1). Thus due to sprinkling the average increase of root yield was 11.47 t/ha, i.e. 32%. The result of sprinkling depended clearly on precipitation in the critical period of sugar beet water management (Fig. 2). Within the precipitation range 140-260 mm increasing precipitation caused a systematically smaller increase in yield from 17.5 t/ha to 4.7 t/ha. In the extreme cases (with precipitation higher than 280 mm and lower than 143 mm) the increase in root yield was 1.5 and 22.9 t/ha, respectively (Tab. 1).

Table 1.

Effects of sprinkling sugar beets

Year type	Precipitation in mm	Number of years	Root yield t/ha		Root yield increase	
			O	W	in t/ha	in %
Wet	over 280	3	37,57	39,07	1,50	3,8
Medium wet	227-280	4	39,75	44,65	4,90	11,0
Mean	176-226	10	37,33	47,71	10,38	27,8
Medium dry	143-175	8	34,76	48,91	14,15	41,4
Dry	above 143	4	27,55	50,43	22,88	83,0
On average			35,63	47,10	11,47	32,2

The productivity of 1 mm sprinkled water is given in Tab. 2. That index increased systematically with the amount of sprinkled water in the season. In the period studied, depending on the course of precipitation, 1 to 7 doses of water 30 mm each were applied. In wet year the sprinkled dose of water was 40 mm on average, and productivity of 1 mm was about 37 kg roots. Whereas in dry seasons the mean overall dose of water was 187 mm, and productivity of 1 mm sprinkled water increased to 122 kg roots.

Table 2

Productivity of 1 mm sprinkled water (kg of root yield)

Year type	Average overall dose of water in mm	Productivity of 1 mm sprinkled water
Wet	40	37,5
Medium wet	75	65,3
Mean	105	98,9
Medium dry	135	104,8
Dry	187	122,4

CONCLUSIONS

1. The mean multiannual yields of sugar beet roots grown on a good rye complex in the Wrocław region were higher than the average for Poland.
2. Precipitation during beet vegetation modified the root yields of the plant, the greatest effect having precipitation during the critical period of water management.
3. The beet proved to be markedly more sensitive to precipitation shortage than to its excess. In dry years the yield of roots was lower by 31% than in years with optimum precipitation, while only by 5.5% in wet years.
4. Sprinkling beets grown on a good rye complex in the Wrocław region, one can expect that the mean increase in root yield will be 11.5 t/ha.
5. With increasing precipitation during the critical water management period the increase in root yield due to sprinkling and productivity of 1 mm sprinkled water diminished.

REFERENCES

1. DZIEŻYC J. (1988): Agriculture under irrigation. PWN, Warszawa.
2. DZIEŻYC J., NOWAK L. (1992): Effect of sprinkling on crops. *Rocz. Akad. Rol.*, Poznań. CCXXXIV, 5-16.
3. DMOWSKI Z. (1989): Effect of sprinkling and different nitrogen doses on yielding of sugar beet, potato, maize and wheat on light soil. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 377, 205-214.
4. NOWAK L. (1992): Effect of precipitation and sprinkling on yielding of root crops under various habitat conditions. *Zesz. Nauk AR Wrocław*. Theses, No 106.
5. NOWAK L. (1995): Reaction of sugar beet grown on light soil to sprinkling and varied nitrogen fertilisation. Part I. Yield level and structure. *Zesz. Nauk AR Wrocław*, No 276, IX Conference, p. 67-76.
6. TRYBAŁA M. (1987): Production effectivity of sprinkling crops in double sequence on light soil. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 326, 45-55.
7. TRYBAŁA M., KASZYCKA E. (1992): Effect of sprinkling and varied nitrogen-potassium fertilisation on sugar beet yield on light soil. *Zesz. Nauk ATR Bydgoszcz*, No 180, Agriculture 32, 59-66.

Streszczenie: *Efekty produkcyjne deszczowania buraków cukrowych uprawianych na glebie kompleksu żytiego dobrego w rejonie Wrocławia.* W pracy wykorzystano wyniki ścisłych doświadczeń polowych z deszczowaniem buraków cukrowych, przeprowadzonych w latach 1962-1990 w RZD Swojce i Samotwór koło Wrocławia na glebie kompleksu żytiego dobrego, IV b klasy bonitacyjnej. W doświadczeniu stosowano następujące dawki nawozów mineralnych: N - 140-180 kg/ha, P₂O₅ - 80-90 kg/ha i K₂O - 150-170 kg/ha. Buraki cukrowe uprawiano na oborniku (30 t/ha). Deszczowanie wykonywano w okresie krytycznym gospodarki wodnej buraków tj. od 3 dekady czerwca do 1 dekady września w oparciu o metodę tensjometryczną (przy spadku wilgotności gleby do 75% ppw). Jednorazowa dawka wody wynosiła 30 mm. Efekty deszczowania obliczono zależnie od ilości opadów w okresie największych potrzeb wodnych buraków tj. od 3 dekady czerwca do 1 dekady września. Uwzględniając sumy opadów w tym okresie w 29 latach badań wydzielono lata wilgotne, średnio-wilgotne, przeciętne, średnio suche i suche. Na obiektach kontrolnych burak cukrowy najlepiej plonował (39,8 t/ha) przy opadach wynoszących 227-280 mm (lata średnio wilgotne). Przeciętny w wieloletniu przyrost plonów na obiektach deszczowanych wynosił 11,3 t/ha tj. 32% i wahał się od 1,5 t/ha w latach wilgotnych do 22,9 t/ha w latach suchych. Produkcyjność 1 mm rozdeszczowanej wody wynosiła około 38 kg korzeni w latach wilgotnych, około 100 kg w latach przeciętnych i średnio suchych oraz 122 kg w latach suchych.

Author's address

Lech Nowak

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław
50-363 Wrocław, Pl. Grunwaldzki 24

Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil

Part I. Seed and straw yield

CEZARY PODSIADŁO, STANISŁAW KARZMARCZYK,
ZDZISŁAW KOSZAŃSKI

Department of Plant Production and Irrigation, Agricultural University in Szczecin

Abstract: *Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil. Part I. Seed and straw yield.* Overhead irrigation and high doses of mineral fertilizer increased the yield of small bean, white and yellow lupine, cultivated on sandy soil. Best effects were obtained with small bean, which proved the possibility of growing this rather demanding plant on sandy soil. The irrigated and well fertilized plants grew larger leaves, more pods with more seeds per pod. A short economical analysis of the application of irrigation and intense fertilization did show these measures to be profitable for small bean and white lupine, whereas the yellow lupine yield increases did not pay for the applied agrotechnique.

Key words: irrigation, mineral fertilizers, small bean, lupine

INTRODUCTION

Leguminous plants are the main source of protein rich fodder, increase the nitrogen and humus content of soil, and improve other properties of the soil. These plants play an important role in agricultural production, which was stressed by many authors, such as Andrzejewska (1993), Bobrecka-Jamro (1989), Borówczak et al. (1992), Dmowski (1986), Dzieżyc (1988), Grabarczyk et al. (1987), Jasińska and Kostecki (1993), Nowak et al. (1995), Panek (1983), Paprocki (1972), Songin (1975). Despite many advantages of these plants they are not as widely grown in Poland as could be expected considering the climatic conditions and economy needs. This situation is caused a.o. by a low yield stability, due to weather conditions variability, low mechanisation of their cultivation for seeds, lack of high quality seeds and intensive cultivars.

This study was aimed at the assessment of the influence of overhead irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean, and white and yellow lupine, cultivated

on sandy soil. An attempt at showing a possibility of growing intensive species of legume plants on light soils, supplied with water and fertilizer was also made.

METHODS AND MATERIALS

Field experiments were done at the Lipnik Experiment Station in Western Pomerania, in 1995-1998, on an acid brown soil.

The experiment was set up by the split plot method of two variables: no irrigation, overhead irrigation; 4 levels of mineral fertilization – control, 1 NPK (120 kg to small bean and white lupine, 60 kg to yellow lupine), 2 NPK (double dose), 3 NPK (triple dose).

Table 1. Rain and temperature during vegetation

Year	Month	Rain (mm)					Temperature (°C)	
		10-day period			Month total	Deviation from aver.	Month mean	Deviation from aver.
		I	II	III				
1995	April	8.60	9.10	1.00	19.7	-20.3	8.06	+1.06
	May	11.4	17.9	11.1	40.4	-12.6	12.3	-
	June	16.3	50.9	11.7	78.9	+21.9	15.2	-0.80
	July	0.40	0.20	0.20	0.8	-68.2	20.5	+2.80
1996	April	0.80	3.00	7.20	11.0	-29.0	8.50	+1.50
	May	39.4	8.60	42.0	90.0	+3.0	11.8	-0.80
	June	0.60	2.60	36.0	39.2	-17.8	16.6	+0.50
	July	98.8	7.20	24.0	130.0	+61.0	15.6	-1.80
	August	5.00	13.0	62.0	80.0	+18.0	18.4	+1.50
September	17.4	12.8	10.2	40.4	-7.60	10.7	-2.10	
1997	April	11.8	6.00	12.0	29.8	-10.2	6.06	-0.94
	May	8.50	4.10	22.9	35.5	-17.5	13.0	+0.40
	June	5.70	11.2	57.0	73.9	+16.9	17.1	+1.00
	July	21.8	81.0	36.2	139.0	+70.0	18.3	+0.90
	August	19.5	-	25.0	44.5	-17.5	19.3	+2.40
1998	April	15.3	36.5	1.20	53.0	+13.0	9.51	+2.51
	May	10.0	-	22.3	32.3	-20.7	15.1	+2.50
	June	21.3	5.50	24.9	51.7	-5.30	16.8	+0.70
	July	23.8	3.30	28.6	55.7	-13.3	17.8	+0.40
	August	3.60	2.20	57.1	62.9	+0.90	17.0	+0.10

Irrigation was applied accordingly to the plants 10-day water requirement (Dziezyc et al., 1987).

The weather was average, only in 1995 the growing season was rather dry, hence larger doses of irrigation had to be applied – for lupine 100 mm, for small bean 120 mm. In the other years the amount of water applied was 40 mm in 1996, up to 90 mm in .. (table 2).

Table 2. Supplemental irrigation doses (mm)

Year	Month	Small bean				White lupine				Yellow lupine			
		10-day period				10-day period				10-day period			
		I	II	III	total	I	II	III	total	I	II	III	total
1995	May			20				20				20	
	June	20		20	120	20			100	20			100
	July	20	20	20		20	20	20		20	20	20	
1996	June	20	20		40	20	20		40	20	20		40
1997	May			10				10				10	
	June	30	20		70	30	20		70	30	20		70
	July	10				10				10			
1998	May			10				10					
	June	20	20	20	90	10	20	20	80	20	20	20	80
	July		20				20				20		

In 1995 rain shortages occurred in April, May and July, in 1997 in May and August, in 1998 from May til July. Irrigation was applied at 20 mm doses. The temperature was close to multiyear average, only in July 1995 it was by 2.8°C higher, and in April and May 1998 by 2.5°C higher, and in April and May 1998 by 2.5°C higher.

During the growth season, the influence of irrigation and fertilization on the plants' morphology, leaf area, number and seed weight was measured. After harvest the field use of water was calculated. The short economical analysis of the applied measures was done considering prises of 1999. Statistical analysis of the results was done by the analysis of variance, Tukey test.

RESULTS

Table 3 presents data pertaining to the yield of seeds and straw. The applied agrotechnical measures significantly increased the yield, that of small bean to the greatest extent, less that of white lupine. The smallest yield increases resulting from irrigation and fertilization gave yellow lupine, a least demanding plant. The years of the experiment were not extremely dry, nontheless supplemental irrigation increased the small bean yield by 36% (seeds), and of straw by 30%. The yield increases of white lupine were 19 and 15%, and of yellow lupine 15% higher, respectively. The influence of mineral fertilizer was much higher than that of irrigation.

Table 3. Small bean and white lupine yield (4-year average, t · ha⁻¹)

Object		Plant					
		small bean		white lupine		yellow lupine	
irrigation	fertilization	seed	straw	seed	straw	seed	Straw
O	0 NPK*	2.33	3.22	2.14	2.75	1.86	2.99
	1 NPK	3.07	3.72	2.96	3.78	2.18	3.44
	2 NPK	3.68	4.25	3.61	4.44	2.35	3.66
	3 NPK	3.78	4.27	3.64	4.46	2.20	3.61
W	0 NPK	2.97	3.83	2.56	3.17	2.12	3.34
	1 NPK	4.14	4.74	3.48	4.32	2.48	3.95
	2 NPK	5.00	5.61	4.28	5.08	2.77	4.25
	3 NPK	5.33	5.83	4.45	5.14	2.49	4.15
Means for irrigation	O	3.21	3.86	3.09	3.86	2.15	3.42
	W	4.36	5.00	3.69	4.43	2.47	3.92
Means for fertilization	0 NPK	2.65	3.52	2.35	2.96	1.99	3.17
	1 NPK	3.60	4.23	3.22	4.05	2.33	3.69
	2 NPK	4.34	4.93	3.95	4.76	2.56	3.95
	3 NPK	4.55	5.05	4.05	4.80	2.34	3.88
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		0.77	0.11	0.15	0.18	0.18	0.31
		0.43	0.26	0.16	0.20	0.38	0.41
		0.52	0.25	0.23	n.s.	n.s.	n.s.

* - dawki nawozowe pod bobik i lubin biały w kg/ha: 0 NPK- (kontrola bez nawożenia); 1 NPK-120; 2 NPK-240; 3 NPK-360. pod lubin żółty: 1 NPK-60; 2 NPK-120; 3NPK-180.

The crop of small bean and white lupine seeds increased by 72%, of yellow lupine by 18%. It should be stressed that the highest NPK dose applied to yellow lupine did not increase its yield, and if no irrigation was applied, the yield was lower. Considering the effects of mineral fertilization it should be mentioned that the high doses of NPK caused yield increases, also if compared to the basic dose of 1 NPK. The small bean seed yield was by 26%, and that of white lupine by 19% higher.

The combined effect of irrigation and mineral fertilizer is shown in table 3, which data confirm that as result of the applied measures the yield of small bean seeds increased by 129% - in comparison to the control (no irrigation, 0 NPK), and by 74% if compared with 1 NPK. The yield of white lupine was higher by 108 and 50%, respectively, and that of yellow lupine by 34 and 14%. These results indicate that the application of supplemental irrigation and high doses of mineral fertilizer to small bean and white lupine cultivated on sandy soil is successful, and the data confirm the results of studies done by Dziezyc et al. (1987), Karczmarczyk et al. (1978), Grabarczyk et al. (1987), Songin (1975), Czyż (1987).

Dziezyc et al. (1987) and Gromadziński (1989) reported yield increases of lupine seed by 40%. Karczmarczyk et al. (1978) obtained lupine seed yield increases by 113%, and

small bean by 230% - as effect of fertilization and irrigation in years of large rain deficite. Grabarczyk et al. (1995) who did their experiments in the Kraina Wielkich Dolin reported small bean seed yield increases of 160% as result of irrigation of sandy soil plantations.

The productivity of the applied water increased as effect of large NPK doses (table 4), the productivity of NPK was larger on irrigated plots, at the same time the fertilizer productivity decreased with elevated NPK doses (table 5).

Table 4. Water productivity (kg seed per 1 mm)

Mineral fertilization	Plant		
	small bean	white lupine	yellow lupine
0 NPK	2.05	1.38	0.88
1 NPK	3.53	1.69	1.00
2 NPK	4.38	2.24	1.43
3 NPK	5.23	2.66	0.98
Mean	5.06	1.99	1.07

Table 5. Fertilizer productivity (kg seed per 1 kg NPK)

Object		Plant		
		small bean	white lupine	Yellow lupine
irrigation	fertilization			
O	1 NPK	6.17	6.81	5.33
	2 NPK	5.64	6.12	4.09
	3 NPK	4.05	4.17	1.89
W	1 NPK	9.73	7.68	6.46
	2 NPK	8.46	7.19	5.44
	3 NPK	6.55	5.27	2.28
Means for irrigation	O	5.28	5.70	3.77
	W	8.25	6.71	4.73
Meand for fertilization	1 NPK	7.95	7.24	5.90
	2 NPK	7.05	6.65	4.76
	3 NPK	5.30	4.72	2.08

The productivity of the applied water expressed as small bean yield increase, was by 155% higher on plots fertilized with 3 NPK, that of white lupine by 93%, of yellow lupine by 11%. The productivity of 1 kg NPK on irrigated plots was by 57% higher (small bean), and that of lupine by 18 to 25%. With the increase of the NPK doses their effectivity was in the case of small bean by 50% lower, of white lupine by 53, and of yellow lupine even by 184%.

Irrigation and fertilizer doses modified also the growth and development of the plants. As can be seen in Table 6 the leaf surface of small bean grown on irrigated plots increased by 44%, that of the lupines by 20%. High doses of mineral fertilizer caused an increase of the leaf surface by 124% (small bean), 93% (white lupine), 41% (yellow lupine).

Table 6. Leaf surface (cm² per 1 plant)

Object		Plant		
irrigation	fertilization	small bean	white lupine	yellow lupine
O	0 NPK	354.2	313.8	397.8
	1 NPK	556.7	427.0	496.7
	2 NPK	728.6	536.4	607.8
	3 NPK	735.1	556.6	588.4
W	0 NPK	522.6	347.8	499.3
	1 NPK	674.0	478.7	610.4
	2 NPK	1001.8	685.0	716.3
	3 NPK	1226.7	717.5	672.7
Means for irrigation	O	593.7	458.4	522.7
	W	856.2	557.3	624.7
Means for fertilization	0 NPK	438.4	330.8	448.5
	1 NPK	615.4	452.9	553.6
	2 NPK	865.2	610.7	662.0
	3 NPK	980.9	637.0	630.6
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		36.1	35.4	51.2
		26.4	25.6	41.3
		37.3	36.2	n.s.

Table 7. Number and weight of small bean pods and seeds per 1 plant

Object		Number of pods		Weight of pod (g)	Number of seeds	Weight of seeds (g)
irrigation	fertilization	productive	non fertile			
O	0 NPK	6.80	0.92	6.98	14.7	5.21
	1 NPK	7.84	1.27	8.24	17.6	6.46
	2 NPK	8.85	1.30	10.4	21.6	8.21
	3 NPK	9.08	1.34	10.9	22.8	8.71
W	0 NPK	7.80	0.70	8.74	18.3	6.70
	1 NPK	8.96	0.74	10.5	21.4	8.15
	2 NPK	10.7	1.27	13.3	26.5	10.5
	3 NPK	11.4	1.61	14.5	29.3	11.5
Means for irrigation	O	8.14	1.21	9.16	19.2	7.15
	W	9.73	1.08	11.7	23.9	9.24
Means for fertilization	0 NPK	7.30	0.81	7.86	16.5	5.95
	1 NPK	8.40	1.01	9.37	19.5	7.30
	2 NPK	9.79	1.29	11.9	24.0	9.36
	3 NPK	10.2	1.47	12.7	26.0	10.1
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		0.71	0.09	0.39	1.23	0.23
		0.41	0.13	0.32	1.14	0.12
		0.58	0.18	0.45	1.62	0.17

Table 8. Number and weight of white lupine pods and seeds per 1 plant

Object		Number of pods		Weight of pod (g)	Number of seeds	Weight of seeds (g)	
irrigation	fertilization	productive	non fertile				
O	0 NPK	8.64	1.04	9.40	25.6	6.04	
	1 NPK	9.68	1.28	11.1	29.6	7.16	
	2 NPK	11.5	1.28	13.9	36.5	8.80	
	3 NPK	11.9	1.39	14.2	38.4	9.23	
W	0 NPK	10.9	1.36	13.0	34.1	8.25	
	1 NPK	11.8	1.30	14.0	39.3	9.58	
	2 NPK	14.3	1.31	17.5	49.3	12.1	
	3 NPK	14.7	1.40	18.4	51.2	12.6	
Means for irrigation	O	10.4	1.25	12.1	32.5	7.81	
	W	12.9	1.34	15.7	43.5	10.6	
Means for fertilization	0 NPK	9.81	1.20	11.2	29.8	7.15	
	1 NPK	10.7	1.29	12.5	34.4	8.37	
	2 NPK	12.9	1.30	15.7	42.9	10.4	
	3 NPK	13.3	1.40	16.3	44.8	10.9	
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction			0.77	n.s.	0.67	2.66	0.21
			0.94	0.17	1.20	3.36	0.41
			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.57

Table 9. Number and weight of yellow lupine pods and seeds per 1 plant

Object		Number of pods		Weight of pod (g)	Number of seeds	Weight of seeds (g)	
irrigation	fertilization	productive	non fertile				
O	0 NPK	7.18	0.96	4.96	21.3	2.66	
	1 NPK	8.26	0.97	6.26	26.2	3.41	
	2 NPK	8.83	0.93	6.91	29.8	3.92	
	3 NPK	8.12	1.08	6.28	27.4	3.53	
W	0 NPK	8.37	1.54	6.07	27.4	3.46	
	1 NPK	9.64	1.52	7.48	33.0	4.20	
	2 NPK	10.6	1.53	8.66	38.3	4.95	
	3 NPK	10.1	1.43	7.91	34.8	4.44	
Means for irrigation	O	8.10	0.98	6.10	26.2	3.38	
	W	9.68	1.50	7.53	33.4	4.26	
Means for fertilization	0 NPK	7.78	1.25	5.51	24.3	3.06	
	1 NPK	8.95	1.24	6.87	29.6	3.80	
	2 NPK	9.72	1.23	7.78	34.0	4.43	
	3 NPK	9.11	1.25	7.09	31.1	3.99	
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction			0.54	0.13	2.63	0.54	
			0.58	n.s.	0.21	2.15	0.98
			n.s.	n.s.	0.29	n.s.	n.s.

Table 10. Weight of 1000 seeds (g)

Object		Plant		
irrigation	fertilization	small bean	white lupine	yellow lupine
O	0 NPK	368	221	119
	1 NPK	374	227	124
	2 NPK	381	239	128
	3 NPK	387	235	124
W	0 NPK	389	231	126
	1 NPK	399	238	132
	2 NPK	414	247	135
	3 NPK	433	250	133
Means for irrigation	O	377	231	124
	W	409	241	131
Means for fertilization	0 NPK	378	226	122
	1 NPK	386	233	128
	2 NPK	397	243	132
	3 NPK	410	242	128
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		20.7	n.s.	n.s.
		18.8	13.3	n.s.
		n.s.	n.s.	n.s.

The number of pods per 1 plant, their weight, the number of seeds in one pod and their weight increased as the result of irrigation by 20-35%, and as effect of fertilization by 35-to over 60% (table 7,8,9). The weight of 1000 seeds increased as the result of the applied measures only by 5-8% (table 10). The architecture of the canopy and the structure of the crop is closely linked to the yield. The coefficients of correlation between the yield and the leaf surface and some other elements of the yield structure (table 11) confirm the highly significant relations between these features.

This study assessed also the water use in the field by the cultivated plants and its productivity (table 12, 13). It was shown that the irrigated small bean used 20% more water than the control one, and the lupines 15% more. High doses of NPK contributed to a small increase of the water uptake, whereas the coefficient of the water productivity (expressed as the amount of water used for the production of 1 crop unit) was smaller on intensely fertilized plots, by 60% - small bean, and white lupine, by 15% - yellow lupine. Irrigation alone decreased this coefficient by 11% in the case of small bean (table 13). Similar relations concerning the water use and effectiveness in cereal production were reported by Karczmarczyk et al. (1989), Zbieć et al. (1996).

Table 11. Factors of linear correlation (mean of 4 years)

Specification	Yield of seeds per ha	No of productive pods	No of barren pods	Weight of pods per plant	No of seeds ocr pods	Weight of seeds per pods	Weight of 1000 seeds	Leaf area por 1 plant
Small bean								
Yield of seeds per ha	X							
No of productive pods	0.79	X						
No of barren pods	0.12	0.46	X					
Weight of pods	0.81	0.97	0.48	X				
No of seeds per pod	0.87	0.89	0.40	0.93	X			
Weight of seeds per pod	0.84	0.96	0.43	0.98	0.97	X		
Weight of 1000 seeds	0.48	0.82	0.33	0.73	0.51	0.68	X	
Leaf area per 1 plant	0.72	0.57	0.17	0.60	0.73	0.68	0.24	X
White lupine								
Yield of seeds per ha	X							
No of productive pods	0.68	X						
No of barren pods	-0.22	0.35	X					
Weight of seeds per pods	0.70	0.98	0.39	X				
No of seeds per pod	0.66	0.96	0.34	0.96	X			
Weight of seeds per pod	0.72	0.91	0.20	0.91	0.97	X		
Weight of 1000 seeds	0.80	0.62	-0.17	0.67	0.72	0.83	X	
Leaf area per 1 plant	0.72	0.77	0.23	0.80	0.73	0.67	0.53	X
Yellow lupine								
Yield of seeds per ha	X							
No of productive pods	0.49	X						
No of barren pods	-0.01	0.25	X					
Weight of pods	0.69	0.93	0.24	X				
No of seeds per pod w straku	0.84	0.80	0.21	0.93	X			
Weight of seeds per pod	0.19	0.21	0.20	0.22	0.21	X		
Weight of 1000 seeds	0.42	0.89	0.18	0.84	0.73	0.25	X	
Leaf area per 1 plant	-0.03	-0.2	0.25	0.10	0.11	0.02	0.21	X

Table 12. Field use of water from 0-100 cm soil layer (mm)

Object		Plant		
		small bean	white lupine	yellow lupine
irrigation	fertilization			
O	0 NPK	317	326	350
	1 NPK	319	336	357
	2 NPK	324	344	370
	3 NPK	328	353	364
W	0 NPK	369	371	412
	1 NPK	374	381	411
	2 NPK	386	389	419
	3 NPK	394	403	418
Means for irrigation	O	322	340	361
	W	381	386	416
Means for fertilization	0 NPK	343	349	381
	1 NPK	347	358	385
	2 NPK	355	367	395
	3 NPK	361	378	391
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		23.7	22.8	13.1
		14.8	23.3	n.s.
		n.s.	n.s.	n.s.

Table 13. Water use coefficient (mm · T dry matter of seeds)

Object		Plant		
		small bean	white lupine	yellow lupine
irrigation	fertilization			
O	0 NPK	137	155	191
	1 NPK	103	121	166
	2 NPK	87	96	158
	3 NPK	85	97	167
W	0 NPK	126	151	199
	1 NPK	91	117	169
	2 NPK	77	93	153
	3 NPK	74	92	171
Means for irrigation	O	103	117	171
	W	92	113	173
Means for fertilization	0 NPK	131	153	195
	1 NPK	97	119	168
	2 NPK	82	95	155
	3 NPK	80	95	169

For a better evaluation of the applied irrigation and fertilization of the leguminous plants cultivated on sandy soil, a short economical analysis was done. The results are shown in Table 14. As expected, the largest income yielded small bean and white lupine – if irrigated and well fertilized; yellow lupine, being an extensive plant, did not yield crops which would pay for the applied measures.

Small bean and white lupine can be cultivated on poor soils, providing the application of water and fertilizer is ensured. Of the compared plants, it was small bean which brought the largest profit. White lupine reacted to the applied agrotechnique positively, although the difference of profit between 2 and 3 NPK was low. The yield increase of yellow lupine seeds was not high enough to compensate for the cost of irrigation and fertilizer, hence the 120 kg NPK was the limit not to be exceeded.

Table 14 Simplified economical analysis of applied irrigation and fertilization (zł/ha)

Object	Yield increase (t)			Value of stand ¹⁾ (zł*ha ⁻¹)			Value of yield increase ΔP (zł*ha ⁻¹)			Expense for irrigation ²⁾ K _d (zł*ha ⁻¹)			Income ³⁾ (zł*ha ⁻¹)			Profit index ⁴⁾ W ₀		
	bobik	łubin biały	łubin żółty	bobik	łubin biały	łubin żółty	bobik	łubin biały	łubin żółty	bobik	łubin biały	łubin żółty	bobik	łubin biały	łubin żółty	bobik	łubin biały	łubin żółty
0 NPK	0.64	0.41	0.26	107	147	195	359	244	149	417	393	374	49	-1.3	-29.4	112	98	90
1 NPK	1.7	0.52	0.30	134	173	201	606	310	176	460	406	379	280	77	-2.6	160	116	98
2 NPK	1.32	0.67	0.42	269	269	254	751	399	244	484	424	393	536	244	106	208	155	125
3 NPK	1.54	0.81	0.29	269	269	234	879	478	168	507	439	378	641	308	24	220	168	105
Mean	1.14	0.60	0.32	195	215	221	649	358	184	467	415	381	376	157	24	175	134	105

¹⁾ value of yield increase of wheat grain, which can be obtained in a stand after legume plants,

²⁾ total constant and varying costs plus increased agricult. costs,

³⁾ (ΔP + stand value) - K_d,

⁴⁾

$$W_0 = \frac{\text{value of product increase due to irrigation}}{\text{expenses for the additional product}} \times 100,$$

(numbers lower than 100 indicate a non profitable application of the measure)

CONCLUSIONS

1. Overhead irrigation and high doses of NPK significantly increased the yield of small bean, white and yellow lupine grown on sandy soil. The largest crop increases gave small bean. Irrigated small bean yielded 36% more seeds, and well fertilized 72% more. As result of irrigation combined with high fertilizer dose the seed yield was by 129% higher. The yield of white lupine seeds was by 19; 72 and 108% higher, that of yellow lupine by 15; 18 and 34%, respectively.
2. The productivity of water was higher on well fertilized plots, whereas the effectiveness of NPK decreased if the fertilizer doses were higher.
3. Short economical analysis of the irrigation and fertilization impact on the crops proved a high profitability of the measures in the case of small bean and white lupine, yield increases of yellow lupine seeds did not pay for the expenses.

REFERENCES

- ANDRZEJEWSKA J., 1993: Root nodules and nitrogen content in small bean as affected by growth stage and agrotechnique. *Frag.Agron.*, 4, 161-162. (in Polish)
- BOBRECKA-JAMRO, 1989. Spatial distribution of legume plants in south-eastern Poland. *Zesz.Nauk. AR Kraków, Rozprawy* 128. (in Polish)
- BORÓWCZAK G., et al. 1992: Influence of irrigation on seed quality of sugar beet, pea and small bean. *Zesz.Nauk. AR Bydgoszcz*, 180. (in Polish)
- CZYŻ H., 1987: Influence of potassium and phosphorus fertilization on the yield of some legume plants. *Zesz.Nauk. AR Szczecin*, 131, 2-11. (in Polish)
- DMOWSKI Z., 1986: Influence of rain deficit and surplus, and of irrigation on the yield of papilionaceae plants cultivated in Poland in the years 1952-1976. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, 268. (in Polish)
- DZIEŻYC J., NOWAK L., PANEK K., 1987: 10-day water demand of cultivated plants in Poland. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, 314,11-35. (in Polish)
- DZIEŻYC J., 1988: *Agronomy on irrigated fields*. PWN Warszawa. (in Polish)
- DZIEŻYC J. et al. 1987: Average regional rain deficit and irrigation needs of plants cultivated on sandy and medium soil. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, 314. (in Polish)
- GRABARCZYK S., DUDEK S., PESZEK J., RZEKANOWSKI CZ., ŻARSKI J., 1995: Regional differentiation of expected effects of irrigation of plants cultivated on sandy soil. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, 267. (in Polish)

- GROMADZIŃSKI A., 1989: Assessment of the optimal amount of yellow lupine and narrowleaf lupine broadcast, as affected by irrigation and foliar nitrogen fertilization and micronutrients. Proc. „Przyrodn. i Agrotechn. Uwarunkow. Prod. Nasion Roślin Strączk. IUNG, Puławy, 270-278. (in Polish)
- JASIŃSKA Z., KOTECKI A., 1993: Legume plants. PWN Warszawa. (in Polish)
- KARCZMARCZYK S., LASKOWSKI S., BINIAK B., 1978: Results of irrigation and fertilization of lupine and small bean, cultivated on three types of soil. Part I. Growth, development and yield of lupine and small bean. Zesz.Nauk. AR Szczecin, XIX, 75-96. (in Polish)
- KARCZMARCZYK S., NOWICKA S., KOSZAŃSKI Z., 1989: Influence of irrigation and mineral fertilization of potato and sugar beet cultivated on two kinds of soil, on field use of water. Part I. Water management of potato. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln., 343,75-85. (in Polish)
- NOWAK G.A., WIERZBOWSKA J., KLASA A., 1995: Yield and content of N,P,K, Na, Ca, Mg in small bean as affected by phosphorus and potassium fertilization. Acta Acad.Agricul. A.Tech. Olsztyn. Rol., 61,133-198. (in Polish)
- PANEK K., 1983: Changes of yield and crop features of small bean, as effect of phosphorus and potassium fertilizer doses. Zesz.Nauk. AR Wrocław. ser.Mel.142.XXIV.127-132. (in Polish)
- PAPROCKI S., 1972: Small bean. PWN Warszawa. (in Polish)
- SONGIN H., 1975: Influence of some agrotechnical measures on the yield of small bean. Rozprawy 42. AR Szczecin. (in Polish)
- ZBIEĆ I., KOSZAŃSKI Z., PODSIADŁO C., 1996: Response of three cultivars of spring wheat to irrigation and mineral fertilization on sandy soil. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln., 438,345-351. (in Polish)

Streszczenie: *Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie bobiku i lubinu uprawianych na glebie lekkiej. Cz. I. Plony nasion i słomy.* Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu uzupełniającego deszczowania oraz nawożenia mineralnego na plonowanie bobiku, lubinu białego i żółtego uprawianych na glebie lekkiej. Deszczowanie i wysokie dawki NPK istotnie różnicowały plonowanie tych roślin. Największe przyrosty plonu nasion pod wpływem intensywnej agrotechniki uzyskano w przypadku bobiku, równie wysokie lubinu białego, a najmniejsze lubinu żółtego. Stosując deszczowanie i wysokie dawki NPK można z powodzeniem uprawiać rośliny intensywnie (bobik) na glebach lekkich. Zastosowane zabiegi agrotechniczne modyfikowały wzrost i rozwój uprawianych roślin, a to wyrażało się zwiększeniem powierzchni liści, liczby i masy strąków na roślinie oraz liczby i masy nasion w strąku. Ekonomiczna analiza stosowania deszczowania oraz intensywnego nawożenia mineralnego wykazała wysoką opłacalność stosowania tych zabiegów pod bobik i lubin biały, natomiast przyrosty plonu nasion lubinu żółtego nie równoważą nakładów ponoszonych na zabiegi intensywnej agrotechniki.

Autor's address:

Cezary Podsiadło

Zakład Podstaw Produkcji Roślinnej i Nawadniania Roślin. Akademia Rolnicza w Szczecinie
71-434 Szczecin, ul. Słowackiego 17

Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil

Part II. Pigment content and enzyme activity in leaves

CEZARY PODSIADŁO, STANISŁAW KARCZMARCZYK,
ZDZISŁAW KOSZAŃSKI, IRENA ZBIEĆ

Department of Plant Production and Irrigation, Agricultural University in Szczecin

Abstract: *Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil. Part II. Pigment content and enzyme activity in leaves.* High doses of mineral fertilizer increased the content of photosynthetic pigments in leaves of small bean and lupine, and elevated the activity of nitrate reductase, peroxydase and acid phosphatase. Irrigation decreased the nitrate reductase activity in the leaves. The assimilation of CO₂ and transpiration increased as the result of the applied measures, and the concentration of carbon dioxide in the substomatal cells decreased. The activity of these processes was much more pronounced in the leaves of small bean and white lupine as compared to the yellow lupine.

Key words: enzyme activity, photosynthesis, small bean, lupine, irrigation, mineral fertilization.

INTRODUCTION

The activity of plant physiological processes is closely connected with their genetic properties, but can be modified by the environment, particularly the temperature, insolation, nutrient availability, and water supply (Nalborczyk 1981, Karczmarczyk et al. 1990, 1999, Wojcieszka et al. 1981, 1991, Zbiec et al. 1989). The activity of these processes, the content of photosynthetic pigments affect the intensity of assimilation, thus influence the crop.

This study aimed at the assessment of the impact of supplemental irrigation and various doses of mineral fertilizer on the content of chlorophyll and carotenoides, intensity of photosynthesis and activity of some red-ox enzymes in the leaves of small bean, and white and yellow lupine.

METHODS AND MATERIALS

The layout of field experiments, climate and soil conditions, the applied agrotechnique were described in the 1. part of the paper. Leaf tissue for chemical analyses was sampled from the top leaves of the plants. The content of chlorophyll was assessed by the Arnon et al. method (1956), that of carotenoides by Schnarrenberg and Mohr (1970). The pigments were extracted by N,N, - dimethylformamide for 24h. The extinction of the extracts was measured at 645, 663, 440 nm. The sampling was done at the stage of pod formation. The same material was used for the enzyme activity assay. Nitrate content was measured by an ionselective electrode, nitrate reductase activity using NADH as hydrogen donor, the activity of peroxydase and phosphatases was assessed by colorimetry.

The intensity of CO₂ assimilation and concentration, transpiration, leaf conductivity and temperature were measured by the LCA-4 gas analyzer. All the measurements were taken from leaves of the 0, 1, 3 NPK, O and W plots.

RESULTS

The applied agrotechnical measures elevated the content of photosynthetic pigments in the leaves. As shown in Table 1 the chlorophyll content increased as effect of irrigation by 9% in lupine and by 13% in small bean.

High doses of mineral fertilizer caused a 22% increase of the chlorophyll content in small bean leaves, 18% in white lupine and 10% in yellow lupine. The content of carotenoides increased in leaves of well fertilized plants by 24, 13, and 8%, respectively (Table 1). These results confirm those of Karczmarczyk et al. (1990, 1999), Zbieć et al. (1989), Wojcieszka – Wyskupajtys (1996). As shown by Wojcieszka et al. (1983) the pigment content alone does not influence the assimilation process, but if combined with a larger leaf area (Part 1), contributes to a greater accumulation of biomass, hence larger crop.

Enzymes are the engine of all biological processes, and their activity depends a.o. on nutrients and water availability. Of the red-ox enzymes the role of nitrate reductase should be stressed, since it partakes in the processes of nitrogen incorporation, the phosphatases are involved in phosphorus conversion, the peroxydase is active in

protection of the plant phytohormons. The results pertaining to the activity of these enzymes are presented in Tables 2, 3, 4.

Table 1. Photosynthetic pigment content in leaves ($\mu\text{g/g f.m.}$)

Irrigation	Mineral fertilization	Small bean		White lupine		Yellow lupine	
		chlorophyll	carotenoids	chlorophyll	Carotenoids	chlorophyll	carotenoids
O	0 NPK	2176	852	1620	678	1639	684
	1 NPK	2365	966	1795	737	1778	723
	3 NPK	2523	1032	1860	757	1764	728
Mean		2355	950	1758	724	1727	712
W	0 NPK	2357	925	1729	699	1768	705
	1 NPK	2657	1022	1950	767	1916	748
	3 NPK	2998	1172	2074	798	1965	767
Mean		2671	1040	1918	755	1883	740
Mean for fertilization	0 NPK	2266	889	1674	688	1703	695
	1 NPK	2511	994	1873	752	1847	736
	3 NPK	2760	1103	1967	778	1864	748
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		38.1	23.0	15.7	n.s.	24.4	n.s.
		32.5	21.0	26.0	13.4	37.1	10.7
		45.9	29.7	n.s.	n.s.	52.4	15.2

Table 2. Dry matter, nitrate content, and enzyme activity in small bean leaves

Irrigation	Mineral fertilization	Dry matter %	N-NO ₃ mg·kg ⁻¹ d.m.	Nitrate reductase $\mu\text{MNaNO}_2 \cdot \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$	Peroxidase $\frac{\Delta\text{E}}{100\text{g}\cdot\text{s}}$	Phosphatase $\text{mM}\cdot 100\text{g}\cdot 0.5\text{h}^{-1}$	
						alkaline	acid
O	0NPK	15.8	307	207	25.9	4.11	12.1
	1NPK	16.9	316	226	28.2	3.41	12.7
	3NPK	17.4	325	256	29.9	3.22	12.3
	mean	16.7	316	230	28.0	3.58	12.4
W	0NPK	14.8	279	178	27.4	3.77	12.3
	1NPK	15.8	295	207	31.3	3.59	13.3
	3NPK	17.0	302	251	36.8	3.45	14.3
	mean	15.9	292	212	31.8	3.60	13.3
Means for fertilization	0NPK	15.3	293	192	26.7	3.94	12.2
	1NPK	16.4	306	216	29.7	3.50	13.0
	3NPK	17.2	313	254	33.4	3.34	13.3
	mean	16.3	304	221	29.9	3.59	12.8
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		n.s.	n.s.	n.s.	3.46	n.s.	0.61
		1.81	n.s.	13.2	3.19	0.20	0.38
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.29	0.54

High doses of fertilizer which had been applied to the plants, caused an increase of the nitrate reductase activity – in small bean by 32%, white lupine by 23%, yellow lupine by only 4%. The activity of this enzyme decreased by a few percent as result of supplemental irrigation.

Table 3. Dry matter, nitrate content, and enzyme activity in white lupine leaves at blooming

Irrigation	Mineral fertilization	Dry matter %	N-NO ₃ mg·kg ⁻¹ d.m.	Nitrate reductase uMNaNO ₂ ·g·h ⁻¹	Peroxidase $\frac{\Delta E}{100g \cdot s}$	Phosphatase mM·100g·0.5h ⁻¹	
						alkaline	Acid
O	0NPK	11.1	273	169	28.0	7.99	21.7
	1NPK	12.0	295	184	31.3	7.81	25.2
	3NPK	12.1	317	217	35.0	7.09	27.1
	mean	11.8	295	190	31.4	7.63	24.7
W	0NPK	10.8	173	162	29.0	9.08	22.4
	1NPK	11.7	293	174	32.3	6.89	27.3
	3NPK	12.6	305	191	37.0	6.74	27.9
	mean	11.7	257	176	32.8	7.57	25.9
Means for fertilization	0NPK	11.0	223	165	28.5	8.54	22.1
	1NPK	11.9	294	179	31.8	7.35	26.3
	3NPK	12.4	311	204	36.0	6.92	27.5
	mean	11.7	276	183	32.1	7.60	25.3
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		n.s.	n.s.	1.71	n.s.	n.s.	n.s.
		0.34	9.03	7.00	1.14	0.45	0.84
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Table 4. Dry matter, nitrate content, and enzyme activity in yellow lupine leaves at blooming

Irrigation	Mineral fertilization	Dry matter %	N-NO ₃ mg·kg ⁻¹ d.m.	Nitrate reductase uMNaNO ₂ ·g·h ⁻¹	Peroxidase $\frac{\Delta E}{100g \cdot s}$	Phosphatase mM·100g·0.5h ⁻¹	
						alkaline	Acid
O	0NPK	12.5	179	169	29.0	6.47	22.7
	1NPK	12.9	187	178	40.0	8.15	26.1
	3NPK	12.8	169	179	42.7	6.69	25.4
	mean	12.7	178	175	37.2	7.11	24.7
W	0NPK	11.8	138	167	27.7	7.93	23.7
	1NPK	12.1	169	176	37.0	8.78	27.1
	3NPK	12.3	187	172	37.0	7.13	27.2
	mean	12.1	165	171	33.9	7.94	26.0
Mean for fertilization	0NPK	12.2	158	168	28.3	7.20	23.2
	1NPK	12.5	178	177	38.5	8.47	26.6
	3NPK	12.5	178	175	39.8	6.91	26.3
	mean	12.4	171	173	35.6	7.53	25.4
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization interaction		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.35	n.s.
		n.s.	8.71	n.s.	8.50	0.45	1.24
		n.s.	9.12	n.s.	9.71	0.61	1.54

Table 5. Photosynthetic activity in small bean, and lupine leaves

Object		Small bean					White lupine					Yellow lupine				
Irrigation	Fertilization	Photosynthesis ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Transpiration ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_i^* $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_{leaf}^* ($^{\circ}\text{C}$)	g_c^* $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	Photosynthesis ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Transpiration ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_i^* $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_{leaf}^* ($^{\circ}\text{C}$)	g_c^* $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	Photosynthesis ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Transpiration ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_i^* $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_{leaf}^* ($^{\circ}\text{C}$)	g_c^* $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
O	0 NPK	7.54	1.45	252	22.5	0.13	6.47	2.19	336	23.8	0.51	5.95	1.46	354	23.3	0.48
	3 NPK	8.82	1.51	244	22.4	0.15	7.07	2.33	306	22.6	0.67	6.23	1.50	344	23.2	0.50
W	0 NPK	10.7	2.09	294	21.8	0.29	7.78	3.12	375	20.7	0.82	6.83	1.94	369	22.5	0.52
	3 NPK	11.2	2.35	264	21.7	0.34	9.16	3.45	344	20.6	0.95	7.14	2.11	360	22.3	0.56
Effect of irrigation	O	8.18	1.48	248	22.4	0.14	6.77	2.26	321	23.2	0.59	6.09	1.48	349	23.2	0.49
	W	10.9	2.22	279	21.7	0.31	8.47	3.29	359	20.6	0.89	6.98	2.03	364	22.4	0.54
Effect of fertilization	0 NPK	9.10	1.77	273	22.1	0.21	7.12	2.65	356	22.3	0.66	6.39	1.70	361	22.9	0.50
	3 NPK	10.0	1.93	254	22.0	0.25	8.11	2.89	325	21.6	0.81	6.68	1.80	352	22.7	0.53
LSD _{0.05} for: Irrigation Fertilization Interaction		r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.n.	r.i.
		r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
		r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.i.	r.i.	r.i.	r.i.	r.n.	r.n.	r.i.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

* / C_i - sub - stomatal CO_2 concentration; T_{leaf} - leaf temperature; g_c - stomatal conductance

The nitrate reductase activity was closely linked to the content of nitrate nitrogen in the leaves. The lower content of nitrates in the irrigated plant leaves, and hence lower activity of nitrate reductase, could be connected with a rapid reduction of the nitrates and incorporation of the nitrogen into aminoacids in plants of increased photosynthesis. Such explanation is feasible also because these plants contained more chlorophyll and carotene (Table 1), developed a larger leaf surface (Part 1), and showed increased photosynthesis (Table 5).

The activity of peroxydase increased by 25-40% as result of fertilization, and by 4-13% as effect of supplemental irrigation of small bean and white lupine. Irrigation of yellow lupine caused a decrease of this enzyme activity by 10%. A stimulation of the peroxydase activity by mineral fertilizers was also described by Zbiec et al. (1986), Karczmarczyk et al. (1993), Gurgul and Haman (1994), Biczak et al. (1999). The activity of the phosphatases was hardly dependent on the applied measures, the only exception being a slight increase of the acid phosphatase activity as result of irrigation, and a 10-24% increase caused by fertilization. The acid phosphatase acts as the enzyme which catalyses the hydrolysis of phosphoric acid esters in acid environment, thus regulates the level of inorganic phosphorus in the cells. The opinions on the connection of mineral fertilization with the activity of this enzyme vary, Rao et al. (1997) suppose that the enzyme is more active if the level of phosphorus in the soil is low, Goldstein et al. (1988) think that the activity of acid phosphatase is quite random. Our earlier study (Karczmarczyk et al., 1989), and that of Biczak et al. (1999) showed that a high content of phosphorus in the soil caused an increase of the acid phosphatase activity in plants.

An increased activity of enzymes, high level of chlorophyll and carotenoides, caused by irrigation and fertilization, enhanced the photosynthesis and biomass production. The measurements of photosynthesis which results are shown in Table 4 demonstrate a 33% increase of the photosynthesis of small bean leaves as result of irrigation, white lupine by 46%, yellow lupine by 15%. Mineral fertilizers increased the photosynthesis by 10, 14, and 4%, respectively. Transpiration was also elevated by irrigation: of small bean by 50%, white lupine by 46%, yellow lupine by 37%. The transpiration increase caused by fertilization was smaller – by 9% in small bean and white lupine, by 6% in yellow lupine. These two processes – photosynthesis and transpiration are closely linked. A larger production of organic compounds increases the demand for minerals uptake from

soil and their transport to the green parts of the plant, on the other hand, the increased supply of minerals, particularly magnesium, also nitrogen, stimulates the assimilation and pigment synthesis.

The concentration of carbon dioxide in substomatal cells was smaller in plants well fertilized, which photosynthesis was increased.

The reason of this phenomenon was a larger uptake and use of carbon dioxide during assimilation. The leaf conductivity was also increased as result of the applied measures, in the irrigated white lupine – by 51%. The enhanced conductivity of the leaf stimulates the transport of CO₂ to the photosynthetic apparatus. The temperature of leaves of the irrigated plants was slightly lower than that of the control ones.

The results pertaining to the photosynthetic activity of plants confirmed earlier studies done by Wojcieszka (1994), Wojcieszka and Szczypa (1971), Wojcieszka-Wyskupajtyś (1996), Karczmarczyk et al. (1999), Zbiec et al. (1988).

The increased leaf surface, pigment content, enzyme activity, and intensity of CO₂ assimilation, which resulted from the supplemental irrigation and high doses of fertilizer stimulated the assimilation process and biomass production, hence caused significant yield increases.

CONCLUSIONS

1. Supplemental irrigation and high fertilizer doses caused a significant increase of the chlorophyll and carotenoides content in the leaves of small bean, white lupine and yellow lupine. The combined effect of both applied measures was shown in an 38% increase of the chlorophyll content in small bean leaves, 28% in white lupine, and 20% in yellow lupine. The content of carotenoides increased by 38, 18, and 12%, respectively.
2. High doses of NPK increased the activity of nitrate reductase, particularly in small bean and white lupine leaves, and of peroxydase in all three plants. The activity of acid phosphatase was higher in plants from well fertilized plots, irrigation was less effective, which concerned also the nitrate reductase.
3. High fertilizer doses and irrigation caused an increase of the CO₂ assimilation and transpiration, also a decrease of the carbon dioxide concentration in the substomatal cells. The leaf conductivity was elevated as result of irrigation and fertilization.

These effects were much more expressed in the leaves of small bean and white lupine than of the yellow lupine leaves.

REFERENCES

- ARNON D.J., ALLEN M.B., WHATLEY F. 1956: Photosynthesis by isolated chloroplasts. IV General concept and comparison of three photochemical reactions. *Biochim. Biophys. Acta* 20, 449-461.
- BICZAK R., GURGUL E., KARCZMARCZYK S., HERMAN B. 1999: Enzyme activity and yield of stalk celery and leek under the influence of mineral fertilization. Part I. Peroxydase activity in leaf tissue. *Fol.Univ.Agric.Stetin.* 193, *Agricultura* 73, 19-27.
- GOLDSTEIN A.H., BAERTLEIN D.A., MC DANIEL R.G. 1988: Phosphate starvation induced metabolism in *Lycopersicon esculentum*. I. Excretion of acid phosphatase by tomato plants and suspension cultured cell. *Plant Physiol.* 87,711-715.
- GURGUL E., HERMAN B. 1994: Influence of nitrogen, phosphorus and potassium on chemical composition and activity of some enzymes in celery during its growth. *Biol.Plant.* 36,2,39-51.
- KARCZMARCZYK S., KACZMAREK G., KOWALSKI W., FRIEDRICH S. 1990: Yield, growth and development of some oat cultivars as affected by irrigation and mineral fertilization. Part. 3. Changes of some features of the plant and content of pigments and enzyme activity.. *Annal. Scient. Stetinensis*, t. V,2.2.27-43. (in Polish)
- KARCZMARCZYK S., KACZMAREK G., ZBIEĆ I., KOSZAŃSKA E. 1989: Influence of irrigation and mineral fertilization on some physiological processes in plants, yield and chemical composition of oat grain. Part I. Chlorophyll and carotenoides content, and activity of some enzymes in the plant. Conference: *Bioch.Stos. w Nauk. Roln., AR Szczecin*, 64-68. (in Polish)
- KARCZMARCZYK S., KOSZAŃSKI Z., PODSIADŁO C. 1993: Course of some physiological processes and yield of winter and triticale as affected by irrigation and nitrogen fertilization. Part I. Chlorophyll and carotenoides content in some parts of winter wheat and triticale. *Acta Agrobotanica*, vol.46,2.1,15-30. (in Polish)
- KARCZMARCZYK S., RAKOWSKI D., KOSZAŃSKI Z., PODSIADŁO C., BICZAK R. 1999: Activity of some physiological processes and yield of spring wheat and triticale as effect of supplemental irrigation and fertilization. *Fol Univ. Agric. Stetin.* 193, *Agricultura* 73, 53-64.
- NALBARCZYK E., NALBARCZYK T., WAWRZONKOWSKA B. 1981: Models of photosynthetic activity in cereals. *Photosynthesis. VI. Photosynthesis and Environment*. Ed. by G.Akoyunoglon, 97-106.
- RAO I.M., BORRERO V., RICAURTE J., GARCIA R., AYRZA M.A. 1997: Adaptive attributes of tropical species to acid soils. III. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type. *J.Plant Nutr.* 20(1),155-180.
- SCHANARRENBURG C., MOHR H. 1970: Carotenoid synthesis in mustard seedlings as controlled by phytochrome and inhibitors. *Planta*, 94, 296-307.
- WOJCIESKA U. 1994: The effect of nitrogen nutrition of wheat on plant growth and CO₂ exchange parameters. *Acta Physiol.Plant.*, 16,269-272.
- WOJCIESKA-WYSKUPAJTYS U. 1996: Effect of nitrogen on yield and some physiological parameters in rye plants. *Acta Physiologiae Plantarum* v.8.No 1, 19-24.
- WOJCIESKA U., SZCZYPA E. 1971: Growth and photosynthesis productivity of winter wheats. Part II. Changes of photosynthetic activity and productivity due to the plants aging. *Pam Pul.* 44,44-70. (in Polish)

- WOJCIESKA U., WOLSKA E., KRÓL M. 1981: Yield size and structure, and the activity of nitrate reductase of some oat cultivars as affected by nitrogen dose. *Pam.Pul.* 75, 31-43. (in Polish)
- WOJCIESKA U., WOLSKA E., GIZA A. 1991: Influence of nitrogen nutrition on the yield of spring wheat, and on the activity of nitrate reductase as an index of the plant supply with nitrogen. *Pam.Pul.* 98,22-38. (in Polish)
- ZBIEĆ I., GURGUL E., KARCZMARCZYK S. 1986: Activity of peroxydase and catalase in leaves of plants irrigated and fertilized with various doses of nitrogen. *Zesz.Nauk. AR Szczecin, Roln. XLI, Agrot.* 125,175-180. (in Polish)
- ZBIEĆ I., KARCZMARCZYK S., KACZMAREK G. 1988: Growth and yield of corn subjected to water and nutrient stress. Part I. Photosynthesis intensity and enzyme activity in leaves and yield of corn. *Zesz.Nauk. AR Szczecin, Rol. XLVI*, 135, 257-272. (in Polish)
- ZBIEĆ I., KARCZMARCZYK S., KOWALSKI W., FRIEDRICH S., GURGUL E. 1989: Influence of water and mineral nutrients supply of corn on the growth, structure, pigment content and some enzyme activity in leaves. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, 343, 101-109. (in Polish)

Streszczenie: *Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie bobiku i łubinu uprawianych na glebie lekkiej. Cz. II. Zawartość barwników i aktywność enzymów w roślinach.* W przeprowadzonych badaniach określono wpływ uzupełniającego deszczowania oraz wysokiego nawożenia mineralnego na zawartość chlorofilu i karotenoidów, intensywność fotosyntezy oraz aktywność enzymów oksydacyjno-redukcyjnych, w liściach bobiku, łubinu białego i żółtego uprawianych na glebie lekkiej. Stwierdzono, że zastosowane zabiegi spowodowały wzrost zawartości barwników fotosyntetycznych w liściach oraz modyfikowały aktywność enzymów. Pod wpływem nawożenia mineralnego wzrosła aktywność reduktazy azotanowej, peroksydazy i kwaśnej fosfatazy. Nawadnianie obniżyło aktywność reduktazy azotanowej. Ponadto stwierdzono, że pod wpływem zastosowanych zabiegów wzrosła asymilacja CO₂ i transpiracja, a zmniejszyło się stężenie dwutlenku węgla w komórkach przyszparkowych. Aktywność tych procesów była znacznie większa w liściach bobiku i łubinu białego niż łubinu żółtego.

Autor's address:

Cezary Podsiadło

Zakład Podstaw Produkcji Roślinnej i Nawadniania Roślin, Akademia Rolnicza w Szczecinie
71-434 Szczecin, ul. Słowackiego 17

Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil

Part III. Chemical composition and nutritional value of the crop

STANISŁAW KARCZMARCZYK¹, CEZARY PODSIADŁO¹,
ZDZISŁAW KOSZAŃSKI¹, EUGENIUSZ GURGUL²

¹ Department of Plant Production and Irrigation, Agricultural University in Szczecin

² Department of Biochemistry, University in Częstochowa

Abstract: *Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of small bean and lupine grown on sandy soil. Part III. Chemical composition and nutritional value of the crop.*

This study concerned the influence of supplemental irrigation and NPK doses on the chemical composition and nutritional value of small bean, white lupine and yellow lupine seeds. It was found that irrigation caused a decrease of the contents of nitrates, protein, lipids and ash in seeds, whereas high NPK doses increased the contents of nitrogen compounds, protein, fiber and ash. The protein yield was higher from irrigated and well fertilized plants. The biological value of the seeds' protein (CSI, EAAI, Total AA) was higher in seeds of irrigated plants. high doses of NPK had a negative effect. The content of alkaloids and tannins in the seeds of irrigated plants was lower than that of the non irrigated ones.

Key words: irrigation, mineral fertilizer, small bean, white and yellow lupine, chemical composition, aminoacids, nutrition.

INTRODUCTION

Seeds of leguminous plants are the only kind of protein-rich crop which the farmer can produce on his own farm. Cultivation of these plants is the least expensive manner of producing valuable fodder covering the demand for high-protein feed. This leads to an intensification of animal production without high costs. The yield of leguminous plants, their chemical composition and nutritional value can be altered, among others by mineral fertilization, supplemental irrigation, which was shown by Dziezyc (1993), Dziezyc and Biskupski (1974), Karczmarczyk et al. (1990, 1999), Buniak and Zbiec (1997), Szukala et al. (1997). Studies concerning the influence of intense agrotechnique on the chemical composition of crops are of great importance. For that reason, this

study was undertaken to assess the influence of supplemental irrigation and high doses of mineral fertilizer on the content of minerals and nutritional value of seeds of small bean, white lupine and yellow lupine.

MATERIALS AND METHODS

The layout of the experiment has been described in Part 1 of the paper. The Part 3 concerns the content of some macro- and microelements, aminoacids content, alkaloid content in the seeds, thus to evaluate their nutritional value.

The nitrogen content was assessed by Kjeldahl, nitrate by ionselective electrode, K, P, Ca by photometry, Mg, Fe, Zn by atomic absorption.. The protein content was calculated by multiplying the N content by 6.25. Aminoacids were analyzed in 6N HCl-hydrolysate, by automatic AA analyzer (AAST-88), the EAAI – by Oser, the CSI by Block and Mitchell. The AA analyses were done for the watered and non watered objects, and for the non fertilized and 3 NPK fertilized ones.

RESULTS

The applied irrigation and fertilizers influenced the content of nitrogen compounds, the yield of protein and the chemical composition of the plants (Table 1,2).

Supplemental irrigation caused a decrease of nitrate content in the seeds of small bean by 13%, and of lupine by 7 and 5%. The protein content was not altered, though the protein yield increased in the case of small bean by 37%, of white lupine by 17% of yellow lupine by 12%. Mineral fertilizer doses had a greater impact on the content of nitrogen compounds than irrigation. The content of nitrates in the small bean seeds increased by 15%, in those of the lupines by 8 and 7%. The total nitrogen and protein content was increased by 4 to 6%, the total protein yield from an area unit increased by 83% (small bean), 79% (white lupine), 25% (yellow lupine). Supplemental irrigation of the plants had only a minor effect on the content of nutrients. The seeds contained 0.5 to 2% less crude protein, less lipids and ash, a little more non- nitrogen compounds. The seeds of plants which had been fertilized with high NPK doses contained more protein, fiber and ash than the low fertilized ones.

Table 1. Content of total nitrogen, nitrate nitrogen, total protein and yield of protein in small bean, white lupine and yellow lupine seeds (mean of 4 years)

Object		N-NO ₃ (mg*kg ⁻¹)	Total nitrogen (%)	Total protein (%)	Yield of protein (kg*ha ⁻¹)
Small bean					
Means for irrigation	O	207	4.37	27.3	878
	W	180	4.40	27.5	1201
Means for fertilization	0 NPK	178	4.25	26.6	701
	1 NPK	191	4.37	27.3	983
	2 NPK	200	4.41	27.6	1195
	3 NPK	205	4.50	28.2	1279
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization		23.4	n.s.	n.s.	53.1
		15.2	0.15	0.95	37.2
White lupine					
Means for irrigation	O	231	5.45	34.1	1062
	W	220	5.34	33.4	1242
Means for fertilization	0 NPK	217	5.29	33.1	780
	1 NPK	222	5.38	33.7	1090
	2 NPK	227	5.41	33.8	1341
	3 NPK	235	5.50	34.4	1396
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization		n.s.	n.s.	n.s.	57.0
		14.3	n.s.	n.s.	46.5
Yellow lupine					
Means for irrigation	O	215	6.19	38.7	829
	W	200	6.00	37.5	924
Means for fertilization	0 NPK	193	5.90	36.9	734
	1 NPK	204	6.05	37.4	871
	2 NPK	217	6.18	38.7	985
	3 NPK	215	6.23	39.3	916
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization		n.s.	n.s.	n.s.	51.5
		19.1	0.23	1.74	31.6

Table 2. Chemical composition of small bean, white lupine and yellow lupine seeds (%)

Object		Dry matter	Crude protein	Fibre	Lipides	Ash	Nitrogen free extract
Small bean							
Irrigation	O	88.9	30.3	9.36	1.73	3.46	55.2
	W	88.8	28.3	9.61	1.53	3.39	57.1
Mineral fertilization	0 NPK	89.0	28.8	9.22	1.69	3.25	57.0
	1 NPK	88.9	29.0	9.49	1.64	3.43	56.4
	2 NPK	89.0	29.4	9.66	1.60	3.49	55.9
	3 NPK	88.7	30.0	9.57	1.60	3.54	55.3
LSD _{0.05} for : irrigation fertilization		n.s.	1.11	n.s.	0.13	n.s.	1.08
		n.s.	1.07	n.s.	0.08	0.20	1.04
White lupine							
Irrigation	O	90.0	34.8	18.1	9.96	4.18	32.9
	W	89.9	34.0	17.9	9.21	3.95	34.9
Mineral fertilization	0 NPK	90.0	33.9	17.6	9.87	3.78	34.9
	1 NPK	89.9	34.2	18.3	9.70	4.03	33.8
	2 NPK	89.8	34.5	18.1	9.41	4.20	33.7
	3 NPK	90.2	35.1	18.1	9.35	4.25	33.1
LSD _{0.05} for : irrigation fertilization		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1.31
		n.s.	0.89	n.s.	0.54	0.43	1.12
Yellow lupine							
Irrigation	O	89.5	41.9	16.9	6.24	5.15	29.9
	W	89.6	40.0	17.3	5.93	5.35	31.5
Mineral fertilization	0 NPK	89.5	39.9	16.6	6.24	5.33	31.9
	1 NPK	89.4	40.4	17.1	6.26	5.27	31.0
	2 NPK	89.4	41.2	17.3	6.00	5.28	30.2
	3 NPK	89.8	42.2	17.3	5.84	5.13	29.6
LSD _{0.05} for : irrigation fertilization		n.s.	0.98	n.s.	n.s.	n.s.	0.83
		n.s.	0.87	n.s.	0.39	n.s.	0.69

Table 3. Content of macroelements and some microelements in small bean, white lupine and yellow lupine seeds (mean of 4 years)

Object		P	K	Ca	Mg	Fe	Zn
		%				mg · kg ⁻¹	
Small bean							
Mean for irrigation	O	0.57	1.19	0.08	0.10	70.1	49.4
	W	0.56	1.20	0.09	0.11	72.1	51.4
Mean for fertilization	0 NPK	0.52	1.12	0.07	0.10	59.6	45.8
	1 NPK	0.56	1.17	0.07	0.10	64.0	48.1
	2 NPK	0.59	1.22	0.10	0.11	75.9	52.9
	3 NPK	0.59	1.27	0.10	0.11	84.9	54.8
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		0.05	0.11	0.01	n.s.	8.89	5.79
White lupine							
Mean for irrigation	O	0.54	1.34	0.21	0.14	64.2	38
	W	0.51	1.40	0.22	0.14	63.3	39
Mean for fertilization	0 NPK	0.49	1.29	0.20	0.14	59.1	38
	1 NPK	0.53	1.34	0.22	0.14	65.6	39
	2 NPK	0.55	1.40	0.22	0.14	64.4	39
	3 NPK	0.55	1.44	0.22	0.14	65.9	38
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		0.05	0.07	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Yellow lupine							
Mean for irrigation	O	0.73	1.47	0.21	0.20	77.6	68.6
	W	0.74	1.54	0.23	0.23	76.8	72.6
Mean for fertilization	0 NPK	0.71	1.40	0.22	0.22	69.1	70.6
	1 NPK	0.73	1.53	0.22	0.22	74.4	70.9
	2 NPK	0.76	1.54	0.22	0.21	80.8	70.5
	3 NPK	0.76	1.55	0.21	0.21	84.5	70.4
LSD _{0.05} for: irrigation fertilization		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	8.52	n.s.

High fertilizer doses caused some increase of macroelements content in small bean seeds, so was the effect of fertilizer on the content of Fe and Zn.

The nutritional value of protein depends mainly on its aminoacid composition, particularly on the content of essential aminoacids.

According to Pastuszewska (1997), the biological value of leguminous plant seeds is determined by the content of methionine and tryptophan. The results concerning the AA composition of the protein are given in Tables 4,5,6.

Table 4. Chemical Score Index (CSI), Essential Amino Acid Index (EAAI) and sum of Essential amino acids (Σ EAA) in small bean seeds

Object		CSI			EAAI	Σ EAA
		Met+Cys	Trp	Phe+Tyr		
O	0 NPK	33.3	43.9	57.1	69.1	93.1
	3 NPK	32.9	41.7	55.7	68.1	89.6
W	0 NPK	36.3	51.0	62.8	75.0	101.1
	3 NPK	34.2	47.2	57.8	70.4	92.9
Mean for irrigation	O	33.1	42.8	56.4	68.6	91.4
	W	35.3	49.1	60.3	72.7	97.0
Mean for fertilization	0 NPK	34.8	47.5	60.0	72.1	97.1
	3 NPK	33.6	44.5	56.8	69.3	91.3

Table 5. Chemical Score Index (CSI), Essential Amino Acid Index (EAAI) and sum of Essential amino acids (Σ EAA) in white lupine

Object		CSI			EAAI	Σ EAA
		Met+Cys	Trp	Phe+Tyr		
O	0 NPK	42.8	39.8	69.1	70.3	91.0
	3 NPK	40.1	38.5	67.4	68.8	86.8
W	0 NPK	46.5	47.0	75.1	75.7	98.3
	3 NPK	44.7	44.1	72.1	72.7	94.1
Mean for irrigation	O	41.5	39.2	68.3	69.6	88.9
	W	45.6	45.6	73.6	74.2	96.2
Mean for fertilization	0 NPK	44.7	43.4	72.1	73.0	94.7
	3 NPK	42.7	41.3	69.8	70.8	90.5

Table 6. Chemical Score Index (CSI), Essential Amino Acid Index (EAAI) and sum of Essential amino acids (Σ EAA) in yellow lupine

Object		CSI			EAAI	Σ EAA
		Met+Cys	Trp	Phe+Tyr		
O	0 NPK	45.3	42.7	54.2	67.0	93.1
	3 NPK	43.8	41.2	51.7	64.9	89.1
W	0 NPK	49.8	48.3	59.6	72.0	102.1
	3 NPK	47.9	48.5	57.3	70.1	97.8
Mean for irrigation	O	44.6	42.0	53.0	66.0	91.1
	W	48.9	48.4	58.5	71.1	100.0
Mean for fertilization	0 NPK	47.6	45.5	56.9	69.5	97.6
	3 NPK	45.9	44.9	54.5	67.5	93.5

It was shown that irrigation caused an increase of the limiting AA factor (CSI), tryptophan and sum of phenylalanine and tyrosine. The essential aminoacid index (EAAI) also increased as effect of supplemental irrigation, so did the total AA content. High doses of NPK had an adverse effect, all the indeces mentioned above decreased, which means that the nutritional value was lower. These results confirmed earlier findings of Karczmarczyk et al. (1996, 1999), Koziar (1996), who also found a beneficial effect of supplemental irrigation on the nutritional value of cereals. Papers of Jasinska and Kotecki (1993), Pastuszewska (1997) mentioned differences of the biological value of cereal and leguminous plants species and varieties, but studies on the effect of agrotechnical measures on their nutritional value are rather scarce.

Table 7. Content of anti-nutritional compounds in small bean (tannin) and lupines (alkaloids) seeds (in %)

Object		Small bean	White lupine	Yellow lupine
O	0 NPK	1.50	0.043	0.183
	3 NPK	1.26	0.041	0.181
W	0 NPK	1.41	0.030	0.130
	3 NPK	1.16	0.029	0.128
Means for irrigation	O	1.38	0.042	0.182
	W	1.29	0.030	0.129
Means for fertilization	0 NPK	1.46	0.037	0.157
	3 NPK	1.21	0.035	0.155

Assessment of a crop's nutritional value must include the content of anti-nutrition compounds. Lupine seeds contain alkaloids, which level in fodder lupine seeds should not exceed 0.2%. Small bean seeds contain trypsin and protease inhibitors, and also tannins and hemagglutynine. These substances decrease the uptake of nutrients by animals, thus have an adverse effect on their well being and growth.

Seeds of lupine from irrigated plots contained less alkaloids than those from non irrigated, and so was the content of tannine in small bean seeds. Mineral fertilizer had no influence on the content of these substances in seeds.

The production of leguminous plants in Poland should be increased. Studies concerning the cultivation of plants yielding seeds of high nutritional value are necessary if we

want to promote animal production and also plant production by increasing the number of fertile fields for the cultivation of cereals.

CONCLUSIONS

1. As the result of supplemental irrigation of small bean, white lupine and yellow lupine, decreased the content of protein, lipids and ash in their seeds. High doses of mineral fertilizer caused an increase of nitrate content, and also of total nitrogen, protein, fiber and ash. Both measures caused an increase of protein yield, since it depended on the total yield of seeds.
2. Irrigation increased, fertilization decreased the indeces of the biological value of the protein contained in the seeds. The content of alkaloids and tannins in the seeds of the irrigated plants was lower than of the non irrigated ones. The dose of fertilizer had no effect on the content of the anti-nutritional substances in seeds.

REFERENCES

- BUNIAK W., ZBIEC I.I. 1997: The quality of irrigated crop. Proc. Of Polish-Israeli Conf. On Water Requirements and Irrigation Effects of Plants Cultivated in Arid and Semi-arid Climate. Tel Aviv, v.II:247-252.
- DZIEZYC J. (ED), 1992: Yield-forming factors – Plant yield. PWN Warsaw (in Polish).
- DZIEZYC J., BISKUPSKI A. 1974: Changes of yield and seed quality of some wheat cultivars, as effect of irrigation and mineral fertilizer. Zesz.Probl.Post.Nauk Rol., 140:285-296. (in Polish).
- JASIŃSKA Z., KOTECKI A. 1993: Nutritional value of leguminous plant seeds in animal feeding. Leguminous Plants. PWN Warsaw (in Polish).
- KARCZMARCZYK S., KACZMAREK G., KOSZAŃSKI Z., ZBIEĆ I.I. 1990: Yield, growth and development of oat cultivars as affected by irrigation and mineral fertilization. Part 2. Chemical composition of the seeds. Szczec. Roczn.nauk. v.2:17-25 (in Polish).
- KARCZMARCZYK S., KOSZAŃSKA E., TYRAKOWSKA U. 1999: Response of some spring barley cultivars to irrigation and mineral fertilizer. Part 3. Chemical composition of the yield and soil. Fol.Univ.Agric.Stetin. 193, Agricultura 73:139-144 (in Polish).
- KARCZMARCZYK S., KOSZAŃSKA E., SCIAZKO D., TYRAKOWSKA U. 1996: Comparison of the response of two oat cultivars to irrigation and mineral fertilization. Part 2. Enzyme activity and grain chemical composition. Zesz.Probl.Post.Nauk Rol. 438:227-234 (in Polish).
- KARCZMARCZYK S., KOSZAŃSKI Z., ZBIEĆ I.I., GURGUL E. 1999: Response of some spring triticale cultivars to irrigation and mineral fertilizers. Part 3. Physiological processes, chemical composition and technological properties of the crop. Fol.Univ.Agric.Stetin. 193, Agricultura 73:79-85 (in Polish).
- KOZIARA W. 1996: Growth, development and yield of spring and winter triticale as related to meteorological and agrotechnical factors. Roczn.AR Pozn., Dissertations 269 (in Polish).

- PASTUSZEWSKA B. 1997: Nutritional value of leguminous seeds in animal feeding. Zesz.Probl.Post.Nauk Rol., 446:83-94 (in Polish).
- SZUKAŁA J., MACIEJEWSKI T., SOBIECH S. 1997: Influence of irrigation and nitrogen fertilization on the yield of small bean, pea and white lupine. Zesz.Probl.Post. Nauk Rol., 446: 247-252 (in Polish).

Streszczenie: *Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie bobiku, łubinu białego i łubinu żółtego uprawianych na glebie lekkiej Cz. III. Skład chemiczny i wartość odżywcza plonu. W przeprowadzonych badaniach określono wpływ uzupełniającego deszczowania i wysokich dawek NPK na skład chemiczny i wartość odżywczą nasion bobiku oraz łubinu białego i żółtego. Stwierdzono, że pod wpływem deszczowania zmniejszyła się zawartość N-NO₃, białka, tłuszczu i popiołu, natomiast wysokie dawki NPK powodowały wzrost zawartości związków azotu, białka, włókna i popiołu. Plon białka wzrastał pod wpływem obu zastosowanych zabiegów. Deszczowanie polepszyło, a wysokie dawki NPK pogorszyły wskaźniki (CS, EAAI, EAA) biologicznej wartości białka nasion. Również zawartość substancji antyżywniowych (alkaloidy i tanina) ulegała obniżeniu w nasionach z obiektów nawadnianych.*

Autor's address:

Stanisław Karczmarczyk

Zakład Podstaw Produkcji Roślinnej i Nawadniania Roślin. Akademia Rolnicza w Szczecinie
71-434 Szczecin, ul. Słowackiego 17. Poland

Irrigation effects on selected forage crops in the Wrocław region

STANISŁAW ROJEK, KAZIMIERZ CHMURA

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław

Abstract: *Irrigation effects on selected forage crops in the Wrocław region.* The investigations were conducted over the years 1962-97 in the Plant Irrigation Station at Samotwór by Wrocław on soil of IVa and b valuation class belonging to a rye complex. The crops studied were: cereals (3), silage crops (3), root crops (4), forage perennial (7), perennial grass-papilionace mixtures (3). Experiments were also conducted with a red fescue meadow and pasture. It was found that irrigation and nitrogen fertilisation increased the yield of all the plants studied, except for white-pink clover which lowered yield under N fertilisation. Productivity of 1 mm irrigation was fairly high. Sprinkling decreased the content protein and crude fibre, whereas nitrogen fertilisation increased protein content and decreased crude fibre content.

Key words: forage crops, irrigation, fertilisation, yield, feeding value

INTRODUCTION

One of the important problems of Polish agriculture is the production of cheap and healthy food obtained from plants and animals. Increasing of animal production, and thus of high quality, healthy food, is possible on the basis of a good fodder, which is the raw material for production of milk, animal stock, eggs, wool, etc. Fodder plants are grown mostly on light soils, where grasslands are also localised. On such soils in dry years the predominate factor limiting yield of fodder crops is not enough moisture in the soil. Drought in summer exerts especially negative effect on the dynamics of growth of perennial plants (meadow, pasture, grass). In order to prevent those harmful effects, farms should have irrigation equipment in their disposal to insure the optimal conditions for plant growth.

At present in Poland the agricultural production is in a crisis caused by imports of cheap, subsidised fodder and food of plant and animal origin, reorganisation of the state agricultural sector as well as falling demand on the home and foreign markets for animal products.

It should, however, be emphasised that it is a temporary situation, and the economical conditions will make farmers to utilise modern technology in crop cultivation. One element of such technology is the creation of optimal conditions for plant development.

Previous investigations and literature on irrigation of forage crops are numerous but mostly fragmentary. There are no studies based on multiannual investigations analysed in a synthetic way [1-21].

Therefore, the main aim of the present work is an evaluation and synthesis of multiannual investigations on the effect of irrigation and fertilisation on yielding of the main forage crops and grasslands, as well as how these measures effect the fodder quality.

CONDITIONS, METHOD AND SCOPE

The experiments with sprinkling forage crops and grasslands were conducted over the years 1962-97 in the Plant Irrigation Station of Agricultural University at Samotwór by Wrocław, on a light alluvial soil, formed of a weak-loamy sand with an underlying loose band, of IVa and b evaluation class on a strong rye complex.

The weather course is represented in Fig. 1. There are extreme deviations of temperature and precipitation relative to the mean from 35 years of investigation (1962-1997). The average sum of precipitation for a half-year of that period was 379.9 mm, and the mean temperature 14.5°C. The lowest precipitation occurred in 1992 (221.3 mm), and the highest in 1977 (548.7 mm). The lowest mean temperature for vegetation period (13.0 °C) was recorded in 1980, and the highest (16.4 °C) in 1992.

The thermal data indicate that the lowest deviations from the multiannual mean occurred in April, September and May; whereas the highest in June, July and August. Likewise were the precipitation deviations.

The field experiments were performed using the split-block method in dependent system, with three variables (water, N fertilisation and cultivar) in 4 repeats, whereas the laboratory investigations - with standard methods. The investigation included three groups of annual forage plants aimed for nutritive fodder (cereals), bulky wet (silage and fodder crops) and bulky dry (perennial papilionaceae and grasses). Names of the plant

species studied, mixture compositions, mineral fertilisation used and mean number of doses, as well as overall irrigation doses during vegetation are given in Table 1.

Sprinkling was applied dependent on weather course and plant development. The irrigation started when the suction force of soil dropped below 200 mm mercury at tensiometers.

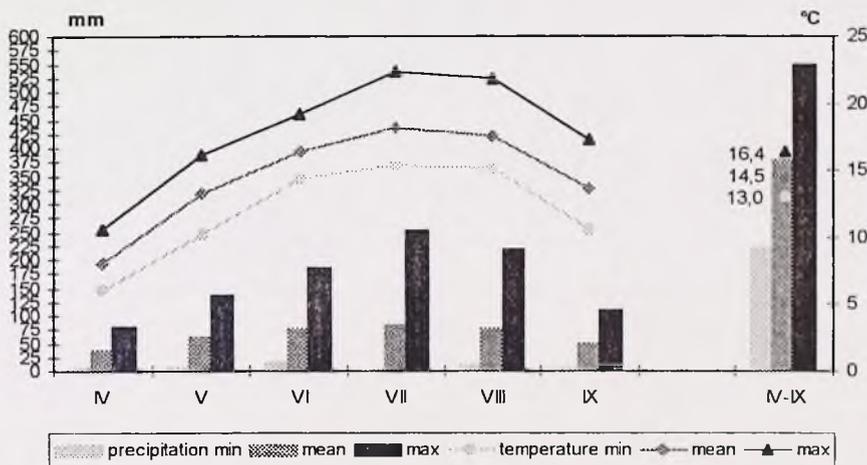


Fig. 1. Extremal temperature and precipitation in 1962-1997

RESULTS

The effect of sprinkling and nitrogen fertilisation on yielding of the crops studied and the percent increases and decreases in yield due to the measures applied are presented in Table 1. The data there are averages for the multi-year period. From the investigations it follows that of the corn crops the highest grain yields gave winter triticale (5.0 t/ha), while the straw yield from maize grown for grain was 10.1 t/ha.

Irrigation increased the grain yield of the corns studies by 10% on average, that of straw by 11%, whereas nitrogen fertilisation 15% grain and 27% straw, respectively. Maize fertilised with nitrogen fertilisers decreased the straw yield by 2%. The greatest increases in yield were obtained with simultaneous application of sprinkling and nitrogen

fertilisation (grain 25% and straw 39% average). The highest results were obtained in triticale cultivation, the lowest with maize (Tab.2). The weak reaction of maize to the treatments can be explained by its high needs with respect to temperature. Hence, in our climatic conditions the yield is restricted by the thermal conditions.

Of the silage plants the best yields resulted from fodder cabbage crops - 62.9 t/ha green mass, and the lowest from fodder maize (51.2 t/ha g.m.). The yield increases due to sprinkling were within the range 22-44 %, due to N fertilisation 13-19%, and due to the two combined (W+N) 38-62%.

Fodder root crops yield well on average, the highest yields being obtained from fodder beets (70.3 t/ha roots). The applied irrigation increased the root yields by 11-34% and bulbs by 17%. Nitrogen fertilisation caused the greatest increase in fodder potatoes (32%), smaller for half-sugar beets (27%), and smallest for fodder carrots and fodder beets. Irrigation and nitrogen fertilisation together gave best results. These measures induced fresh mass yield increase by 47% on average.

The next group studied are perennial plants grown for hay mainly, sown pure or in mixtures. It was found that despite the fairly high yields of hay - 9.8 t/ha on average, the applied sprinkling caused 27% increase in yield, nitrogen fertilisation 86%, and irrigation and fertilisation 125%. Especially high increases in yield were obtained from plantations of Cocksfoot, meadow, Italian ryegrass, Timothy grass and Rescue grass.

Productivity of 1mm water from irrigation was rather high and amounted on average to 67 kg of fresh mass for root crops, 15 kg hay for perennial fodders, and 4 kg grain and 7 kg straw for cereals (Tab. 2).

The percent content of protein is given in Tab. 3 and crude fibre in Tab. 4. The data show that the grain of fodder cereals contained 11.1% protein, straw 4.4%, root crops and silages 6.3 - 14.7%, whereas perennial fodders 13.8%.

Sprinkling, as a rule, decreased the amount of crude protein and N inputs decreased it. The two factors together effected protein content variously. It increased the content in the hay of perennial forage crops and in small grains (Tab. 3).

The mean content of crude fibre in the grain of fodders was at the level of 4.1%, straw 43.9%, silage and root crops 16.2%, and perennial fodders 29.5%. Irrigation decrease that content. Also nitrogen inputs and simultaneous use of both factors, in general,

decreased the crude fibre content. An exception were fodder potatoes whose fibre content did not change due to irrigation and N fertilisation.

Summing up, from the nutritional point of view, irrigation unfavourably affected the content of crude fibre, diminishing it, whereas nitrogen fertilisation gave positive results. The effect of both factors on crude fibre in dry mass was positive in the two cases, as in forage there should be much protein and little crude fibre.

Table 1. Irrigation and mineral fertilisation applied to the forage crops studied.

Species	Irrigation on average, mm/doses	Fertilisation (kg of component per 1 ha)		
		nitrogen (N)	phosphorus (P ₂ O ₅)	potassium (K ₂ O)
fodders annual				
Spring barley	106/4	100	50	60
Winter triticale	106/4	125	50	60
Maize for grain	90/3	200	142	200
Fodder cabbage	125/4	140	80	120
Maize for green fodder	125/4	140	80	120
Mixture ¹⁾	125/4	140	80	120
Forage potato*	150/5	125	60	170
Forage carrot	134/5	140	80	120
Forage beet*	134/5	140	80	120
Half-sugar beet*	142/5	150	105	180
perennial fodders				
White-pink clover	159/5	20	60	80
Red clover	159/5	20	60	80
Alfalfa	159/5	20	60	80
Pasture	175/4	360	72	120
Meadow ²⁾	174/5	360	72	120
Mixture ³⁾	128/4	240	72	120
Mixture ⁴⁾	100/5	360	72	120
Mixtures ⁵⁾	130/4	240	92	120
Italian ryegrass	107/5	360	72	120
Timothy grass	115/5	360	82	120
Rescue grass	130/4	360	92	120
Cocksfoot	118/5	360	82	120

1) - field pea+spring vetch+sunflower

2) - red fescue type grassland

3) - red clover+timothy grass

4) - chicory+red clover+white clover+meadow fescue+timothy grass+Italian ryegrass

5) - alfalfa+cocksfoot+rescue grass+timothy grass

*- manure fertilization 30 t/ha

Table 2. Yield of annual and perennial forage crops (t/ha) and results of the agrotechnical measures applied (%).

Plant	Yield t/ha	Yield increase (%) - treatments:				
		Productivity kg/1mm	irrigated (W)	ferti- sation* (N)	N×W	
fodders annual						
Spring barley	grain	4,2	4	10	16	27
	straw	4,7	7	16	37	54
Winter triticale	grain	5,0	5	10	26	36
	straw	9,1	10	13	45	63
Maize	grain	4,3	4	10	2	12
	straw	10,1	3	3	-2	1
On average	grain	4,6	4	10	15	25
	straw	8,0	7	11	27	39
Fodder cabbage	green forage	62,9	92	22	13	39
Maize	green forage	51,2	138	44	19	62
Mixture ¹⁾	green forage	56,3	90	24	14	38
Forage potato	bulbs	28,5	30	17	32	51
Forage carrot	roots	48,4	97	34	16	53
Forage beet	roots	70,3	57	12	15	31
	foliage	21,0	34	28	26	59
Half-sugar beet	roots	45,8	33	11	27	35
	foliage	33,3	32	14	35	57
On average		x	67	23	22	47
perennial fodders (hay)						
White-pink clover		8,3	21	50	-6	43
Red clover		10,4	17	30	4	30
Alfalfa		11,2	16	26	9	29
Pasture		5,9	7	5	21	28
Meadow ²⁾		10,2	10	18	129	167
Mixture ³⁾		10,5	39	45	13	59
Mixture ⁴⁾		10,7	13	16	106	124
Mixtures ⁵⁾		14,1	2	2	7	8
Italian ryegrass		5,6	30	80	210	350
Timothy grass		8,9	16	27	179	251
Rescue grass		11,9	5	5	135	138
Coesfood		9,9	9	13	224	277
On average		9,8	15	27	86	125

* - dependent on species, nitrogen input for highest yields (compare Tab. 1)

Other denotations as in Tab. 1

Table 3. Contents of crude protein in annual and perennial forage plants (% of dry mass), and effect of the agrotechnical measures used (increase, decrease)

Plant		Crude protein, % of dry mass	Increase (decrease) of contents (%) - irrigated (W)	treatments: fertili- sation* (N)	N×W
fodders annual					
Spring barley	grain	10,6	0,1	2,1	1,3
	straw	3,7	-0,2	0,9	1,0
Winter triticale	grain	12,4	0,1	2,0	1,9
	straw	3,9	0,1	1,6	1,2
Maize	grain	10,4	0,0	0,6	0,3
	straw	5,7	-0,1	0,6	0,3
On average	grain	11,1	0,1	1,6	1,2
	straw	4,4	-0,1	1,0	0,8
Fodder cabbage	green forage	11,4	-0,9	1,1	-0,4
Maize	green forage	7,8	-0,8	1,0	0,0
Mixture ¹⁾	green forage	14,7	0,8	1,8	2,3
Forage potato	bulbs	8,5	0,0	1,7	1,2
Forage carrot	roots	6,3	-1,1	1,2	0,4
Forage beet	roots	6,6	-0,4	0,9	0,2
	foliage	10,9	0,8	2,2	2,3
Half-sugar beet	roots	5,5	-0,6	1,4	0,5
	foliage	13,0	1,1	1,8	3,0
On average		•	-0,2	1,3	0,7
perennial fodders (hay)					
White-pink clover		15,0	1,9	1,8	2,5
Red clover		14,8	1,1	1,1	2,7
Alfalfa		15,4	0,8	1,0	1,5
Pasture		14,6	-1,3	-0,5	-2,4
Meadow ²⁾		13,4	0,6	2,4	3,2
Mixture ³⁾		13,7	0,1	3,4	3,9
Mixture ⁴⁾		15,6	-0,9	2,1	1,0
Mixtures ⁵⁾		15,2	1,7	2,5	3,1
Italian ryegrass		12,0	-0,1	2,9	2,3
Timothy grass		11,9	-0,5	3,4	3,0
Rescue grass		12,0	0,7	3,2	3,4
Cocksfoot		12,2	-0,6	3,0	2,6
On average		13,8	0,2	2,5	2,7

Denotations as in Tab. 1

Table 4. Contents of crude fibre in annual and perennial forage plants (% of dry mass), and effect of the agrotechnical measures used (increase, decrease)

Plant		Crude fibre, % of dry mass	Increase (decrease) of contents (%) - treatments:		
			Irrigated (W)	fertili- sation* (N)	N×W
fodders annual					
Spring barley	grain	6,6	-0,1	0,7	0,7
	straw	45,4	0,5	0,0	1,0
Winter triticale	grain	4,8	-0,3	-0,2	-0,2
	straw	53,8	-0,6	1,9	1,9
Maize	grain	1,0	-0,1	-0,1	-0,2
	straw	32,4	-0,9	-0,5	-1,3
	On average				
	grain	4,1	-0,2	0,1	0,1
	straw	43,9	-0,3	0,0	0,5
Fodder cabbage	green forage	20,4	-1,9	-1,7	-3,6
Maize	green forage	28,3	-1,7	-1,5	-3,1
Mixture ¹⁾	green forage	25,5	-2,4	-2,5	-4,4
Forage potato	bulbs	2,9	0,4	0,6	0,6
Forage carrot	roots	7,8	-2,8	-0,8	-2,6
Forage beet	roots	5,8	-0,7	-0,8	-1,1
	foliage	10,6	-1,0	-0,6	-1,0
Half-sugar beet	roots	5,3	-0,4	-0,8	-0,6
	foliage	11,7	0,6	0,2	0,1
	On average				
		16,2	-1,0	-0,9	-1,7
perennial fodders (hay)					
White-pink clover		28,8	-1,6	-1,8	-2,5
Red clover		29,4	-2,8	-0,4	-2,7
Alfalfa		30,0	-3,0	-1,8	-5,0
Pasture		•			
Meadow ²⁾		28,0	-0,8	-5,1	-6,7
Mixture ³⁾		25,9	-1,8	-7,5	-8,4
Mixture ⁴⁾		•			
Mixtures ⁵⁾		29,1	-0,6	-1,7	-2,4
Italian ryegrass		•			
Timothy grass		31,1	-0,3	-2,3	-1,2
Rescue grass		31,3	-0,3	-2,1	-3,2
Coesfood		31,6	0,1	-0,9	-2,8
	On average				
		29,5	-1,2	-2,6	-3,9

Denotations as in Tab. 1

CONCLUSIONS

1. Yielding of the forage crops studied depended on the weather course, plant species, time and amount of sprinkled water, and on nitrogen input.
2. The highest yields are obtained using sprinkling and mineral fertilisation together.
3. Sprinkler irrigation induces yield increases of all the crops studied (Table 2).
4. Nitrogen fertilisation affects the yield favourably, with the exception of white-pink clover (Tab. 2).
5. High productivity of 1 mm sprinkled water was found, which was on average 67 kg fresh mass for root crops, 15 kg hay for perennial fodders and 4 kg grain and 7 kg straw for cereals (Tab. 2).
6. Sprinkling decreases the content of protein content and crude fibre in dry mass of the species discussed.
7. Nitrogen fertilisation increases protein content (pasture is an exception) and as a rule decreases percentage of crude fibre in dry mass of plants.

REFERENCES

1. CHMURA K. 1987: Possibility of increased yielding of grasses grown on arable land. Conf. Proceedings: Intensification of feed production on arable land. Szczecin. (in Polish)
2. CHMURA K. 1995: Sprinkler irrigation of forage crops. Conf. Proc.: Technological and productive possibilities of utilisation of agricultural environment in various regions of Poland, 13-14 June, Wrocław. (in Polish)
3. CHMURA K., 1997: Durability of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) grown in grass mixture under watering. CINADCO, Tel Aviv, Conf. Israel, 5-16 december 1997 „Water requirements and irrigation effects cultivated in arid and semiarid climates”.
4. CHMURA K., ROJEK S. :1988: Water needs of meadow fescue. Zesz.Probl.Post.Nauk Rol., 343. (in Polish)
5. FRITZ Z., MIKOŁAJCZAK Z., PREŚ J. 1981: Feeding value of cocksfoot and rescue grass fertilised with high nitrogen inputs. Zesz.Nauk.AR Wrocław. Zoot. 135, 24. (in Polish)
6. HOLT N. W., 1983: Yield and composition of brome-grass-alfalfa as affected by ammonium nitrate and ammonium phosphale fertilizers. Can. J. Pl. Sc., 63, 1.

7. JARMISKA P. 1984: Some aspects of nitrogen fertilisation of perennial fodders. *Agrochemia*, 24, 9. (in Russian)
8. JELINOWSKA A., MAGNUSZEWSKA K. 1985: Evaluation of some grass species for cultivation in mixtures with Lucerne. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 293. (in Polish)
9. KITCZAK T., PAWLUS M. 1987: Effect of irrigation and nitrogen fertilisation on yielding of lucerne, rescue grass and chicory in pure and mixed sowing. *Conf. Proc.: Intensification of feed production on land. Szczecin.* (in Polish)
10. KOBOZEV J.V. 1981: Productivity of lucerne and grass mixtures dependent on sprinkling and way of fertilisation. *Izv.Timiriazev.Sel.-Choz.Akad.*, 2. (in Russian)
11. KOZAKIEWICZ J., PRIEBE M., JANKOWIAK J. 1976: Effect of sprinkling and increasing mineral fertilisation on yield of cocksfoot. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 181. (in Polish)
12. KRAUZE A., BARCSAK Z., BOBRZECKA D., DOMSKA D. 1983: Effect of high inputs of mineral fertilisers on productivity and feed value of grasses in field cultivation. *Zesz.Nauk.ART. Olszt.*, Rol.36. (in Polish)
13. MIKOŁAJCZAK Z. 1978: Results of nitrogen fertilisation of permanent grassland in Lower Silesia. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 210. (in Polish)
14. NICZYPUROK A. 1977: Usefulness of some grass species in intensive fodder production. *Wiad.Mel. i Łąk.*, XX. 8-9. (in Polish)
15. OLKOWSKI M., MLYNARCZYK K., KLICKI M. 1983: Comparison of yielding of cocksfoot and ryegrasses and their usefulness in simple mixtures on rotated croplands. *Zesz.Nauk.ART. Olszt.*, Rol.38. (in Polish)
16. PAWLAT H. 1975: Effect of atmospheric precipitation on growth of meadow sward under varied irrigation and NPK fertilisation. *Zesz.Nauk.AR Warszawa, Mel.Roln.* 13. (in Polish)
17. PODKÓWKA Z., PODKÓWKA L., CERNAK B. 1998: Yielding and chemical composition of maize green fodder. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 462. (in Polish)
18. ROJEK S. 1973: Sprinkler irrigation of forage crops and a meadow under various fertiliser inputs. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 140. (in Polish)
19. ROJEK S. 1983: Optimisation of protein content in perennial forage crops, grown under high nitrogen fertilisation and sprinkling. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 238. (in Polish)
20. ROJEK S., CHMURA K.: Water needs and irrigation effects on fodder crops in Poland. *Conf.Israel. 5-16 december 1997 „Water requirements and irrigation effects cultivated in arid and semiarid climates.*
21. ROJEK S., ZELNIKER E., MOSZ J. 1982: Effect of sprinkling and fertilisation on yield structure and feed value of maize hybrids. *Zesz.Probl.Post.Nauk Rol.*, 236. (in Polish)

Streszczenie: *Efekty nawadniania wybranych roślin pastewnych uprawianych w rejonie Wrocławia. Badania przeprowadzono w latach 1962-1997 w Stacji Nawadniania Roślin w Samotworze k. Wrocławia, na glebie lekkiej, IVa i b klasy bonitacyjnej, zaliczonej do kompleksu żytniego. Badano następujące gatunki roślin: pastewne jednoroczne (burak, marchew, ziemniak, kapusta, kukurydza, jęczmień, pszenżyto ozime), pastewne wieloletnie (kupkówka pospolita, rajgras wyniosły, stokłosa obiedkowata, tymotka łąkowa, życica wielokwiatowa, koniczyna białoróżowa, koniczyna czerwona, lucerna mieszańcowa oraz ich mieszańki) a także roślinność łąkową i pastwiskową. Stwierdzono, że nawadnianie powodowało wzrost plonu wszystkich badanych roślin. Przyrost plonu był zależny od przebiegu pogody, gatunku rośliny, terminu i dawki polewowej. Nawadnianie powodowało przyrosty plonu roślin zbożowych - 10% (ziarno) i 3-16% (słoma), okopowych w granicach 11-34% (korzenie), 14-28% (liście), 17% (bulwy), innych jednorocznych (22-44% świeżej masy) oraz motylkowych (26-50%), traw (średnio 31%), roślinności łąk i pastwisk (5-18% masy siana).*

Autor's address:

Rojek Stanisław, Kazimierz Chmura

Department of Environmental Effects of Agriculture, Agricultural University of Wrocław
50-363 Wrocław, pl.Grunwaldzki 24, Poland

The impact of sprinkler irrigation and Nitrogen fertilisation upon the yield volume and quality of triticale and winter wheat cultivated on light soils nearby Kraków

ADAM RUŻYCZKA¹, ALEKSY GAŁKA²

¹Department of Melioration and Environmental Engineering, Agricultural University, Kraków

²Department of Ecological Basis of Environmental Engineering, Agricultural University, Kraków

Abstract: *The impact of sprinkler irrigation and Nitrogen fertilisation upon the yield volume and quality of triticale and winter wheat planted on light soils nearby Krakow.* The experiment was conducted on light soil, on the premises of Agricultural Experimental Farm in Mydlniki. The investigation objective has been defined as the impact assesment of sprinkler irrigation and different level of Nitrogen fertilisation upon the yield of winter triticale „Grado” and winter wheat „Grana”. The first level factor consisted in two variants of irrigation, the second level factor was N fertilisation in variants of 0, 75, 100, 125, and 150 kg pure component per 1 ha. The needs and terms of sprinkler watering were defined on the basis of regional precipitation needs. In the three years period of research, it can be observed that sprincler irrigation raised yield of triticale by 18,0%, on the average, and the yield of wheat - by 12,6%. The highest yields of grain were obtained in the plots fertilised with the dose of 150 kg N ha⁻¹. Watering and intensification of N fertilisation resulted also in higher yields of general protein from 1 ha.

Key words: sprinkler irrigation, fertilisation, triticale, winter wheat, yield.

INTRODUCTION

The intensive use of mineral fertilisers is a very effective method leading to high yields in plantations. This finding has been corroborated by agricultural practice and research over the traditionally raised cereals, including the experiments with triticale. However, at the recommended dosages of fertilisers amounting to 300 – 400 kg NPK ha⁻¹ in the case of intensive varieties of winter wheat, a decline in yield was observed (rather than increase) in the years indicating periodical shortage of precipitation. This finding proves that - in conditions of appropriately rich soils - water content becomes a limiting factor. Research shows that the highest yields are obtained when optimum water content (60 –

80% of total water holding capacity) is preserved throughout the vegetation period. Considering Polish climatic conditions, in the case of light soils it is possible through irrigation. (Rajda 1987, Rużyczka 1992).

The optimisation of water conditions is practically limited to the periods of highest water demand, which are defined as critical. In relation to cereals, the critical periods overlap with the time of ear formation and wax maturity. The phases of spreading and sprouting are also sometimes included in the category of critical periods (Dzieżyc, Nowak and Panek 1987). In the case of winter wheat, in the spring/summer period, water demand measured in mm of in-field water consumption or optimum precipitation distribution has been found as follows:

IV	V	VI	VII	sum total IV – VII
30-44	65-74	60-84	43-70	198 – 272 mm.

In the national scale the precipitation shortages for winter wheat are significant, amounting to 135 mm in dry year and 75 in average year for plantations on light soils. In the case of medium soils, the shortages are smaller (approx. 35 mm), and occur only in dry years. Water shortages are additionally compounded by the uneven precipitation distribution during the vegetation period, the frequent dry years, and high percentage of agricultural areas with light soils which have low water retention capacity. Water deficiency has been growing also in effect of intensive mineral fertilisation and the concomitant water demand growth (Gałka 1990).

The most numerous experiments and research over the influence of sprinkler irrigation and mineral fertilisation have been effected in Central and Western Poland, where the discussed shortages are highest. According to Drupka's classification (Drupka 1975), these areas are listed in spheres I and II, with the highest and medium justification of sprinkler irrigation use. Research effected in the regions of Wrocław, Poznań, Szczecin, Bydgoszcz, and Warsaw showed a good efficiency level of light soils irrigation (Dzieżyc et al. 1987, Grabarczyk et al. 1997, Karczmarczyk 1979, Żarski 1993).

Numerous research over the effects of sprinkler irrigation in plantations, implemented in various regions of Poland, included also the recently introduced new cereal - *triticale*. The constantly improved lineage generations of triticale indicate many advantageous features. Triticale has high potential fertility; it is resistant to most diseases and tolerant

to low pH of soil; fertilisation requirements are low while the fodder value of grain very significant. (Ruzyczka 1992).

Alongside the regional localisation research over triticale plantations, studies are made concerning the impact of sprinkler irrigation and diversified mineral fertilisation over the volume and quality of yields. Such studies will allow to develop optimum plantation methods, and to identify the micro-regions and soils where triticale plantations can be expected to provide best economic effects.

The water content in soil is related to the effectiveness level of fertilisation. The effectiveness of fertilisation, consisting basically in supplying the plants with necessary nutritional components, depends on the composition of soil and the synchronisation of fertilisation procedures with the rhythm of nutrients absorption by the plants. Consequently, it is essential to define precisely the dosages of mineral fertilisers in irrigation conditions, in order to obtain their optimum level in soil.

In the past, research over the introduced triticale plantations focussed on the selection of best lineage generations, and the comparative study of yield levels in relation to other cereals. Currently, a number of Polish agricultural research centres have initiated research over the volume and quality of triticale yield in conditions of variable mineral fertilisation and sprinkler irrigation (Karczmarczyk et al. 1999).

The present paper is meant as contribution to studies aiming at triticale yield growth and quality improvement through the amelioration of a single development factor – consisting in water-content in soil during vegetation period.

The analysis objective has been defined as the impact assessment of sprinkler irrigation and Nitrogen fertilisation upon the yield volume and chemical composition of winter triticale “*Grado*”, planted in light soils nearby Kraków. The systematically improved new varieties of triticale have high economic potential in Polish agriculture, due to the very considerable fodder value. For comparative purposes, the paper discusses also the results of similar and simultaneous research over winter wheat variety “*Grana*”.

METHODS OF INVESTIGATION

The natural conditions of agricultural facility.

The experiment was effected in the premises of Rolniczy Zakład Doświadczalny AR

(Experimental Agricultural Farm of the Agricultural University in Kraków) in Mydlniki, lying within the administrative limits of the city of Kraków. The experimental facility lies between the road leading from Kraków to Balice, and the *Młynówka Królewska* rivulet. The facility lies at the height of 240 m over sea level; it is flat, with insignificant slope (0.5%) towards the *Młynówka Królewska*.

From the viewpoint of climatic characteristics, defined according to Gumiński's classification, the facility lies in the Southern section No XV within the *Częstochowa-Kielce* climatic/agricultural region. In the period 1891 – 1930, the average annual precipitation amounted to 721 mm, mean annual temperature was 8.4°C, and 19.0°C, in July. On the average, snow cover lies here for 80 days, while 20-40 days are frosty. The vegetation period extends for 220 – 230 days - starting on 1st April and lasting until the first decade of November. The multiyear (1891-1930) precipitation mean in the period April-July, amounted to 334 mm.

The soil of experimental fields is classified as *brown type* and subcategory of *proper brown soil*, developed on the basis of glacier waters sand.

The surroundings of Kraków are classified in the IV-th zone of least usefulness of sprinkler irrigation. However, the precipitation index is highly variable here in the period May through July. Very detailed analysis effected by Nogawiecka (1978) showed that the monthly balance of precipitation and potential evaporation has often been negative. Soil drought has been demonstrated to occur in the years with precipitation lower than multiyear average, while yield volume of plantations grew considerably in effect of irrigation. Irrigation has influenced also considerably the yield volume fluctuations between particular years (Rajda 1987, Gałka 1997).

Methods

Experimental research was effected on light soil, in the field of total surface of 2.5 ha. Eighty plots of the dimensions of 8 m x 4 m (8 m x 3.5 m for harvesting) were prepared. The variable factors were distributed in four re-iterations according to random sub-groups method.

The experiment schedule included two managed factors. The first level factor consisted in sprinkler irrigation in two variants: W_0 - the control facilities (with no sprinkler irrigation), and W_1 - facilities managed according to the method of regional precipitation

demand (Dziezyc et al. 1987). The second level factor was Nitrogen fertilisation in variants of 0, 75, 100, 125, and 150 kg of pure component per 1 ha. The dosage of 75 kg N ha⁻¹ was applied in all variants (except for controls) prior to sowing. All the other higher fertiliser dosages were applied in the period of sprouting. The Phosphorus and Potassium fertilisation was applied in similar dosages equal to 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 55 kg of K₂O ha⁻¹ prior to sowing. The agro-technical procedures were implemented mechanically, according to generally adopted rules. Meteorological data were obtained from own observations in the area of Mydlniki. Water content in soil was defined through drying-and-weighing method.

Irrigation was effected with the application of sprinkler-system produced by Yugoslav company *Agrostroy*, based on short range "Rinka" rotating sprinklers. The average combined intensity of precipitation was 5 mm per hour. Water used in irrigation was drawn from *Młynówka Królewska* rivulet.

In the course of harvesting, samples of grain and straw were collected for laboratory analysis. Independently of watering intensity variant and the level of Nitrogen fertilisation, the plantation of cereals was effected according to generally accepted rules. In the entire research period, no damages to plantation or cereal lodging cases were observed. Conclusions were formulated on the basis of statistical analysis of empirical data. ANOVA method was applied which led to the finding of significant differences between the impacts of given factor, at significance levels $\bar{\alpha} = 0.05$ and $\bar{\alpha} = 0.01$ at Snedecor F – test.

RESULTS

Meteorological conditions in the course of vegetation periods

The vegetation periods of cereals (April through August) , in the years 1987-1989, indicated lower precipitation in comparison the multiyear average 1956-1989 (Table 1). The lowest precipitation was observed in 1988 (81% of the multiyear average) . In 1988, a precipitation shortage of 33.2 mm (12%) was registered for winter wheat, in relation to decade precipitation requirements. High unevenness of precipitation was observed – not only in month scale but also in decades. Research showed periodical

precipitation shortages in particular decades, in relation to needs, while in each studied vegetation period, clusters of two successive decades with no precipitation whatsoever were registered. In 1987 and 1988, it was the third decade of April and the first decade of May; in 1989, the third decade of June and the first decade of July.

Mean temperature in each one of the studied vegetation periods did not deviate more than 0.5°C from the average multiyear value, while 1987 proved to be the coolest.

Table 1
Distribution of atmospheric precipitation for 1987-89 period in the Mydlniki RZD on the base of earliest observations and founded by Dziezyc et al. (1987) decades water demands for winter wheat (in mm)

Year	Decade	Month				Sum IV-VII	Yearly sum
		IV	V	VI	VII		
1987	1	26,9	0,5	42,5	17,2		
	2	6,5	67,5	56,8	21,6		
	3	0,0	14,0	13,0	18,3		
	Sum	33,4	82,0	112,3	57,1	284,8	666,1
1988	1	11,5	0,0	23,2	22,2		
	2	15,0	39,0	26,1	33,2		
	3	0,4	59,4	11,0	6,8		
	Sum	26,9	98,4	60,3	62,2	247,8	566,1
1989	1	45,7	13,4	50,6	0,2		
	2	1,9	28,9	29,2	39,5		
	3	48,7	21,3	0,0	2,5		
	Sum	96,3	63,6	79,8	42,2	281,9	473,4
1987-89	1	28,0	4,6	38,8	13,2		
	2	7,8	45,1	37,4	31,4		
	3	16,4	31,6	8,0	9,2		
	Sum	52,2	81,3	84,1	53,8	271,4	568,5
Mean for 1956-89 Except for 1980	Monthly sum	44,8	74,6	93,3	90,6	303,3	
Decades water demands for winter wheat	1	15,0	20,0	26,0	28,0		
	2	15,0	23,0	28,0	27,0		
	3	18,0	23,0	33,0	25,0		
	Monthly sum	48,0	66,0	87,0	80,0	281,0	

Sprinkler irrigation management:

The needs and terms of sprinkler watering were defined on the basis of regional precipitation needs. This method relied essentially on the comparison of so called *model needs curve* for given plant, developed on the basis of decade requirements indicators, depending on the soil cohesion and region of plantation, with the *observed precipitation curve* corrected for the water retention of soil and air temperature. Sprinklers are

activated when the sum of observed precipitation is lower than the sum of precipitation needs by 0.5 of the sprinkler-watering dose. The unfavourable distribution of precipitation indicated the need for sprinkling even in the case when overall precipitation sums exceeded (except for 1988) the precipitation needs in this region of the Poland.

The yield

In particular years of observation, the yield of triticale grain was less differentiated in comparison to winter wheat, though triticale yield was on the average 9.8% lower compared to wheat, except for 1987 (Table 2).

Table 2
The yield of grain triticale „Grado” and winter wheat „Grana” in the 1987-89 period (t ha⁻¹)

Variant of sprinkling	Year	Nitrogen fertilization in kg ha ⁻¹					Mean
		0	75	100	125	150	
Triticale „GRADO”							
Non sprinkled	1987	2.66	2.88	3.11	3.47	3.85	3.19
	1988	3.04	3.33	3.45	3.74	4.44	3.60
	1989	3.20	3.45	3.51	3.74	4.64	3.71
	Mean	2.97	3.22	3.35	3.65	4.31	3.50
Sprinkled	1987	3.66	3.76	4.04	4.29	4.34	4.02
	1988	3.34	3.14	3.99	4.69	5.15	4.06
	1989	3.39	3.46	4.06	4.98	5.37	4.25
	Mean	3.46	3.46	4.03	4.66	4.95	4.11
Mean sum	1987	3.16	3.32	3.57	3.88	4.10	3.61
	1988	3.19	3.24	3.72	4.22	4.80	3.83
	1989	3.29	3.46	3.79	4.36	5.00	3.98
	Mean	3.22	3.34	3.69	4.15	4.63	3.81
LSD(0.05) for irrigation treatments = 0,14 LSD(0,05) for N fertilization treatments = 0,21							
Winter wheat „GRANA”							
Non sprinkled	1987	2.26	2.76	2.89	3.25	3.75	2.98
	1988	2.82	3.59	4.87	5.35	5.37	4.40
	1989	2.88	3.86	4.95	5.35	5.71	4.55
	Mean	2.65	3.40	4.23	4.65	4.95	3.98
Sprinkled	1987	2.87	3.58	3.88	3.99	4.15	3.70
	1988	3.05	4.06	4.91	5.61	5.87	4.70
	1989	3.00	4.19	5.49	6.21	6.43	5.07
	Mean	2.97	3.94	4.76	5.27	5.48	4.49
Mean sum	1987	2.56	3.17	3.39	3.62	3.95	3.34
	1988	2.93	3.82	4.89	5.48	5.62	4.55
	1989	2.94	4.02	5.22	5.78	6.07	4.81
	Mean	2.81	3.67	4.50	4.96	5.21	4.23
LSD(0.05) for sprinkling treatment =0.13 LSD(0,05) for N fertilisation treatments = 0,21							

In the three years period of research, the mean yield of triticale grain for various fertilisation variants amounted to 4.13 t ha^{-1} , in sprinkler-irrigated facilities, and 3.5 t ha^{-1} - in non-irrigated ones, while in the case of winter wheat the respective yields were 4.48 t ha^{-1} , and 3.98 t ha^{-1} . Thus, it can be observed that sprinkler watering raised the yield of triticale by 18.0% , on the average, and the yield of wheat - by 12.6%. In the case of both studied plants, highest yields of grain were obtained in the plots fertilised with the dose of 150 kg ha^{-1} . The mean yields were as follows : triticale - 4.95 t ha^{-1} , wheat - 5.48 t ha^{-1} , with sprinkler watering , while respectively 4.31 t ha^{-1} and 4.95 t ha^{-1} . In conditions of sprinkler watering, the maximum yields of grain , reaching 5.37 t ha^{-1} for triticale, and 6.43 t ha^{-1} for wheat were obtained in 1989 , with the dose of 150 kg ha^{-1} . On the basis of ANOVA , it was found that both the watering and Nitrogen fertilisation influenced significantly the yield of both studied cereals.

The mass of 1000 grains of both cereals indicated significant dependence on both watering and Nitrogen fertilisation. Sprinkler watering resulted in average mass growth from 50.1 g to 54.2 g , i.e. 8.2 % in the case of triticale , and from 46.5 g to 49.6 g , i.e. 6.7% - in the case of winter wheat.

The above index grew when increased dosages of Nitrogen applied. In both water variants, the highest values were observed at the Nitrogen dose of 150 kg ha^{-1} . For sprinkler watered cereals the index values were 57.7 g (triticale) and 50.1 g (wheat), while in the case of non-irrigated cereals , the respective values were 55.1 g and 51.0 g .

Watering and intensification of Nitrogen fertilisation resulted also in higher yields of general protein from 1 ha. When highest dose of Nitrogen was applied, protein yields averaged 570 kg ha^{-1} in triticale grain , and 66 kg ha^{-1} in straw , if sprinkling watering was applied : respectively 434 kg ha^{-1} and 51 kg ha^{-1} - with no sprinkler watering.

In both water variants, the highest yields of cereal straw were obtained at the fertilisation dosage of 150 kg N ha^{-1} . Per one hectare , the yields of straw averaged 5.27 t of triticale straw and 5.12 t of wheat straw , in sprinkler-watered facilities, and respectively 3.92 t and 4.68 t , in non-irrigated ones. In conditions of sprinkler watering, maximum yields of straw reached 5.98 t ha^{-1} for triticale , and 6.01 t ha^{-1} - for wheat.

Statistical analysis corroborated the significant impact of both watering and Nitrogen fertilisation , as well as the synergy of both above factors, upon the straw yield of studied

cereals, at the significance level of $\alpha = 0.05$.

The highest unit effectiveness of Nitrogen fertilisation for triticale was observed at the dosage of 150 kg N ha^{-1} . It amounted to $9.89 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$, in conditions of sprinkler watering, and $8.95 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$, with no irrigation. In the case of straw, the respective values were $10.82 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$, and $7.64 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$.

The highest unit effectiveness of Nitrogen fertilisation for wheat was usually observed at the dosage of 125 kg N ha^{-1} . For grain, the unit productivity amounted to $18.37 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$, in conditions of sprinkler irrigation, and $15.95 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$ in control facilities. In the case of straw, the respective values were $12.48 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$ and $13.78 \text{ kg}^{-1} \text{ kg N}^{-1}$.

The average unit effectiveness of sprinkler watering was $13.57 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ for triticale, and $12.20 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ for winter wheat. Average unit effectiveness was much higher than earlier observed effectiveness values of sprinkler watering of wheat in this region of Poland.

In the case of both triticale and wheat, the highest sprinkler watering effectiveness was obtained with the dosages of Nitrogen fertilisation of 125 kg N ha^{-1} .

CONCLUSIONS

1. Sprinkler irrigation and Nitrogen fertilisation contributed to significant yield growth of grain and straw in studied cereals. The irrigation-induced increase in yields amounted to 18% for triticale grain, and 12.6% for wheat grain.
2. Unit effectiveness of sprinkler irrigation was higher in the case of triticale, compared to winter wheat. For both cereals grain, the highest effectiveness values were observed at the fertiliser dosage of 125 kgN ha^{-1} , amounting to $20.53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ and $14.20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectively.
3. For both cereals, the effectiveness of Nitrogen fertilisation was higher in conditions of sprinkler irrigation, while the Nitrogen utilisation level was lower in the case of triticale, compared to wheat.
4. Sprinkler watering and Nitrogen fertilisation influenced positively the growth of 1000 grains mass, and resulted in higher share of general protein in grains.

REFERENCES

- DZIEŻYC J., NOWAK L., PANEK K. 1987: Decades indicators of precipitation water demand of plants cultivated in Poland. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 314, 11-34. [In Polish].
- DZIEŻYC J., NOWAK L., PANEK K. 1987: Method of irrigation steering according to plant water demand. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 314, 137 - 149.[In Polish].
- DRUPKA S. 1975: Instruction for location of clear water sprinclar devices for agricultural irrigation. *Melior. rolne, Biul. Informacyjny* 1.
- GAŁKA A. 1990: Effect of fertilisation and irrigation on soil moisture contents and the dynamics of the mass of roots in winther wheat. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 246 z.27, 135-145.[In Polish]
- GAŁKA A. 1997: Influence of sprinkler irrigation and fertilisation on yield and root development of wheat cultivated in arid (Northern Nigeria) and in temperate climate (Poland). *Proceedings of Polish - Israeli Conference on Water Requirements and Irrigation Effects of Plants Cultivated in Arid and Semiarid Climates.* Tel-Aviv, II Post.:29-31
- GRABARCZYK S., DUDEK S., RZEKANOWSKI C., ŻARSKI J. 1997: Effects of irrigation of plants in Central Poland with special emphasis on very light soils. *Proceedings of Polish-Israeli Conference on Water Requirements and Irrigation Effects of Plants Cultivated in Arid and Semiarid Climates.* Tel -Aviv, 2: 139-147.
- KARCZMARCZYK S. 1979: Effect of irrigation and mineral fertilisation on small bean, winter wheat and spring barley cultivated in crop rotation and some properties of a sandy soil. *AR Szczec. Rozpr.* 60. [In Polish].
- KARCZMARCZYK S., RAKOWSKI D., KOSZAŃSKI Z., PODSIADŁO C., BICZAK R. 1999: Activity of some physiological processes and yield of spring wheat and triticale as effect of supplemental irrigation and fertilization. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 193 *Agrikultura* (73): 53-64.
- NAGAWIECKA H. 1978: Indicators of water demand and water waste in plant production in the Cracow area. *Zesz. Nauk. AR Kraków. Rozpr.* 58. [In Polish].
- RAJDA W. 1987: Effects of sprinkling irrigation and mineral fertilisation of some root crops and cereals on a light soil in the Cracow region. *AR Kraków. Rozpr.* 114. [In Polish].
- RUŻYCZKA A. 1992: The effect of sprinkling and variable nitrogen fertilisation on yield and quality of triticale cultivated on light soil. *Zesz. Nauk. ART Bydg.* 180 /32/:125 - 131.[In Polish].
- ZARSKI J. 1993: Spring cereals reaction to irrigation and nitrogen fertilization, on a very light sandy soil. *ART Bydg. Rozpr.* 59.[In Polish].

Streszczenie: *Współdziałanie nawadniania deszczownianego i nawożenia azotowego na wysokość i jakość plonu pszenżyta oraz pszenicy ozimej uprawianych na glebie lekkiej koło Krakowa.* Doświadczenie prowadzono na glebach lekkich na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Mydlnikach koło Krakowa. Celem badań było określenie wpływu nawodnienia deszczownianego i zróżnicowanego poziomu nawożenia azotowego na plonowanie i jakość plonu pszenżyta ozimego „Grado” i pszenicy ozimej „Grana”. Czynnikiem doświadczenia były dwa warianty nawodnieniowe (wariant kontrolny bez nawodnienia i obiekty nawadniane) oraz nawożenie azotowe w ilości 0, 75, 125 i 150 kg czystego składnika na 1ha. Potrzeby i terminy deszczowania były określane w oparciu o metodę regionalnych potrzeb opadowych.

Na podstawie danych z trzech lat doświadczeń stwierdzono, że deszczowanie wpłynęło na zwiększenie plonu pszenżyta średnio o 18,0% a plonu pszenicy średnio o 12,6%. Najwyższe plony otrzymano na obiektach nawożonych dawką 150 kg N ha⁻¹. Nawadnianie i intensyfikacja nawożenia azotowego wpłynęła też na wzrost ilości białka ogólnego osiąganego z 1ha.

Authors address:

Adam Rużyczka

Katedra Melioracji i Inżynierii Środowiska
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28. Poland.

Aleksy Galka

Katedra Ekologicznych Podstaw Inżynierii Środowiska
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28. Poland.

Wieloletnie upraszczanie uprawy roli, a stosunki wodne gleby ciężkiej

LESZEK MALICKI, ELŻBIETA PODSTAWKA-CHMIELEWSKA,

KRYSTYNA KISIEL

Katedra Ekologii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Lublinie

Abstract: *Water status of heavy soil after many-year tillage simplification.* The paper presents the results of studies on moisture dynamics in the 0-25 cm layer of soil under simplified crop rotation: horse-bean – winter wheat – spring barley, cultivated as follows: 1. classical (ploughing); zero tillage; 3. direct sowing. It was stated that regardless of seasonal conditions, abandonment of ploughing had not deteriorated the moisture relations. In case of smaller amounts of rainfall, simplifying the cultivation may even favor the better moisture of the soil under horse-bean. Direct sowing can improve the supply of water for wheat. On average, the way of cultivation does not modify the moisture of the soil under barley. However, when connected with significant rainfall, direct sowing creates the threat of excessive soil moisture under spring barley.

Key words: soil tillage, soil moisture, rendzina

INTRODUCTION

Wiedza dotycząca wpływu uproszczeń uprawy roli na plony roślin w różnych siedliskach jest dość bogata (Pudelko *ii.* 1994). Niestety, wciąż nie znamy pełnego obrazu skutków ich wieloletniego oddziaływania jeśli chodzi o wpływ na glebę, w tym na stosunki wilgotnościowe, a poglądy na ten temat zawarte w piśmiennictwie są dość rozbieżne. Niniejsza praca stanowi przyczynek do oświetlenia tego problemu w oparciu o wyniki badań uzyskane na rędzinie – glebie nader interesującej z poznawczego punktu widzenia.

METHODS OF INVESTIGATION

Badania przeprowadzono w latach 1997-1999, w drugiej rotacji doświadczenia zlokalizowanego w G.D. Bezek (wschodnia Lubelszczyzna), należącym do AR w Lublinie. Pole doświadczałne znajdowało się na glebie ciężkiej – rędzinie mieszanej, o

składzie granulometrycznym gliny średniej pylastej, podścielonej marglem, należącej do kompleksu przydatności rolniczej pszennego wadliwego.

Schemat ścisłego doświadczenia polowego (bloki kompletnie zrandomizowane, w 4 powtórzeniach, poletka ustalone) uwzględniał trzy sposoby przedsięwziętej uprawy roli: 1. klasyczny (pluźny), 2. bezorkowy, 3. siew bezpośredni pod rośliny uproszczonego zmianowania: bobik – pszenica ozima – jęczmień jary. Szczegółową uprawę roli przedstawiono w tabeli 1.

Od początku prowadzenia eksperymentu uprawiano te same odmiany roślin: bobik – Nadwiślański, pszenicę – Almar i oraz jęczmień – Klimek. Nie ulegały zmianie także poszczególne elementy ich agrotechniki, zgodne z zasadami ogólnie uznanymi za optymalne w tym siedlisku.

Corocznie w czasie wegetacji, począwszy od II dekady kwietnia, a na II dekadzie października skończywszy, w odstępach 10- dniowych oznaczano dynamikę wilgotności 0-25 cm warstwy gleby każdego poletka. Posłużono się przy tym metodą suszarkowo-wagową ze względu na niehomogeniczność gleby, wykluczającą zastosowanie sposobu wygodniejszego i mniej pracochłonnego, jakim jest np. pomiar tensjometryczny (Malicki i Reszel 1983). Do wierzchniej warstwy rędziny ograniczono się zaś ze względu na fakt, iż ona właśnie decyduje o zaopatrzeniu roślin w wodę (Kuzniar 1973).

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, co polegało na analizie wariancji oraz wyliczeniu najmniejszych istotnych różnic w oparciu o procedurę Tukeya (Oktaba 1986). Wnioskowanie przeprowadzono z ryzykiem błędu $\alpha=0,05$.

RESULTS

Przebieg, niezależnie od warunków sezonu wegetacyjnego, wierzchnia warstwa gleby pod bobikiem uprawianym z siewu bezpośredniego oraz w systemie bezorkowym, okazała się istotnie lepiej uwilgotniona niż wówczas, kiedy stanowisko pod tę roślinę przygotowywano w sposób klasyczny (tab. 2). Wynik ten różni się nieco od uzyskanego w poprzedniej rotacji badanego członu zmianowania (1994-1996), w którym wprowadzanie siew bezpośredni okazał się również najkorzystniejszy dla warunków wodnych rędziny, ale uprawa pluźna i bezorkowa nie różniły się pomiędzy sobą w sposób udowodniony (Malicki i Podstawka-Chmielewska 1999).

Należy jednak zaznaczyć, że taki układ średnich ukształtował jedynie najsuchszy wśród uwzględnionych sezon wegetacyjny 1999 r. (320,6 mm), bowiem w przeciętnym pod tym względem sezonie 1998 r. (343,3 mm) sposób uprawy wpływał na wilgotność gleby analogicznie jak w poprzedniej rotacji, zaś w stosunkowo najbardziej przekropanym sezonie 1997 r. (431,3 mm) różnice wywołane przez różne sposoby uprawy roli leżały w granicach błędu eksperymentalnego (tab. 2).

Brak stwierdzenia statystycznej zmienności interakcji sposób uprawy x lata x terminy pozwala uznać, że sposób przedsięwzięcia przygotowania roli pod bobik długofalowo modyfikuje stosunki wodne gleby pod tą rośliną – zależnie od aktualnych warunków opadowych – przez cały okres wegetacji. Siew bezpośredni, podobnie jak użycie nie odwracającego roli głębosza w uprawie bezorkowej, na ogół sprzyja zwiększaniu wilgotności gleby, w żadnych warunkach nie grożąc jej obniżeniem.

Wilgotność wierzchniej warstwy gleby pod pszenicą ozimą, jako przeciętna, niezależna od warunków sezonowych i terminu oznaczeń, ukształtowała się niemal identycznie, jak pod bobikiem. To znaczy zaniechanie orki przedsięwzięcia w uprawie klasycznej i zastąpienie jej siewem bezpośrednim, bądź użyciem głębosza, dało istotnie korzystniejszy efekt w postaci zapasu wody w glebie (tab. 3). Obserwacja ta nie pokrywała się w pełni z poczynioną w poprzedniej rotacji zmianowania, w której najkorzystniejszy dla wilgotności gleby okazał się siew bezpośredni, istotnie gorsza była uprawa tradycyjna, najbardziej zaś przesuszająca glebę – bezorkowa uprawa (Malicki i Podstawka-Chmielewska 1999).

Warto podkreślić, że omówiony układ średnich nie znajdował odbicia w żadnym z lat badań (tab. 3). Wynikał zaś z nawarstwienia się niewielkich różnic, zacieranych dodatkowo przez opady jesienno – zimowe i wczesnowiosenne, skutkiem czego w latach 1997 i 1998 różnic pomiędzy obiektami uprawowymi nie udowodniono, zaś w 1999 r. jedynie rola pod pszenicą z siewu bezpośredniego okazała się istotnie lepiej uwilgotniona niż uprawiona przedsięwzięciem sposobem klasycznym i bezorkowo. Spostrzeżenie to musi skłaniać do refleksji, bowiem teoretycznie rzecz biorąc spulchniona gleba czy to pługiem czy głęboszem, powinna nasilać magazynowanie zarówno wody z opadów deszczu, jak też z topniejącego śniegu. Tymczasem nawet w sezonie najuboższym podczas badań w opady, co wyraziło się najniższą przeciętną wilgotnością gleby (1999r.), siew bezpośredni zapewnił wyższą wartość tego wskaźnika

jej stanu fizycznego. Wymaga to dokładniejszego zbadania i wyjaśnienia przyczyn, zwłaszcza, że zjawisko ma wyraźny charakter prawidłowości – powtórzyło się nie tylko w kolejnych terminach oznaczeń dynamiki wilgotności, na co wskazuje nieistotność interakcji uprawa x termin oznaczeń oraz interakcji lata x uprawa x termin, ale i w drugiej już rotacji badanego zmianowania. Być może przyczyny należałoby szukać w swoistych właściwościach fizycznych rędziny, znacznie odbiegających od cech innych gleb w tym także ciężkich.

W odróżnieniu od wyżej wymienionych roślin, a także od stwierdzeń poczynionych w badaniach poprzedniej rotacji zmianowania (Malicki i Podstawka-Chmielewska 1999), wilgotność wierzchniej warstwy gleby pod jęczmieniem jarym, rozpatrywana niezależnie od uwarunkowań sezonowych, nie zależała w sposób statystycznie udowodniony od zastosowanego sposobu przedsięwzięcia uprawy roli (tab. 4). Tymczasem należało oczekiwać, że zruszenie roli przygotowujące stanowisko pod tę roślinę jarą późnego siewu okaże się niekorzystne dla wilgotności gleby, co zresztą miało wyraźnie miejsce w poprzedniej rotacji. Jedynie w jednym sezonie 1997r., odznaczającym się najkorzystniejszym układem warunków opadowo-wilgotnościowym, wilgotność gleby okazała się zgodna z oczekiwaniami – na poletkach z jęczmieniem z siewu bezpośredniego była istotnie większa niż tam, gdzie wykonano uprawę klasyczną i bezorkową.

Jak z powyższego wynika, wilgotność wierzchniej warstwy rędziny po wieloletnim nakładaniu się wpływu zróżnicowanej przedsięwzięcia uprawy roli okazała się pod dwoma roślinami (bobik, pszenica ozima) większa w przypadku ich siewu bezpośredniego oraz zastosowania systemu bezorkowego, niż wówczas gdy rolę poddano uprawie klasycznej (płużnej).

Analogiczne oddziaływanie siewu bezpośredniego na stan uwilgotnienia gleby stwierdzili również Bennet *ii.* (1976), Dzienia i Hoffman-Kąkolowa (1988), Gantzer i Blake (1978), Miller i Shrader (1976), Mitchell i Tell (1977), Nováček (1976) oraz Malicki i Podstawka-Chmielewska (1999) w poprzednim etapie omawianych tu badań. W przeciwieństwie do tego Baranowski *ii.* (1988b), Jabłoński i Szumilak (1972), Laskowski i Zbieć (1970), Malicki i Podstawka-Chmielewska (1996), Nowicki (1988a), Nowicki *ii.* (1988b) oraz Szymankiewicz (1988) odnotowali negatywny wpływ uproszczeń uprawy na tę właściwość gleby.

Tabela 1. Charakterystyka porównywanych systemów uprawy roli

Roślina	Uprawa roli		
	klasyczna	bezorkowa	siew bezpośredni
Bobik	<p><u>Jesienią:</u> podorywka (6-12 cm) + bronowanie, bronowanie broną ciężką po wschodach chwastów, kultywatorowanie + bronowanie, orka zimowa (25 cm)</p> <p><u>Wiosną:</u> bronowanie, kultywatorowanie + bronowanie, siew + bronowanie posiewne</p>	<p><u>Jesienią:</u> gruberowanie + bronowanie, bronowanie broną ciężką, gruberowanie (18-22 cm) + bronowanie, głęboszowanie (35-40 cm)</p> <p><u>Wiosną:</u> bronowanie, gruberowanie + bronowanie, siew + bronowanie posiewne</p>	<p><u>Jesienią:</u> siew gorczyicy białej (20 kg/ha) siewnikiem do siewów bezpośrednich</p> <p><u>Wiosną:</u> oprysk Basta150 SL (6l/ha), po 3-4 dniach siew bobiku siewnikiem do siewów bezpośrednich</p>
Pszenica ozima	<p><u>Jesienią:</u> podorywka + bronowanie, bronowanie broną ciężką, orka siewna (18-20 cm) + bronowanie, agregat uprawowy, siew + bronowanie posiewne</p>	<p><u>Jesienią:</u> gruberowanie + bronowanie, bronowanie broną ciężką, gruberowanie (18-22 cm) + bronowanie, agregat uprawowy przed siewem + bronowanie posiewne</p>	<p><u>Jesienią:</u> oprysk Roundup (3 l/ha) + siarczan amonu 10kg/ha, po 3-4 dniach siew pszenicy ozimej siewnikiem do siewów bezpośrednich</p>
Jęczmień Jary	<p><u>Jesienią:</u> podorywka (6-12cm) + bronowanie, bronowanie broną ciężką po wschodach chwastów, kultywatorowanie + bronowanie, orka zimowa (25 cm)</p> <p><u>Wiosną:</u> bronowanie, kultywatorowanie + bronowanie, siew + bronowanie posiewne</p>	<p><u>Jesienią:</u> gruberowanie + bronowanie, bronowanie broną ciężką, gruberowanie (18-22 cm) + bronowanie, głęboszowanie (25-30 cm)</p> <p><u>Wiosną:</u> bronowanie, agregat uprawowy, siew + bronowanie posiewne</p>	<p><u>Jesienią:</u> siew gorczyicy białej (20 kg/ha) siewnikiem do siewów bezpośrednich</p> <p><u>Wiosną:</u> oprysk Basta 150 SL (3l/ha), po 3-4 dniach siew jęczmienia jarego siewnikiem do siewów bezpośrednich</p>

Tab. 2. Wilgotność 0-25 cm warstwy gleby pod bobikiem w % wagowych

Uprawa roli	Lata			Średnio
	1997	1998	1999	
klasyczna	33,7	29,9	27,0	30,2
bezorkowa	33,6	30,0	29,4	31,0
siew bezpośredni	33,2	31,9	29,2	31,4
NIR $p=0,05$	pomiędzy sposobami uprawy = 0,7; we współdziałaniu: lata x sposób uprawy = 1,5			

Tab. 3. Wilgotność 0-25 cm warstwy gleby pod pszenicą ozimą w % wagowych

Uprawa roli	Lata			Średnio
	1997	1998	1999	
klasyczna	31,6	31,3	29,6	30,8
bezorkowa	32,6	31,7	30,6	31,6
siew bezpośredni	32,7	30,4	33,0	32,0
NIR $p=0,05$	pomiędzy sposobami uprawy = 0,8; we współdziałaniu: lata x sposoby uprawy = 1,9			

Tab. 4. Wilgotność 0-25 cm warstwy gleby pod jęczmieniem jarym w % wagowych

Uprawa roli	Lata			Średnio
	1997	1998	1999	
klasyczna	32,9	30,6	33,2	32,3
bezorkowa	32,7	30,0	33,4	32,0
siew bezpośredni	35,1	30,8	33,0	33,0
NIR $p = 0,05$	we współdziałaniu: lata x sposób uprawy = 2,3			

W omawianych badaniach nie stwierdzono natomiast aby przeciętnie, niezależnie od warunków sezonowych, zróżnicowana uprawa roli modyfikowała uwilgotnienie 0-25 cm warstwy gleby pod jęczmieniem jarym. Jest to wynik sprzeczny z obserwacjami wszystkich wyżej zacytowanych autorów, pokrywa się zaś z wynikami badań Baranowskiego *ii.* (1988a, 1988b), Nowickiego (1988a) oraz Śmierczalskiego *ii.* (1988).

Ta znaczna rozbieżność wyników zarówno w zestawieniu z uzyskanymi w poprzedniej rotacji zmianowania, jak też w odniesieniu do zacytowanej literatury tematu, a nawet uzyskiwanych przez tych samych autorów, może mieć różnorakie przyczyny. Przede wszystkim poszczególni autorzy mieli do czynienia z różnymi warunkami klimatyczno – glebowymi, jak również – w nie mniejszym stopniu – rozpatrywali stan przeciętny, będący wynikiem opartym na różnej liczbie badań, ergo dłuższego bądź krótszego czasu nawarstwiania się skutków porównywanych sposobów uprawy roli a także zajmowali się różnymi roślinami. Tymczasem, jak dowodzą wyniki uzyskane w Bezku, wszystkie te uwarunkowania znamienne oddziałują na kształtowanie się wilgotności gleby. Szczególną rolę odgrywają tu warunki opadowe, wpływając modyfikująco na oddziaływanie zróżnicowanej uprawy na wilgotność gleby, co przejawiało się istotnością interakcji lata x sposoby uprawy, w przypadku każdej rośliny ogniwa zmianowania. I tak np. wysoka wilgotność gleby wywołana przez obfite opady sezonu wegetacyjnego 1997 r., a kształtująca się przeciętnie na poziomie polowej pojemności wodnej, równej 33,5%, zupełnie zatarła wpływ zróżnicowanej uprawy na wilgotność gleby tak pod bobikiem – rośliną jara, jak i pod pszenicą – zbożem ozimym. Inny czynnik raczej nie wchodził tu w rachubę, gdyż doświadczenie prowadzono nie tylko na tej samej glebie, ale na poletkach ustalonych, a w dodatku wysiewano te same odmiany roślin, tak samo je nawożono, pielęgnowano etc. Oczywiście, nie bez znaczenia była przy tym roślina, a ściślej lokalizacja w czasie jej okresu wegetacji. W tym samym bowiem roku pod jęczmieniem – jarzyna późnego siewu, siew bezpośredni zapewniał znamienne lepsze uwilgotnienie gleby niż przedsiewna uprawa roli klasyczna i bezorkowa. W końcu należy stwierdzić, że przeciętny wpływ takiego czy innego sposobu uprawy roli na stosunki wilgotnościowe jest w stanie scharakteryzować dopiero wynik wieloletniego nakładania się jego oddziaływania na całokształt fizycznych właściwości gleby. Badania trzyletnie nie wydają się pod tym względem wystarczające, choćby z tego względu, że nawet całkowite zaniechanie oddziaływania narzędziami na glebę nie jest w stanie z jednej strony doprowadzić do zaniku stanu strukturalnego gleby, wytworzonego w niej przez wielowiekową uprawę płuzną, z drugiej zaś jest to czas zbyt krótki, aby mogła się w niej odrodzić struktura naturalna. Najlepszy dowód, to nieco inne wyniki uzyskane w omawianej drugiej rotacji zmianowania, niż uzyskane w rotacji pierwszej (Malicki i Podstawka-Chmielewska 1999).

CONCLUSIONS

1. Zastąpienie klasycznej (płużnej) przedsiewnej uprawy roli uprawą bezorkową, czy nawet siewem bezpośrednim, nie zagraża zakłóceniem stosunków wodnych wierzchniej warstwy rędziny.
2. W sezonie uboższym w opady oba sposoby uproszczenia uprawy pozwalają oczekiwać lepszego uwilgocenia wierzchniej warstwy gleby pod bobikiem, zaś w przypadku pszenicy ozimej najkorzystniejszy pod tym względem może się okazać siew bezpośredni.
3. Przeciętnie, niezależnie od warunków sezonowych, wilgotność wierzchniej warstwy rędziny pod jęczmieniem jarym nie zależy od sposobu uprawy roli. Natomiast w latach przekrotnych jego siew bezpośredni stwarza pewne niebezpieczeństwo nadmiaru wody w glebie, a co za tym idzie pogorszenie stosunków powietrznych.

REFERENCES

1. BARANOWSKI R., PABIN J., SIENKIEWICZ J. 1988a: Badania gęstości i wilgotności gleby w wieloletnich doświadczeniach uprawowych. Cz. I. Gleba lekka. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln., 356: 27-34.
2. BARANOWSKI R., PABIN J., SIENKIEWICZ J. 1988b: Badania gęstości i wilgotności gleby w wieloletnich doświadczeniach uprawowych. Cz. II. Gleba ciężka. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln., 356: 35-42.
3. BENNETT O.L., MATHIAS E.L., SPEROW C.B. 1976: Double Cropping for Hay and No-tillage Corn Production as Affected by Sod Species with Rates of Atrazine and Nitrogen. Agron. J., 2, 68: 250-254.
4. DZIENIA ST., HOFFMAN-KĄKOL I. 1988: Wpływ różnych sposobów uprawy roli i nawożenia azotem na fizyczne właściwości gleby i plonowanie kukurydzy w plonie wtórnym. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln., 356: 141-148.
5. GANTZER C.J., BLAKE G. R. 1978: Physical Characteristics of Le Sueur Clay Loam Soil Following No-till and Conventional Tillage. Agron. J., 70, 2: 853-857.
6. JABŁOŃSKI B., SZUMILAK G. 1972: Wpływ uproszczenia uprawy roli w zmianowaniu na plonowanie roślin i niektóre właściwości gleby lekkiej. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln., 137: 373-382.
7. KUŹNIAR K. 1973: Przyrodnicze kryteria wykorzystania wody przez rośliny w profilu glebowym. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln., 140: 129-142.

8. LASKOWSKI ST., ZBIEĆ I. 1970: Dynamika niektórych fizykochemicznych właściwości gleby lekkiej pod wpływem różnego sposobu pogłębiania orki. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 100: 19-29.
9. MALICKI L., RESZEL R. 1983: Evaluation of the applicability of the tensiometric method for the determination of the moisture of rendzina. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 220: 195-200.
10. MALICKI L., PODSTAWKA-CHMIELEWSKA E. 1996: Sposób uprawy roli i deszczowanie, a stosunki wodne rędziny pod burakami cukrowymi. *Zesz. Post. Nauk Roln.*, 438: 301-306.
11. MALICKI L., PODSTAWKA-CHMIELEWSKA E. 1999: Wpływ systemu uprawy roli na wilgotność wierzchniej warstwy rędziny. *Fol. Univ. Agric. Stetin. Agricultura.*, 74: 15-23.
12. MILLER E.L., SHRADER W.D. 1976: Moisture Conservation Potential with Conservation Tillage Treatments in the Thick Losee Area of Western Iowa. *Agron. J.*, 68, 2: 374-378.
13. MITCHELL W.H., TELL M.R. 1977: Winter-Annual Cover Crops for No-Tillage Corn Production. *Agron. J.*, 69, 4: 569-573.
14. NOWICKI J. 1988a: Zróżnicowanie uprawy podstawowej na glebie średniej i ciężkiej. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 356: 195-203.
15. NOWICKI J., NIEWIADOMSKI W., BUCZYŃSKI G., WANIC M. 1988b: Porównanie czterech sposobów uprawy gleby ciężkiej. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 356: 185-193.
16. NOVÁČEK J. 1976: Minimální zpracování pudy v tříletém sledu obilnin v kukuřičné oblasti. *Rostlinná Vyroba.*, 22, 5: 439.
17. OKTABA W. 1986: Układy statystyki matematycznej w doświadczałnictwie. PWN, Warszawa.
18. PUDEŁKO J., WRIGHT D., WIATRAK P. 1994: Stosowanie ograniczeń w uprawie roli w Stanach Zjednoczonych A.P. *Post. Nauk Roln.*, 1: 153-162.
19. ŚMIERZCHALSKI L., DROESE H., SZUJECKA W. 1988: Wpływ układu gleby na plonowanie zbóż ozimych. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 356: 247-257.
20. SZYMANKIEWICZ K. 1988: Wpływ zróżnicowanej uprawy roli na fizyczne właściwości gleby i plonowanie kukurydzy w krótkotrwałej monokulturze. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 356: 223-229.

Streszczenie: *Wieloletnie upraszczanie uprawy roli, a stosunki wodne gleby ciężkiej* Praca przedstawia wyniki badań dynamiki wilgotności 0-25 cm warstwy gleby pod roślinami drugiej (1997-1999) rotacji uproszczonego zmianowania: bobik – pszenica ozima – jęczmień jary, w stanowiskach uprawionych przedsięwzię: 1. klasycznie (pluźnie), 2. bezorkowo, 3. z siewu bezpośredniego. Stwierdzono, że niezależnie od warunków sezonowych, odstępianie od uprawy pluźnej nie pogarsza stosunków wilgotnościowych. W przypadku mniejszej ilości opadów uproszczenie uprawy może nawet sprzyjać lepszemu uwilgotnieniu gleby pod bobikiem, a siew bezpośredni poprawiać zaopatrzenie pszenicy w wodę. Przeciętnie sposób uprawy roli nie modyfikuje wilgotności gleby pod jęczmieniem, ale w połączeniu z obfitymi opadami siew bezpośredni stwarza możliwość nadmiernego uwilgotnienia gleby pod jęczmieniem jarym.

Autor's address:

Leszek Malicki, Elżbieta Podstawka-Chmielewska, Krystyna Kisiel

Katedra Ekologii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Lublinie

20-950 Lublin, ul. Akademicka 13, Poland.

Cost - effectiveness of sprinkler irrigation of field crops and vegetables in central Poland

JACEK ŹARSKI, STANISŁAW ROLBIECKI, CZESŁAW RZEKANOWSKI,
ROMAN ROLBIECKI, STANISŁAW DUDEK, BOGDAN GRZELAK
Department of Land Reclamation and Agrometeorology, University of Technology and
Agriculture in Bydgoszcz

Abstract: *Cost-effectiveness of the sprinkler irrigation usage in cultivation of field crops and vegetables in central Poland.* Cost-effectiveness of the sprinkler irrigation usage in cultivation of field crops and vegetables, based on long-term field experiments carried out by investigators from the Department on the very light soil in the vicinity of Bydgoszcz, is presented in the work. In general, 90 one-year experiments on sprinkler irrigation of 10 field crop species, and 17 experiments on sprinkling irrigation of 7 vegetable species were used. Cost-effectiveness calculation of sprinkler irrigation was carried out on the basis of current (1999) value level of produce and minimal investment costs. Computed cost-effectiveness indices indicate that the use of sprinkler irrigation in vegetable cultivation is cost-effective. Among the field crops, the use of sprinkler irrigation was economically feasible only for table potato, faba bean and grain maize.

Key words: sprinkler irrigation, vegetables in the open field, field crops, effectiveness of sprinkler irrigation, cost-effectiveness of sprinkler irrigation

INTRODUCTION

In spite of many researches indicating the indisputed purposefulness of sprinkler irrigation of most of field crops and vegetables, the measure is conducted only on an area of 60 thousands ha. Because of this, the use of sprinkler irrigation is a marginal project on horticultural and agricultural activities.

According to numerous opinions, the main reason of this is a low cost-effectiveness of the sprinkler irrigation usage. It is caused not only by too low increases in yields obtained due to irrigation, but first of all it is caused by the high cost consumption and labor consumption of irrigation. Production results of sprinkler irrigation of field and vegetable crops, obtained in Poland under different soil and rainfall conditions, are in our opinion, very good recognized (Borówczak *et al.* 1996, Dzieżyc 1988, Dzieżyc and Nowak 1993, Grabarczyk 1987b, Grabarczyk *et al.* 1997,

Kaniszewski 1987, Kaniszewski *et al.*, 1987, Kaniszewski and Knaflewski 1997) but they are insufficiently spread.

Estimation of cost-effectiveness of sprinkler irrigation is characterized by much more higher difficulties than those mentioned above. The reason of this is lack of calculation methodics elaborated, and first of all a difficulty in defining irrigation costs and market prices of the agricultural products changing rapidly due to the unbalanced agricultural policy.

As a result, Polish literary on this matter is rather very limited, and in addition it's methodology is not homogenous (Jankowiak 1982, Grabarczyk 1987a, Gruszka 1996, Nyc 1996, Podsiadło 1999, Rolbiecki *et al.*, 1999, Rutkowski and Małecka 1986, Rutkowski 1987, Żarski *et al.*, 1999).

Because the knowledge propagation on production results of sprinkler irrigation is insufficient and the scientific achievements on cost-effectiveness of this measure is limited, an opinion about lack of synonymous, credible and scientifically documented data on cost-effectiveness of the sprinkler irrigation usage under free market economy in Poland is formed (Rytelewski 1997).

METHODS OF INVESTIGATION

The paper is based of on the results of field experiments on sprinkler irrigation of field and vegetable crops, carried out in the years 1981-1999 at Kruszyn Krajeński near Bydgoszcz. In general, 90 one-year experiments on sprinkler irrigation of 10 field crop species and 17 one-year experiments with 7 vegetable species were used. Average yields of the particular species obtained under control and irrigation conditions, were considered apart from other factors of the experiments mentioned above, such as - for instance - different cultivars or fertilization.

These experiments at Kruszyn Krajeński were located on degraded meadow black earth classified as Grade VI (in part Grade V) in Polish system of land suitability or as the very weak rye complex (in part as the weak rye complex). The characteristic feature of the soil was the low content of clay particles ranging from 3 to 7 % and the low field water capacity equaled about 90mm in 1-m thick layer of the soil.

Sprinkling economic calculation was followed the methodology suggested by Grabarczyk (1987a) as well as current (1999) values of produce and minimal investment costs. The increase of agricultural income obtained due to sprinkling irrigation was found as the basic index of cost-effectiveness of the irrigation.

The increase in agricultural income was calculated as a difference between increase in produce value and irrigation costs and increase in agricultural costs resulting from additional produce. The increase in produce was calculated as a multiplication of mean multi-year results of irrigation obtained from field experiments by price of a particular agriculture product. Medium-yearly prices of agricultural products and minimal – during the year 1999 – trade prices of vegetables were fixed. Calculation of sprinkler irrigation costs was based on the assumption, that in 1999 minimal investment costs equaled, according to firm „Łukomet” (Łuszczek, 1999), 3500 zł/ha. Depreciation (10%), interest on capital (5%) as well as costs of perishable materials, spare parts and repairs (2%) were taken into consideration in calculation of the sprinkler irrigation costs.

In addition, also costs of fuel were considered on the base of the specific fuel consumption (l. number per 1mm of irrigation rate) and fuel price (2 zł per 1 litre of diesel oil). An increase in agricultural costs resulting from additional produce was defined with an index (30% of the produce increase value). Other indicators of the cost-effectiveness of sprinkler irrigation were also calculated: minimal production effectiveness of irrigation covering the purchase costs of sprinkling machine (agricultural income equals zero) as well as production effectiveness covering the investment costs fixed (3500 zł/ha) after one season of irrigation.

RESULTS

The use of sprinkling irrigation in cultivation of field crops on the very light soil in the vicinity of Bydgoszcz, caused very high production results. They ranged from 72 to 191%, depending on species (Tab. 1). Mean multi-year increases in grain yields of cereals due to irrigation ranged from 2,09 to 2,52 t/ha and in case of grain maize they equaled 4,15 t/ha. Sprinkler irrigation increased yields as follows: 16,0 t/ha for roots of sugar beet, 14,6 t/ha for tubers of table potato and 3,06 t/ha of faba bean seeds. Yellow

lupine cultivated for seeds was characterized by the weakest response to sprinkler irrigation.

Mean long-term production results of sprinkler irrigation of vegetables grown in the open field ranged from 72 to 233% depending on species (Tab. 2). In growing radish and root vegetables the yields obtained on irrigated plots were threefold, and in case of snap bean or lettuce – twofold, as compared to those obtained on control plots (without irrigation). Cucurbit plants response (as in % as well as in t/ha) to sprinkler irrigation was similar. Their yields were high under irrigation conditions and equaled about 60 t/ha.

TABLE 1. Mean long-term production effectiveness of sprinkler irrigation in growing field crops on the very light soil in the vicinity of Bydgoszcz

Species	No. of one-year experiments	Mean seasonal water rate mm	Mean yield t/ha		Mean long-term production effectiveness of sprinkler irrigation		
			O	W	t/ha	%	kg/mm
Spring barley	13	113	2,00	4,37	2,37	118	21,0
Spring wheat	13	116	1,78	4,06	2,28	128	19,7
Winter wheat	5	136	1,14	3,28	2,14	188	15,7
Winter triticale	5	136	1,65	4,17	2,52	153	18,5
Oats	5	128	1,98	4,07	2,09	106	16,3
Grain maize	9	138	2,80	6,95	4,15	148	30,1
Faba bean	9	137	1,60	4,66	3,06	191	22,3
Yellow lupine	4	145	1,09	1,97	0,88	81	6,1
Table potato	14	127	19,0	33,6	14,6	77	115,0
Sugar beet	13	158	22,3	38,3	16,0	72	101,3

Analysis of cost-effectiveness showed that sprinkler irrigation of some field crops cultivated on the very light soil is the profitable measure. The best results of all were obtained for table potato (Tab. 3). The mean long-term increase in produce value of this crop due to irrigation equaled approximately the value of investment costs fixed in the study. Positive agricultural income, but several times lower than that from potato, was obtained for faba bean and grain maize. The economical result of sprinkling

Cost – effectiveness of sprinkler irrigation of field crops and vegetables ...

irrigation calculated for the remaining crops was negative. The highest losses were obtained in cultivation - under irrigation - of oats and yellow lupine.

TABLE 2. Mean long-term production effectiveness of sprinkler irrigation in growing vegetables on the very light soil in the vicinity of Bydgoszcz

Species	No. of one-year experiments	Mean seasonal water rate mm	Mean yield t/ha		Mean long-term production effectiveness of sprinkler irrigation		
			O	W	t/ha	%	kg/mm
Carrot	4	161	11,3	33,9	22,6	200	140,4
Red beet	4	161	8,4	23,3	14,9	177	92,5
Snap bean	3	95	2,96	6,49	3,53	119	37,2
Squash	2	255	35,8	62,2	26,4	74	103,5
Zucchini	2	267	33,2	57,1	23,9	72	89,5
Radish	1	60	3,84	12,78	8,94	233	149,0
Iceberg lettuce	1	95	15,8	29,1	13,3	84	140,0

TABLE 3. Indices of cost-effectiveness of sprinkler irrigation of field crops on the very light soil in the vicinity of Bydgoszcz (zł/ha)

Species	Price zł/t	Increase in produce value	Irrigation costs	Increase in agricultural costs	Index of cost-effectiveness of sprinkler irrigation			Ranking
					A	B	C	
Spring barley	300	711	825	213	-327	3,93	11,67	8
Spring wheat	460	1049	832	315	-98	2,58	7,61	5
Winter wheat	460	984	872	295	-183	2,71	7,61	6
Winter triticale	350	882	872	265	-255	3,56	10,00	7
Oats	250	522	856	157	-491	4,90	14,00	9
Grain maize	400	1660	877	498	285	3,13	8,75	3
Faba bean	550	1683	874	505	304	2,27	6,36	2
Yellow lupine	550	484	891	145	-552	2,32	6,36	10
Table potato	250	3650	854	1095	1701	4,9	14,0	1
Sugar beet	80	1280	917	384	-21	16,4	43,7	4

A – agricultural income

B – minimal production effectiveness securing the profitability of sprinkler irrigation (t/ha)

C – increase in yield securing the return of investment costs in one year (t/ha)

The usage of sprinkler irrigation in growing vegetable crops on the very light soil, was very profitable as compared to cost-effectiveness of irrigation of field crops (Tab. 4). Of the vegetables tested, the highest agricultural incomes were obtained due to sprinkler irrigation of cucurbit plants, lettuce and radish. The value of agricultural income from 1 ha covered several times the investment costs (3500 zł/ha). Return of the investments costs after one season of irrigation was also obtained as a result of sprinkler irrigation of carrot and red beet. The lowest economical result was obtained, among the vegetables, for snap bean. But, also in this case the agricultural income obtained was by 72% higher than that from table potato irrigated.

TABLE 4. Indices of cost-effectiveness of sprinkler irrigation of vegetables on the very light soil in the vicinity of Bydgoszcz (zł/ha)

Species	Price zł/t	Increase in produce value	Irrigation costs	Increase in agricultural costs	Index of cost-effectiveness of sprinkler irrigation			Ranking
					A	B	C	
Carrot	400	9040	923	2712	5405	3,3	8,75	5
Red beet	400	5960	923	1788	3249	3,3	8,75	6
Snap bean	1500	5295	789	1588	2918	0,8	2,33	7
Squash	1000	26400	1115	7920	17365	1,6	3,50	1
Zucchini	1000	23900	1140	7170	15590	1,7	3,50	3
Radish	1600	14304	717	4291	9296	0,7	2,19	4
Ice lettuce	1900	25270	789	7581	16900	0,6	1,84	2

A – agricultural income

B – minimal production effectiveness securing the profitability of sprinkler irrigation (t/ha)

C – increase in yield securing return of investment costs in one year (t/ha)

CONCLUSIONS

Results of long-term field experiments and the simplified economical calculation carried out on the base of them, indicate that sprinkler irrigation of vegetable crops grown in the open field is cost-effective. The agricultural income obtained as a result of

the use of irrigation in growing all the vegetable species tested, excepting snap bean, covered investment costs after one season of irrigation.

Of the field crops, the positive agricultural income was detected only in case of table potato irrigated and next for faba bean and grain maize. It should be added that the statement mentioned above concerns results obtained on the very light soil in the zone of the highest purposefulness of installation of sprinkling machines regarding the climatic criterion. These results are situated among the highest in Poland. It can be assumed that under better soil conditions (light soils, and especially medium soils) and into the zones of the higher rainfall, effectiveness and cost-effectiveness of sprinkler irrigation of field crops could be much lower than those described in the paper.

REFERENCES

- BORÓWCZAK F., MACIEJEWSKI T., GRZEŚ S., SZUKAŁA J. 1996: Efekty deszczowania i nawożenia azotem niektórych roślin uprawnych w warunkach Wielkopolski w latach 1989-1992. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, z.438.
- DZIEŻYC J. 1988: Rolnictwo w warunkach nawadniania. PWN Warszawa.
- DZIEŻYC J., NOWAK L. 1993: Deszczowanie. w: Czynniki plonotwórcze-plonowanie roślin. Wyd.Nauk.PWN Warszawa-Wrocław.
- GRABRACZYK S. 1987a: Opłacalność inwestycji deszczownianych w gospodarstwach indywidualnych. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, z.326.
- GRABRACZYK S. 1987b: Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, z.314.
- GRABRACZYK S., DUDEK S., RZEKANOWSKI C., ŻARSKI J. 1997: Effects of irrigation of plants in central Poland with special emphasis on very light soils. *Proc. of Poland-Israel Conf. „Water requirements and irrigation effects of plants cultivated in arid i semiarid climates”*. Tel Aviv, vol.II.
- GRUSZKA J. 1996: Produkcyjne i ekonomiczne efekty deszczowania roślin pastewnych i pastwisk w regionie Kujaw. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, z.438.
- JANKOWIAK J. 1982: Ekonomiczne efekty nawadniania. IUNG Puławy.
- KANISZEWSKI S. 1987: Nawadnianie warzyw. PWRiL Warszawa.
- KANISZEWSKI S., KNAFLEWSKI M., PACHOLAK E. 1987: Efektywność produkcyjna nawadniania upraw ogrodnich. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, z.326.
- KANISZEWSKI S., KNAFLEWSKI M. 1997: The results of studies on water requirement and productivity of irrigation of vegetable crops in Poland. *Proc. of Poland-Israel Conf. „Water requirements and irrigation effects of plants cultivated in arid i semiarid climates”*. Tel Aviv, vol.II.
- NYC K. 1996: Ekonomiczne systemy nawadniające. *Zesz.Probl.Post.Nauk Roln.*, z.438.
- PODSIADŁO C. 1999: Influence of irrigation and mineral fertilization on the yield of spring wheat, cultivated on a sandy soil. *Fol.Univ.Agric.Stetin*. 193, *Agricultura* (73).

- ROLBIECKI S., RZEKANOWSKI C., ŻARSKI J., ROLBIECKI R. 1999: Cost-effectiveness of overhead irrigation of vegetables cultivated in the vicinity of Bydgoszcz. *Zesz.Nauk. ATR Bydg.* 220, Roln.44.
- RUTKOWSKI M. 1987: Opłacalność deszczowania roślin rolniczych i ogrodniczych. *Zesz.Probl. Post. Nauk Roln.*, z.326.
- RUTKOWSKI M., MAŁECKA I., 1986: Efektywność ekonomiczna deszczowania niektórych roślin uprawnych. *Zesz.Probl.Post. Nauk Roln.*, z.268.
- RYTELEWSKI M. 1997: Rozwój nawodnień ciśnieniowych w Polsce. *Wiad. Mel. i Łąkarskie*, nr1.
- ŻARSKI J., RZEKANOWSKI C., DUDEK S., ROLBIECKI S. 1999: Cost-effectiveness of overhead irrigation of field crops cultivated in the vicinity of Bydgoszcz. *Zesz.Nauk. ATR Bydg.* 220, Roln.44.

Streszczenie: *Efektywność ekonomiczna deszczowania upraw polowych i warzywnych w centralnej Polsce.* W pracy oceniono ekonomiczną efektywność zastosowania deszczowni w uprawie roślin polowych i warzywnych na podstawie wyników wieloletnich, ścisłych eksperymentów polowych prowadzonych przez pracowników Katedry na glebie bardzo lekkiej w okolicach Bydgoszczy. Ogółem wykorzystano 90 jednorocznych doświadczeń z deszczowaniem 10 gatunków towarowych upraw rolniczych oraz 17 doświadczeń, w których zastosowano deszczownię w uprawie gruntowej 7 gatunków warzyw. Kalkulację opłacalności deszczowania przeprowadzono w oparciu o aktualny (1999 rok) poziom wartości produkcji i minimalnych kosztów inwestycji. Obliczone wskaźniki efektywności ekonomicznej wskazują na opłacalność zastosowania deszczowania w uprawie warzyw. Spośród roślin polowych, efektywne ekonomicznie było jedynie deszczowanie ziemniaka jadalnego, bobiku i kukurydzy uprawianej na ziarno.

Autor's address:

Jacek Żarski

Katedra Melioracji i Agrometeorologii, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6. Poland.

Optymalizacja warunków wilgotnościowych i agrotechniki buraka cukrowego na rędzinie

ELŻBIETA PODSTAWKA-CHMIELEWSKA, JOANNA KWIATKOWSKA

Katedra Ekologii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Lublinie

Komunikat

Abstract: *Optimization of moisture conditions and agrotechnics of sugar beets on rendzina.* The paper presents the results of comparative studies of four ways of post-harvest - pre-winter tillage of rendzina for sugar beets, on the background of different water conditions (irrigated and non-irrigated objects). It was found that watering of sugar beets at the time of their greatest water requirements caused increment of the beet root mass by 4.4 t/ha on average, and of leaves by 7.0 t/ha. Regardless of the water conditions, the best effects were obtained in case of the post-harvest – autumn cultivation with skimming and deep-loosening of in the shallow pre-winter tillage. Deep-loosening performed after forccrop harvesting in the set of post-harvest tillage, increased water reserves in the soil.

WSTĘP

Celem uzyskania wysokich i stabilnych plonów konieczne jest m.in. uniezależnienie wzrostu i rozwoju roślin od naturalnych warunków opadowych. Rola nawadniania uzupełniającego jest w tym procesie bezdyskusyjna, zwłaszcza, że szereg doświadczeń, jak też praktyka rolnicza, wskazują na wysoką efektywność tego zabiegu [1].

W miarę wprowadzania do rolnictwa wydajnych, ale jednocześnie ciężkich maszyn i narzędzi (ciągniki dużej mocy, agregaty uprawowe, kombajny itp.) coraz ważniejsze staje się też zapewnienie właściwego stanu strukturalnego gleby, warunkującego istnienie w niej właściwych stosunków wodnych. Nadmierne ugniecenie warstw gleby leżących poza zasięgiem tradycyjnych narzędzi uprawowych staje się czynnikiem ograniczającym wydajność buraka cukrowego [3,4,5]. Dlatego często, zwłaszcza na glebach ciężkich, konieczne jest okresowe wgłębne spulchnienie warstwy podornej, czyli tzw. głęboszowanie pól przeznaczonych pod tę roślinę [3,6,7]. Zdaniem niektórych autorów [2,3,6] głęboszowanie przywraca prawidłowe stosunki

wodno-powietrzne gleby oraz sprzyja rozwojowi systemu korzeniowego roślin. Na pytanie czy tak dzieje się w każdym przypadku mają odpowiedzieć badania, których wstępne wyniki przedstawia niniejszy komunikat.

METODYKA BADAŃ

Praca przedstawia wstępne wyniki doświadczenia przeprowadzonego w 1999 r. w Gospodarstwie Doświadczalnym Bezek, niedaleko Chełma. Zlokalizowano je na rędzinie mieszanej wytworzonej z opoki kredowej, o składzie granulometrycznym gliny średniej pylastej. Gęstość stałej fazy wynosiła $2,50 \text{ G/cm}^3$, zawartość zaś węgla ogólnego 4%. Rośliną przedplonową dla buraka była pszenica ozima.

Pod względem warunków pogodowych sezon wegetacyjny 1999 r. różnił się nieco od przeciętnego. Charakteryzował się bowiem większą ciepłotą powietrza oraz mniejszą ilością opadów (321 wobec 368 dla wielolecia).

Schemat doświadczenia uwzględniał dwa czynniki: warunki wodne zróżnicowane na obiekty bez deszczowania (W_0) i obiekty deszczowane (W_1) oraz sposób uprawy późniwno-przedzimowej stanowiska pod buraki, który obejmował następujące warianty:

1. podorywka (8 cm) + bronowanie, orka przedzimowa (ok. 28 cm) przykrywająca obronik,
2. kultywatorowanie (8 cm) + bronowanie, orka przedzimowa (ok. 28 cm) przykrywająca obronik,
3. podorywka (8 cm) + bronowanie, po kilku dniach głęboszowanie (ok. 40 cm), orka przedzimowa (ok. 18-20 cm) przykrywająca obronik,
4. kultywatorowanie (8 cm) + bronowanie, po kilku dniach głęboszowanie (ok. 40 cm), orka przedzimowa (ok. 18-20 cm) przykrywająca obronik.

Podorywkę oraz kultywatorowanie kultywatorem o zębach sztywnych wykonano 20 sierpnia 1998 r., głęboszowanie zaś 6 dni później. Orka przedzimowa na wszystkich obiektach miała miejsce 19 października 1998 r.

Doświadczenie założono wg modelu split-plot, w 4-ech powtórzeniach.

Rozstawa rzędów wynosiła 45 cm, zaś roślin w rzędzie, po pojedynkowaniu, 20-25 cm. Do siewu użyto nasion jednokiełkowych odmiany buraka „Polko”.

Wiosenna uprawa, jednakowa na całym doświadczeniu, obejmowała bronowanie roli po zimie, wysiew nawozów fosforowych, potasowych i części azotowych oraz doprawienie pola do siewu odpowiednim zestawem uprawowym (brona + wał strunowy). Bezpośrednio po siewie buraków (26.04.1999 r.), celem ograniczenia zachwaszczenia pierwotnego, wykonano oprysk Pyraminem Turbo (5 l/ha). Dodatkowo w późniejszym okresie (15.06.) nalistnie zastosowano Betanal (2,0 l/ha).

Poza obornikiem (30 t/ha) buraki otrzymały nawożenie mineralne w ilości: P_2O_5 -60 kg, K_2O -120 kg i N-120 kg/ha. Nawożenie azotowe, podzielone na dwie równe dawki, wniesiono przedsięwzię (mocznik) i po pojedynkowaniu (saletra amonowa).

Na początku czerwca wykonano pojedynkowanie roślin połączone z motyczeniem. W połowie czerwca dodatkowo zastosowano opielacz.

Buraki deszczowano w ich krytycznym okresie gospodarki wodnej, tj. przez cały lipiec, sierpień, do 1 dek. września, co miało miejsce: 9.07, 21.07, 6.08, 21.08, 4.09.1999 r. Jednorazowa dawka polewowa wynosiła 25 mm, zaś sezonowa norma – 125 mm. Decyzję o potrzebie deszczowania podejmowano na podstawie pomiarów wilgotności 0-25 cm warstwy gleby, wykonywanych metodą suszarkowo-wagową, w odstępach dekadowych, z uwzględnieniem przebiegu pogody oraz stanu roślin.

W czasie zbioru ważono masę korzeni i liści, ponadto mierzono ich długość i średnicę na losowo pobranej próbie korzeni buraków na każdym poletku.

WYNIKI BADAŃ

W warunkach przeprowadzonego doświadczenia deszczowanie powodowało przyrost masy korzeni średnio o 4,4 t/ha (tab.1). Z pewnością zadecydowała o tym większa dorodność korzeni na obiektach deszczowanych niż kontrolnych, co przejawiało się w zwiększeniu ich długości i średnicy (tab.2). Rośliny nawadniane tworzyły średnio o 2,3 cm dłuższe oraz o 0,4 cm grubsze korzenie niż buraki korzystające wyłącznie z naturalnych opadów.

Przyrost masy liści pod wpływem deszczowania był nieco większy niż korzeni, wynosił bowiem 7,0 t/ha mimo silnego porażenia przez chwościk burakowy. Jest to o tyle oczywiste, że buraki wykorzystują wodę w pierwszym rzędzie na powiększanie swojego aparatu asymilacyjnego.

Spśród porównywanych sposobów uprawy późniwno-przedzimowej pod buraki, średnio - niezależnie od warunków wodnych - najlepszy okazał się wariant z głęboszowaniem po wcześniej wykonanej podorywce, jakkolwiek różnił się on od uprawy tradycyjnej, obejmującej podorywkę oraz głęboką orkę przedzimową, większym plonem korzeni zaledwie o 0,8 t/ha (tab.1). Również bardzo podobne okazało się oddziaływanie obu tych sposobów uprawy roli na kształt korzeni (tab.2). Zdecydowanie najgorzej, zarówno w odniesieniu do plonu korzeni jak też ich cech morfologicznych, wypadł wariant z uprawą późniwną za pomocą kultywatora o sztywnych zębach oraz z głęboką orką przedzimową (tab.1 i 2). Z kolei połączenie takiego sposobu uprawy późniwnej z głęboszowaniem i spłyconą orką przedzimową dawało lepsze efekty, zarówno jeśli chodzi o oddziaływanie na masę korzeni jak też ich morfometrię.

Tab.1. Plon korzeni i liści buraka cukrowego w t z ha

Sposób uprawy	Korzenie			Liście		
	^x W ₀	^{xx} W ₁	średnio	W ₀	W ₁	średnio
podorywka + bronowanie, głęboka orka przedzimowa	53,0	60,1	56,6	15,7	23,7	19,7
kultywatorowanie + bronowanie, głęboka orka przedzimowa	54,2	53,2	53,7	17,6	20,6	19,1
podorywka + bronowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa	53,4	61,5	57,4	16,1	30,7	23,4
kultywatorowanie + bronowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa	54,0	57,2	55,6	20,2	22,4	21,3
średnio	53,6	58,0	-	17,4	24,4	-
NIR p=0,05	-			pomiędzy wariantami wodnymi = 3,5		

x – obiekty nie deszczowane

xx – obiekty deszczowane

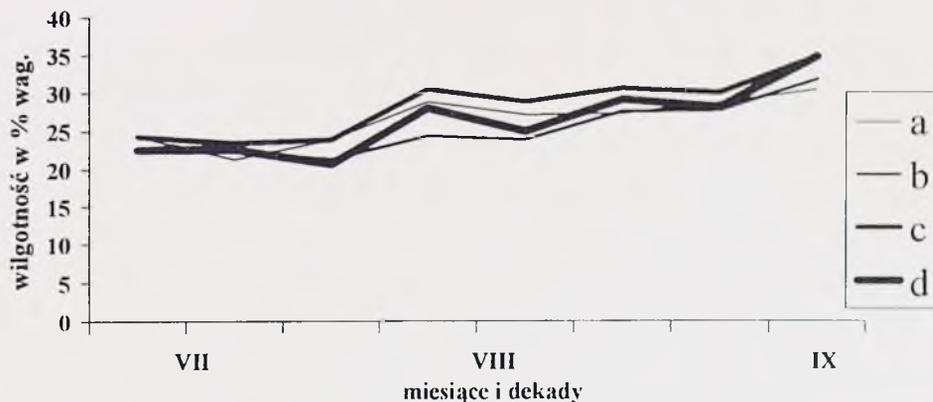
Tab. 2. Długość i średnica korzeni buraka cukrowego w cm

Sposób uprawy	Długość			Średnica		
	^x W ₀	^{xx} W ₁	średnio	W ₀	W ₁	średnio
podorywka + bronowanie, głęboka orka przedzimowa	26,4	29,8	28,1	8,8	9,6	9,2
kultywatorowanie+ bronowanie, głęboka orka przedzimowa	24,4	27,1	25,8	8,8	8,8	8,8
podorywka + bronowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa	26,6	28,9	27,8	9,2	9,6	9,4
kultywatorowanie + bronowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa	26,0	26,7	26,4	8,8	9,2	9,0
średnio	25,8	28,1	-	8,9	9,3	-

x – obiekty nie deszczowane

xx – obiekty deszczowane

Ryc.1. Wilgotność 0-25 cm warstwy gleby pod burakami, w % wag.



a – podorywka + bronowanie, głęboka orka przedzimowa

b – kultywatorowanie + bronowanie, głęboka orka przedzimowa

c – podorywka + bronowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa

d – kultywatorowanie + bronowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa

Wprawdzie nie udowodniono współdziałania warunków wodnych ze sposobami uprawy roli, to jednak zaznaczyły się pewne tendencje godne odnotowania. Być może potwierdzą je następne lata badań. Otóż na obiektach nie deszczowanych, wyższe plony korzeni stwierdzono tam, gdzie zamiast podorywki wykonano kultywatorowanie, a następnie głęboką lub płytszą orkę przedzimową w zależności od tego czy wcześniej stosowano głąbosz czy też nie. Z kolei na poletkach deszczowanych zdecydowanie lepiej plonowały buraki tam, gdzie po zbiorze przedplonu wykonywano podorywkę, niezależnie od dalszego postępowania.

Analogicznie jak plony korzeni układały się plony liści w zależności od sposobu uprawy. Przeciętnie, niezależnie od warunków wilgotnościowych, najwyższe plony liści zbierano z poletek, na których w uprawie późniwno-przedzimowej stosowano głąboszowanie, z tym że średnio o 2,1 t/ha większą masę liści tworzyły buraki tam, gdzie zabieg ten zastosowano po podorywce. Uwzględniając jednak warunki wodne widać, że na obiektach nie deszczowanych, niezależnie od głębokości orki przedzimowej znacznie lepiej pod tym względem wypadła uprawa z kultywatoresm o sztywnych zębach. Natomiast na obiektach deszczowanych wyraźnie lepiej plonowały rośliny na poletkach, gdzie uprawę rozpoczynano od podorywki, zwłaszcza w wariacie z głąboszem. W tym ostatnim przypadku różnica między obiektem z podorywką i głąboszem, a podorywką i głęboką orką sięgała aż 7,0 t/ha.

Taki układ średnich plonów korzeni i liści w zależności od sposobu uprawy późniwno-przedzimowej znajduje potwierdzenie w dynamice wilgotności w okresie największych potrzeb wodnych buraka oraz w wilgotności gleby pod koniec jego wegetacji. Otóż analiza zapasu wody w glebie w okresie deszczowania roślin wykazała, że w większości terminów oznaczania tego wskaźnika gleba spulchniona po podorywce włągłbnie za pomocą głąbosza, a następnie poddana spłyconej orce przedzimowej była znacznie lepiej uwilgotniona niż w pozostałych wariantach uprawowych. Szczególnie silnie różnice te zaznaczyły się przed zbiorem buraków, z tym że wpływ obu wariantów z głąboszowaniem, zarówno po podorywce jak i po gruberowaniu okazał się identyczny. W stosunku do uprawy klasycznej oba te obiekty charakteryzowały się średnio o 4,4% większym uwilgotnieniem warstwy ornej. Jak więc widać głąboszowanie wykonane po zbiorze przedplonu wywiera duży wpływ na gospodarkę wodną gleby pod burakami, co rzutuje także na ich plonowanie.

WNIOSKI

1. Deszczowanie buraków w okresie ich największych potrzeb wodnych powodowało przyrost masy korzeni średnio o 4,4 t/ha zaś liści o 7,0 t/ha.
2. Przeciętnie, niezależnie od warunków wodnych, najlepsze efekty wyrażone plonem korzeni i liści oraz oddziaływaniem na wielkość korzeni zapewniał wariant późniwno-jesiennej uprawy z podorywką, głęboszowaniem roli oraz spłyconą orką przedzimową.
3. Głęboszowanie wykonane po zbiorze przedplonu w zespole uprawek późniwnych, wpływało na wzrost zapasu wody w glebie pod burakami.

LITERATURA

1. DZIEŻYC J., DMOWSKI Z., PANEK K. 1987: Efekty i efektywność produkcyjna deszczowania roślin w uprawie polowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 326.
2. GUTMAŃSKI I. 1986: Wpływ sposobu uprawy roli na plonowanie buraka cukrowego na madzie ciężkiej. Biul. IHAR, nr. 160.
3. GUTMAŃSKI I. 1992: Produkcyjne skutki zmniejszenia nakładów na agrotechnikę buraka cukrowego. Mat. konf. nauk nt. Produkcyjne skutki zmniejszenia nakładów na agrotechnikę roślin uprawnych. PAN i AT-R Olsztyn, Olsztyn.
4. HAMAN J. 1988: Agroekologiczne aspekty mechanizacji rolnictwa. Post. Nauk Rol., 1-2/ 222.
5. KARWOWSKI T. 1985: Nowoczesne technologie uprawy roli przy intensywnej produkcji roślinnej. PWRiL, Warszawa.
6. SZYMANKIEWICZ K. DERYŁO S. 1995: Reakcja gleby i kukurydzy na głęboszowanie. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, vol. L, 1, sectio E.
7. WALCZYKOWA M. 1986: Głęboszowanie jako sposób na usuwanie nadmiernego zagęszczenia podglebia. Maszyny i ciągniki rolnicze, 10-11, 6.

Streszczenie: *Optymalizacja warunków wilgotnościowych i agrotechniki buraka cukrowego na rędzinie.* Praca oparta jest na wynikach badań przeprowadzonych w 1999 r. w miejscowości Bezek k/ Chelma, na rędzinie mieszanej o składzie granulometrycznym gliny średniej pylastej. Schemat doświadczenia uwzględniał dwa czynniki: warunki wodne zróżnicowane na obiekty deszczowane i nie deszczowane oraz sposób uprawy późniwno-przedzimowej pod buraki, który obejmował następujące warianty: 1/ podorywka, głęboka orka przedzimowa, 2. kultywatorowanie, głęboka orka przedzimowa, 3. podorywka, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa, 4. kultywatorowanie, głęboszowanie, spłycona orka przedzimowa. Stwierdzono, że deszczowanie buraków w okresie ich największych potrzeb wodnych powodowało przyrost masy korzeni średnio o 4.4 t/ha, zaś liści o 7.0 t/ha. Najlepsze efekty wyrażone plonem korzeni i liści oraz oddziaływaniem na wielkość korzeni zapewniał wariant późniwno-jesiennej uprawy z podorywką, głęboszowaniem roli i spłyconą orką przedzimową. Głęboszowanie wykonane po zbiorze przedplonu w zespole uprawek późniwnych, wpływało na wzrost zapasu wody w glebie pod burakami

Adres autorów:

Elżbieta Podstawka-Chmielewska, Joanna Kwiatkowska
Katedra Ekologii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Lublinie
20-934 Lublin, ul. Akademicka 13

Ogólne zasady eksploatacji systemów nawodnień kroplowych w Polsce

JERZY JEZNACH

Katedra Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie

Abstract: *Operation principles of drip irrigation systems in Poland.* The paper presents operation principles of drip irrigation systems in Poland. The decisive factors for operation quality level are analyzed, such as: design solutions, quality of equipment, installation, instruction of operation, training of farmers, methods of control and estimation of effects. The general information needed for system element selection and methods of inspection during operation are given. The principles for preparation of operation instruction including organization, technical, technological, environmental and economic issues connected with system operation, maintenance and management were proposed.

Key words: drip irrigation, operation, emitter selection, management.

WPROWADZENIE

W warunkach Polski o efektywności systemów nawodnień kroplowych, decyduje poziom jakości prowadzonej eksploatacji, obejmującej całokształt zagadnień organizacyjnych, technicznych, technologicznych, środowiskowych i ekonomicznych związanych z użytkowaniem, utrzymaniem i zarządzaniem systemu [Jeznach; 1996]. Na podstawie badań własnych oraz wielokierunkowego rozpoznania problemów podjęto próbę ich uogólnienia i sformułowania zasad eksploatacji systemów nawodnień kroplowych.

POZIOM JAKOŚCI EKSPLOATACJI SYSTEMÓW NAWODNIEŃ KROPLOWYCH

O poziomie jakości prowadzonej eksploatacji systemu nawodnień kroplowych decydują następujące czynniki:

- właściwe rozwiązania projektowe,
- jakość urządzeń,

-
- solidność wykonawstwa instalacji,
 - przestrzeganie zaleceń zawartych w instrukcji eksploatacji,
 - przeszkolenie użytkownika,
 - kontrola, analiza i ocena efektów.

Rozwiązania projektowe

Właściwe rozwiązania projektowe, obejmujące dobór urządzeń i optymalizację parametrów sieci nawadniającej, można zaliczyć do czynników najważniejszych.

Przed dokonaniem doboru urządzeń nawadniających należy określić cel lub cele, które mają być realizowane [Jeznach, Pierzgałski; 1993]. Mogą być nimi:

- zwilżenie gleby,
- nawożenie,
- kształtowanie mikroklimatu,
- ochrona przed przymrozkami lub schłodzenie roślin,
- inne zabiegi ochronne jak, np. rozprowadzanie środków chemicznych.

Na podstawie warunków przyrodniczych, ekonomicznych i technicznych niezbędne jest określenie kryteriów dotyczących jakości systemu i jego poszczególnych urządzeń, tzn.

- wymaganej równomierności nawadniania i nawożenia,
- niezawodności eksploatacyjnej,
- trwałości,
- zakresu obsługi i poziomu automatyzacji.

Jakość urządzeń

W systemach nawodnień kropłowych zasadą powinno być stosowanie urządzeń wysokiej jakości. Dotyczy to w jednakowym stopniu wszystkich elementów systemu, gdyż nieprawidłowa praca jednego z elementów może decydować o funkcjonowaniu całego systemu. Jakość krajowych urządzeń, głównie emiterów, przewodów nawadniających i filtrów nie zawsze odpowiada obowiązującym normom. Do czasu uruchomienia produkcji wysokiej jakości emiterów i filtrów zaleca się stosowanie urządzeń z importu. Należy dążyć do poprawy jakości krajowych przewodów nawadniających wykonywanych z rur polietylenowych, przez zastosowanie nowych

technologii produkcji, zapewniających stabilność składu materiałowego z dodatkami uszlachetniającymi i ochronnymi przed wpływem promieniowania ultrafioletowego.

Wszystkie elementy systemów nawodnień kropłowych, przed wprowadzeniem na rynek, powinny być poddane testom standaryzacji, zgodnie z wymogami obowiązującymi w Unii Europejskiej. Testy te mogą być wykonywane przez wyznaczoną jednostkę naukowo-badawczą, współpracującą z Polskim Centrum Badań i Certyfikacji.

Wykonawstwo instalacji

Jakość wykonawstwa instalacji nawadniającej ma także istotny wpływ na warunki eksploatacji. Wszelkie niedokładności powodują znaczne zwiększenie nakładów pracy i energii na utrzymanie systemu w pełnej sprawności. Najbardziej typowe błędy występują przy budowie ujęć wody, węzła i przewodów magistralnych. Ich naprawa, trwająca kilka dni w okresie wegetacji, znacznie obniża efektywność nawodnień. Systemy nawodnień kropłowych powinny być wykonywane przez specjalistyczne zakłady instalacyjne. Tylko niewielkie, proste systemy mogą montować sami użytkownicy pod nadzorem technicznym.

Podnoszenie poziomu technicznego użytkowników

Przed uruchomieniem systemu nawodnień kropłowych projektant lub wykonawca powinien przeszkolić użytkownika w zakresie niezbędnym do realizowania prawidłowej eksploatacji systemu. Wskazane jest, by organizacje rolników, ośrodki doradztwa i instytucje naukowe przeprowadzały wykłady, pokazy i zajęcia warsztatowe dla podniesienia kultury technicznej użytkowników systemu nawodnień kropłowych.

ZASADY DOBORU ELEMENTÓW SYSTEMU NAWADNIAJACEGO

Do czynników przyrodniczych rzutujących na dobór elementów systemu nawadniającego należą:

- jakość i ilość wody dostępnej do nawodnień,
- rodzaj gleby na obiekcie,
- ukształtowanie terenu,

- użytkowanie,
- sposób produkcji (uprawy polowe, szklarnie, tunele).

Wobec szerokiej możliwości zakupu krajowych i zagranicznych urządzeń nie ma obecnie zasadniczych ograniczeń technicznych. Istnieje natomiast potrzeba wykonywania precyzyjnej analizy techniczno - ekonomicznej, uwzględniającej z jednej strony stan organizacyjno - ekonomiczny gospodarstwa, z drugiej zaś przewidywany skutek nawodnień wzrost kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz dochodów.

Emitery

Uwzględniając rolę poszczególnych czynników oraz problemy związane z doбором elementów systemu nawodnień kropłowych, można zaproponować następujące ogólne zasady doboru emiterów [Jeznach; 1996]:

- w uprawach pod osłonami, ze względu na zwykle krótkie przewody nawadniające, uzasadnione jest użycie najprostszych emiterów kapilarnych. W większych szklarniach, przy intensywnej produkcji i wysokich wymogach jakościowych, konieczne może być stosowanie emiterów z kompensacją ciśnienia,
- przy nawodnieniach warzyw w uprawie polowej bardziej przydatne wydają się linie nawadniające z zamontowanymi wewnątrz przewodu emiterami, gdyż są one mniej podatne na uszkodzenia w trakcie prac agrotechnicznych,
- w sadach przy podawaniu nawozów przez system nawadniający należy stosować emitery z kompensacją ciśnienia, przy gęstych nasadzeniach drzew (rozstawa poniżej 1 m) zaleca się instalowanie kompensacyjnych linii nawadniających z emiterami wewnątrz przewodu (tzw. linie kropłujące). W szkółkach i sadach bardzo intensywnych należy stosować emitery kompensacyjne z większą liczbą otworów.

Sieć nawadniająca

Parametry sieci nawadniającej powinny być określone przy uwzględnieniu kryteriów technicznych (analiza hydrauliczna sieci), technologicznych (rozdział wody na kwatery), niezawodnościowych (wymagany poziom niezawodności) i ekonomicznych (najbardziej uzasadnione średnice i długości rurociągów). Najodpowiedniejszą metodą

obliczeń spełniająca te kryteria jest modelowanie matematyczne. W Polsce opracowano wiele programów komputerowych dotyczących optymalizacji parametrów sieci przewodów, pozwalających nie tylko na zwiększenie dokładności obliczeń, ale także na symulację działania systemu w różnych warunkach użytkowania.

Urządzenia uzdatniające wodę

Dobór urządzeń uzdatniających wodę jest uzależniony od jakości wody używanej do nawodnień oraz jej zmienności w sezonie wegetacyjnym. Uwzględniając standardową jakość wód powierzchniowych i podziemnych w Polsce można zaproponować, niezależnie od konieczności wykonania analiz wody, ogólne zasady doboru tych urządzeń:

- przy korzystaniu z powierzchniowych wód płynących, zawierających głównie zanieczyszczenia mechaniczne, wystarczają filtry siatkowe, włókninowe lub dyskowe,
- wody stojące, ze względu na niebezpieczeństwo rozwoju glonów, wymagają zastosowania filtrów żwirowych,
- większość wód podziemnych wymaga odżelazienia przez zastosowanie zamkniętych odżelaziaczy z samoczynnym napowietrzaniem. Urządzenia te należy stosować już przy zawartości żelaza powyżej 0.2 mg dm^{-3} ; przy Fe powyżej 4.0 mg dm^{-3} zaleca się układ dwustopniowy, przez zastosowanie dwóch połączonych szeregowo odżelaziaczy,
- przy podawaniu nawozów za dozownikiem musi być zainstalowany filtr siatkowy, włókninowy lub dyskowy,
- w dużych systemach nawodnień i przy używaniu wody złej jakości konieczne jest zastosowanie filtrów II lub III stopnia.

INSTRUKCJA EKSPLOATACJI

Do każdego systemu nawodnień kropłowych niezbędne jest sporządzenie szczegółowej instrukcji eksploatacji, obejmującej zarówno czynności związane z użytkowaniem systemu, jak również z jego utrzymaniem. Instrukcja powinna być opracowana już na etapie projektu i stanowić jego część integralną [Marcilonek, 1994].

Elementy instrukcji

Instrukcja eksploatacji powinna składać się z następujących części:

- przyrodniczo-rolniczej,
- technologicznej,
- techniczno-organizacyjnej.

W części przyrodniczo-rolniczej należy scharakteryzować warunki klimatyczne oraz aktualny i przyszłościowy kierunek produkcji.

Przyjęcie odpowiedniej technologii nawodnienia, odpowiadającej danym warunkom przyrodniczo - produkcyjnym, wymaga określenia:

- okresów nawadniania w sezonie wegetacyjnym,
- potrzeb wodnych roślin w określonych przedziałach czasowych,
- wielkości dawki polewowej,
- potrzeb nawozowych, dawek i stężeń,
- dopuszczalnego natężenia wydatku emiterów,
- metod wyznaczania terminów nawodnienia,
- sposobu obsługi systemu.

Technologia nawadniania

Specyficzną cechą technologii nawadniania kropłowego jest odmienna gospodarka wodna i pokarmowa w profilu glebowym. Podstawową zasadą jest podawanie małych i częstych dawek polewowych i nawozowych. Jednorazowe dawki oscylują wokół dobowych lub kilkudniowych potrzeb wodnych i pokarmowych roślin, stosownie do aktualnych warunków pogodowych. Na glebach lekkich, charakteryzujących się dużą odciekalnością, dobowe zapotrzebowanie na wodę jest realizowane kilkakrotnie w ciągu dnia w celu uniknięcia strat wody na przesiąki w głąb profilu glebowego. Zautomatyzowane systemy nawodnień umożliwiają podawanie bardzo niewielkich ilości wody kilkunastokrotnie w ciągu dnia. Uzyskuje się w ten sposób bardzo oszczędne zużycie wody. Dawkowanie wody z dużą częstotliwością pozwala ponadto na utrzymywanie optymalnego dla danej fazy rozwoju rośliny i warunków glebowych potencjału wodnego gleby. Uniknięcie większych stresów wodnych w roślinie prowadzi w efekcie do wyższych i jakościowo lepszych plonów. Ponadto precyzyjna i oszczędna

gospodarka woda, a także nawozami i środkami ochrony roślin w zasadniczy sposób ogranicza negatywny wpływ intensywnej produkcji roślinnej na środowisko naturalne.

Sterowanie nawodnieniami

Realizowanie nawodnienia i nawożenia według powyższych zasad wymaga bardziej precyzyjnych metod sterowania. Może odbywać się to na podstawie:

- pomiarów wilgotności lub potencjału wody w glebie (m.in. metoda grawimetryczna, tensjometryczna, oporowa, neutronowa, izotopowa),
- warunków atmosferycznych (bilans klimatyczny korygowany bezpośrednimi pomiarami zawartości wody w glebie),
- pomiarów parowania terenowego (lizymetry) lub parowania z wolnej powierzchni wody (ewaporometry),
- pomiarów potencjału wody w roślinie,
- pomiarów różnic między temperaturą liści a temperaturą otaczającego ich powietrza,
- modelowania matematycznego procesu ewapotranspiracji.

Przy uprawach polowych spośród powyższych najbardziej akceptowana przez użytkowników jest ocena warunków wodnych w glebie za pomocą tensjometrów, a także opracowana dla nawodnień deszczownianych metoda bilansowa. Natomiast w szklarniach przeważa obecnie sterowanie nawodnieniami za pomocą mechanizmów czasowych, tzn. włączających urządzenia w określonym czasie z żadaną częstotliwością. Panuje zgodny pogląd, że jest to metoda prosta, a jednocześnie wystarczająco dokładna.

Zarządzanie systemem

W części techniczno-organizacyjnej instrukcji eksploatacji należy określić:

- zasady obsługi systemu i jego poszczególnych elementów,
- szczegółowy zakres prac i zabiegów konserwacyjnych,
- metody oceny i sposoby poprawy funkcjonowania systemu,
- zasady organizacji.

W pierwszym okresie użytkowania systemu nawodnień kroplowych, szczególnie po jego uruchomieniu, muszą być sprawdzone i zweryfikowane przyjęte rozwiązania

projektowe, głównie dobór urządzeń oraz zabiegów konserwacyjnych. W trakcie eksploatacji obiektu przyjęte w instrukcji zasady powinny być modyfikowane w zależności od zmieniających się warunków środowiskowych oraz technicznych i eksploatacyjnych.

Kontrola poziomu jakości eksploatacji

Warunkiem prawidłowej eksploatacji jest bieżące zbieranie i przetwarzanie informacji o aktualnym stanie systemu. Stąd m.in. wynika konieczność wyposażenia obiektu w odpowiednią aparaturę kontrolno - pomiarową. Korzystając z niej użytkownicy powinni sami prowadzić systematyczne inspekcje i kontrole w celu oceny stanu funkcjonowania systemów. W przypadku stwierdzenia jakichkolwiek nieprawidłowości lub pogorszenia stanu powinni korzystać z porad specjalistów.

Przeglądy systemu

Staranny przegląd wszystkich urządzeń i płukanie instalacji należy wykonywać:

- przed uruchomieniem systemu,
- na początku i końcu sezonu wegetacyjnego,
- w przypadku stwierdzenia uszkodzeń lub nieprawidłowości.

Rola użytkowników systemu

Przedstawione czynniki składowe zasad eksploatacji systemów nawodnień kropłowych są ze sobą ściśle połączone i sprzężone, a zaniedbywanie jednego z nich pociąga za sobą negatywne oddziaływanie innych. Wyróżnić należy jedynie rolę czynnika ludzkiego, który ma decydujący wpływ na funkcjonowanie systemów nawodnień kropłowych. Osobiste zaangażowanie użytkownika, przestrzeganie przez niego ustalonych zasad eksploatacji, kontrola i ocena efektów działania decydują o sprawności systemu. W trakcie sezonu wegetacyjnego realizacja nawodnienia kropłowego wymaga stosunkowo niewielkiego nakładu pracy, jednak prace i zabiegi konserwacyjne muszą być wykonywane starannie i terminowo.

PODSUMOWANIE

W warunkach Polski przesłanki środowiskowe, ekologiczne i społeczno-ekonomiczne sprawiły, że nawodnienia kropłowe stanowiąc będą w przyszłości jeden z podstawowych systemów nawodnień. Ich dalszy rozwój jest ważny ze względu na potrzebę intensyfikacji produkcji rolnej przy uwzględnieniu standardów Unii Europejskiej, a przede wszystkim: zachowania równowagi ekologicznej środowiska, produkcji żywności o wysokiej jakości i zwiększenia efektywności nakładów oraz ograniczenie niekorzystnych warunków wynikających z globalnych zmian klimatu.

W ciągu niespełna dwudziestu lat stosowania nawodnień kropłowych dokonano w kraju znaczącego postępu technicznego i technologicznego, który będzie przybliżał się do poziomu światowego. Jednak za postępem technicznym wyraźnie nie nadąza postęp w organizacji i eksploatacji systemów.

Warunki eksploatacyjne powodują, że funkcjonowanie systemów nawodnień kropłowych często jest niezadowolające. Techniczne starzenie się urządzeń następuje po kilku latach użytkowania. Równomierność nawodnienia obniża się, a liczba emiterów całkowicie lub częściowo niesprawnych jest zbyt duża. Problemy te w naszych warunkach, oprócz kosztów, stają się barierą ograniczającą dalszy rozwój nawodnień kropłowych.

Niski poziom eksploatacji systemów nawodnień kropłowych ma istotny wpływ na wielkość i jakość produkcji roślinnej oraz degradację naturalnego środowiska poprzez nadmierne zużycie zasobów (woda, nawozy, energia, siła robocza) i zanieczyszczenie wód gruntowych nawozami i środkami ochrony roślin.

Funkcjonowanie systemów nawodnień kropłowych zależy od poziomu jakości eksploatacji obiektu, obejmującej całokształt zagadnień organizacyjnych, technicznych, technologicznych, środowiskowych i ekonomicznych związanych z użytkowaniem i utrzymaniem systemu.

Warunkiem racjonalnej eksploatacji systemów nawodnień kropłowych, przy wysokiej sprawności organizacyjnej i produkcyjnej gospodarstwa, jest przestrzeganie zasad eksploatacji, opracowanych w instrukcji eksploatacyjnej już na etapie projektowania inwestycji.

LITERATURA

- JEZNACH J. 1996: Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kropłowych w różnych warunkach środowiskowych. SGGW, Rozprawy Naukowe i Monografie. Warszawa. Str. 127.
- JEZNACH J., PIERZGALSKI E. 1993: Systemy mikronawodnień a warunki przyrodnicze i środowiskowe. W pracy: „Współczesne problemy melioracji”. SGGW, Warszawa; 200-210.
- MARCILONEK S. 1994: Eksploatacja systemów melioracyjnych. AR, Wrocław.

Streszczenie: *Ogólne zasady eksploatacji systemów nawodnień kropłowych w Polsce.* W pracy przedstawiono ogólne zasady eksploatacji systemów nawodnień kropłowych w Polsce. Analizowano czynniki decydujące o poziomie jakości eksploatacji, takie jak: właściwe rozwiązania projektowe, jakość stosowanych urządzeń, solidność wykonawstwa instalacji, przestrzeganie zaleceń zawartych w instrukcji eksploatacji, przeszkolenie użytkownika, kontrola, analiza i ocena efektów. Podano ogólne informacje niezbędne przy doborze elementów systemu oraz metody kontroli ich jakości w trakcie użytkowania. Zaproponowano zasady sporządzania instrukcji eksploatacji, obejmującej całokształt zagadnień organizacyjnych, technicznych, technologicznych, środowiskowych i ekonomicznych związanych z użytkowaniem, utrzymaniem i zarządzaniem systemem.

Słowa kluczowe: nawadnianie kropłowe, użytkowanie systemu, dobór urządzeń, eksploatacja.

Adres autora:

Jerzy Jeznach

Katedra Kształtowania Środowiska

SGGW w Warszawie

ul. Nowoursynowska 166,

02-787 Warszawa

E-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

Równomierność natężenia wydatku emiterów w systemach nawodnień kroplowych

JERZY JEZNACH

Katedra Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie

Abstract: *Uniformity of the emitters discharge in drip irrigation systems.* Crops production depends on the water-air-nutrients system in the soil, regulated by precipitation, irrigating and fertilization. Those relations depend mostly from uniformity of emitters discharge. Uniformity of emitters discharge decides about crops production. In this reason uniformity criterion is practical universally to estimations of operation of the systems. In the paper was given the analysis of factors witch decided of the uniformity of emitters discharge as emitter exponent, manufacturing coefficient and operation factors. Also selection of uniformity coefficient and criterions of estimation.

Key words: drip irrigation, uniformity, coefficients of uniformity, criterions.

WPROWADZENIE

Specyfika nawodnień kroplowych, polegająca na doprowadzaniu wody lub roztworów nawozów do pojedynczych roślin w dawkach zbliżonych do potrzeb dobowych, sprawia, że równomierność nawodnienia jest jednym z podstawowych kryteriów oceny funkcjonowania systemu nawadniającego.

Nierównomierność wynika z różnic natężenia wydatku emiterów na jednostce nawadnianej powierzchni. Do najważniejszych czynników technicznych, technologicznych i eksploatacyjnych powodujących te różnice zalicza się:

- jakość wykonania emiterów, wyrażaną tzw. współczynnikiem fabrycznym,
- charakterystykę hydrauliczną emitera,
- sposób podłączenia emitera do przewodu, wyrażany przez straty lokalne,
- zmiany ciśnienia wody w przewodach wywołane tarcieniem cieczy o ścianki i ukształtowaniem terenu,

- charakterystykę roztworu nawozowego,
- czynniki występujące w trakcie eksploatacji systemu: zmiany temperatury wody w przewodach, częściowe lub całkowite zatykanie się emiterów,
- inne (czynniki środowiskowe; jakość i ilość dostępnej wody).

CZYNNIKI TECHNICZNE DECYDUJĄCE O RÓWNOMIERNOŚCI NATĘŻENIA WYDATKU

Jakość wykonania emiterów

Jako kryterium oceny jakości wykonania emiterów przyjęto współczynnik zmienności C_v , określane zgodnie z międzynarodowymi normami: ISO 09260, ISO 09261, ASAE, UNI oraz krajowymi normami branżowymi BN-85/9191-15, BN-88/9191-16 i BN-89/9191-17 [Cyt. Jeznach; 1996] według zależności:

$$C_v = \frac{S}{\bar{q}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- C_v - współczynnik zmienności,
- S - odchylenie standardowe natężenia wydatku badanej próby,
- \bar{q} - średnie natężenie wydatku.

Na podstawie normy ISO, przy współczynniku $C_v < 5\%$ emitery kwalifikuje się jako dobre (klasa A), przy $5\% < C_v < 10\%$ jako średnie (klasa B), a jeśli $C_v > 10\%$, to emitery nie kwalifikują się do zastosowania. Według polskiej normy do pozaklasowych zalicza się emitery przy współczynniku $C_v > 15\%$.

W ostatnich latach, w związku z wprowadzeniem nowych materiałów i stosowaniem nowoczesnych technologii produkcji, obserwuje się tendencję zwiększania jakości stosowanych emiterów, tj. zmniejszania współczynnika zmienności C_v .

Charakterystyka hydrauliczna emiterów

Zależność pomiędzy natężeniem wypływu z emitera a ciśnieniem wody w przewodzie można ująć równaniem:

$$q = a H^n \quad (2)$$

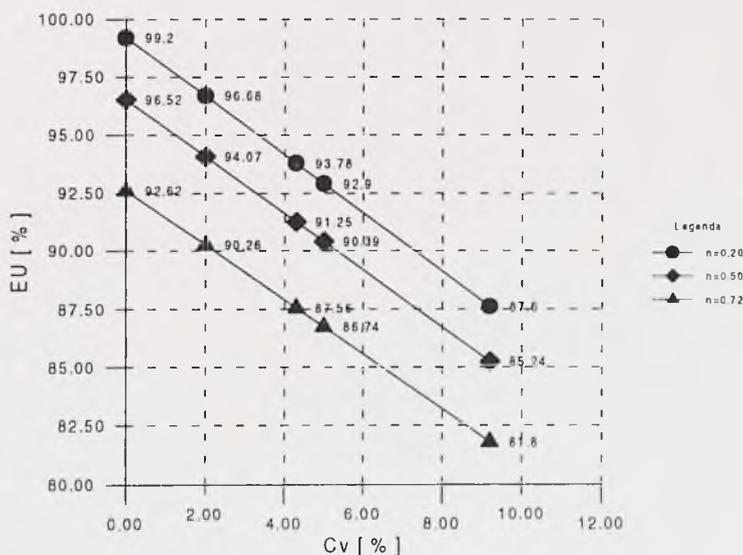
gdzie:

- q - natężenie wypływu z emitera,
- H - ciśnienie wody w przewodzie,
- a - współczynnik empiryczny, stały dla danego typu emitera,
- n - wykładnik potęgowy, charakteryzujący rodzaj przepływu w emiterze.

Wartość wykładnika n waha się w granicach od 0 do 1, przy czym wartości zbliżone do 1 wskazują na laminarny charakter przepływu a tym samym dużą różnicę natężenia wypływu przy zmianie ciśnienia. Różnice te zmniejszają się, gdy wartości n maleją i przy n mniejszym od 0,3 są nieznaczne (emitery z kompensacją ciśnienia).

Przy podawaniu nawozów przez system nawadniający zaleca się stosowanie emiterów z kompensacją ciśnienia.

Wpływ jakości wykonania emiterów na projektowaną równomierność nawadniania przedstawił Jeznach [1996], przekształcając wzór na współczynnik równomierności emisji EU (Rys. 1.).

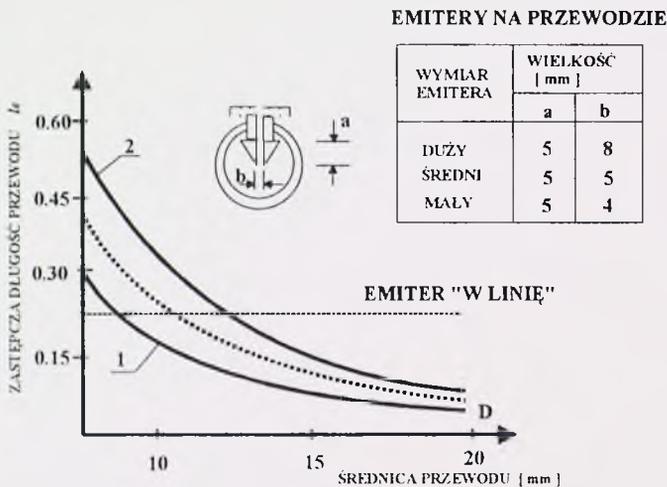


Rys. 1. Wpływ jakości wykonania emiterów na projektowaną równomierność nawadniania

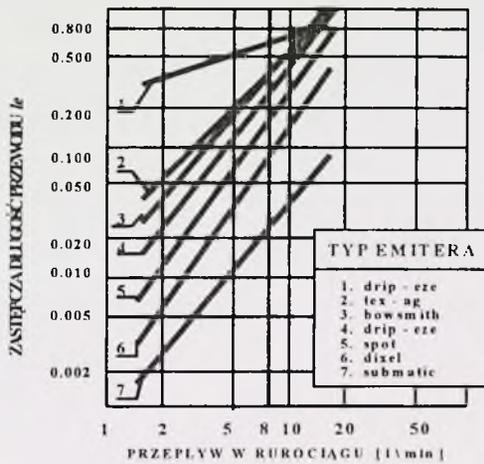
Jakość wykonania emiterów ma więc znaczący wpływ na efektywność funkcjonowania systemu nawodnień. Przy stosowaniu emiterów o wykładniku potęgowym $n > 0,6$ trudno osiągnąć wymaganą równomierność nawadniania. Dla jej zapewnienia niezbędna może być wtedy konieczność zwiększania parametrów technicznych (średnice przewodów) instalacji nawadniającej, co przyczyni się do znacznej zwyżki kosztów inwestycyjnych.

Sposób podłączenia emitera

Sposób podłączenia emitera do przewodu wyrażany jest przez straty lokalne, określane jak w obliczeniach deszczowniowych i wodociągowych przez wprowadzenie zastępczej długości przewodu. Zastępcza długość przewodu zależy od typu emitera, jego wymiarów, parametrów przewodu oraz natężenia przepływu (Rys. 2, 3).

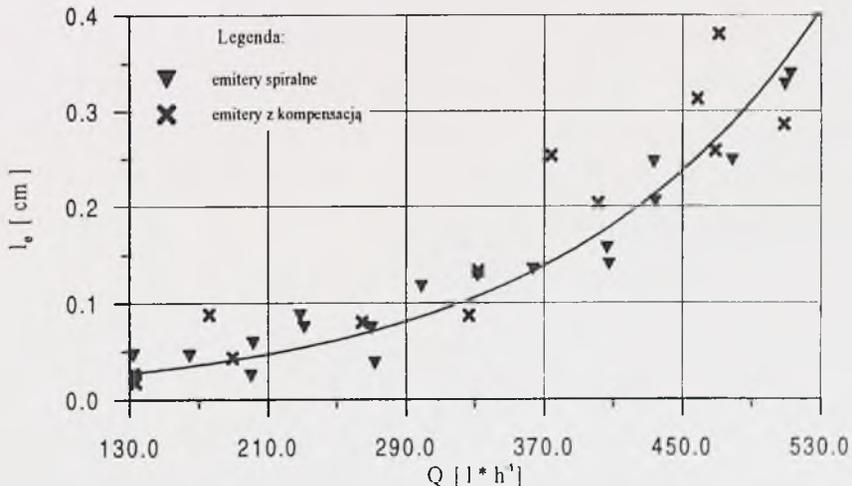


Rys. 2. Wartość zastępczej długości przewodu l_e w zależności od średnicy rurociągu i typu emitera [Watters, Keller; 1978]: 1 - emiterzy małe, 2 - emiterzy duże



Rys. 3. Straty hydrauliczne spowodowane zamocowaniem emitera wyrażone jako zastępcza długość przewodu l_e [Howell, Barinas; 1980]

W celu określenia strat lokalnych związanych z zamontowaniem emiterów wykonano badania laboratoryjne. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 4 [Jeznach; 1996].



Rys. 4. Straty hydrauliczne spowodowane zamontowaniem na przewodzie nawadniającym emiterów kapilarnych i emiterów z kompensacją ciśnienia

Określono także długość zastępczą przewodu nawadniającego rekompensującą straty hydrauliczne spowodowane zamontowaniem emiterów. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Straty hydrauliczne spowodowane zamontowaniem emiterów wyrażone jako zastępcza długość przewodu nawadniającego

Typ emitera	Zastępcza długość przewodu [m]
Kapilarne	0,0629
Z kompensacją	0,0636

Wyniki te są zgodne z danymi Wetters'a i Kellera [1980] oraz Howella i Barinas'a [1978] przedstawionymi na rysunkach 2 i 3.

Zmiany ciśnienia wody w przewodach

Straty hydrauliczne spowodowane tarcie dla przewodów wydatkujących po drodze można określać dwoma metodami przez przyjęcie [Jeznach, 1981]:

- przepływu zastępczego,
- współczynnika redukcyjnego.

Podstawy hydrauliczne przewodów nawadniających w systemach nawodnień kroplowych przedstawił Ostromecki [1978]. Prace nad tym zagadnieniem podjął Jeznach [1981], który opracował metodę obliczania przewodów nawadniających. Polegała ona na wprowadzeniu do wzoru na straty hydrauliczne parametru m uwzględniającego charakter ruchu cieczy w przewodzie. Generalnie można to przedstawić według następującej formuły:

$$\Delta H = A \cdot L \cdot Q^m \quad (3)$$

gdzie:

- ΔH - straty hydrauliczne,
- A - współczynnik uwzględniający: parametry przewodu, współczynniki oporów hydraulicznych oraz przyspieszenie ziemskie,
- L - długość przewodu,
- Q - natężenie przepływu zastępczego,
- m - wykładnik potęgi.

Wartość wykładnika potęgi m zmienia się od 1 przy ruchu laminarnym do 2 przy ruchu burzliwym. Wyniki badań laboratoryjnych [Jeznach; 1981] wskazują na ścisłą zależność wartości m od liczby Reynoldsa (Tabela 2).

Tabela 2.

Wartość wykładnika potęgi m w zależności od liczby Reynoldsa

Przepływ [l h ⁻¹] Q	Liczba Reynoldsa Re	Współczynnik oporów hydraulicznych λ	Wykładnik potęgi m
19,7	628,0	0,1020	1,00
32,5	1266,0	0,0510	1,23
49,8	1941,8	0,0329	1,44
89,1	2085,0	0,0310	1,45
108,7	2543,6	0,0456	1,53
173,0	4048,6	0,0397	1,75
217,8	5062,5	0,0375	1,85
314,9	7370,5	0,0340	2,00
507,9	11886,4	0,0300	2,00

Aktualnie większość autorów straty hydrauliczne określa według formuły 3.

CZYNNIKI TECHNOLOGICZNE

Jakość wody

Jakość wody używanej w nawodnieniach kropłowych odgrywa bardziej istotną rolę niż w innych systemach nawadniających. W nawodnieniach kropłowych może być stosowana w zasadzie woda, odpowiadająca III klasie czystości, z każdego źródła (rzeki, kanały, jeziora, stawy, wody podziemne), lecz przed wprowadzeniem do sieci nawadniającej musi zostać poddana procesowi oczyszczenia, uzdatnienia i ewentualnie wzbogacenia (poprzez dodanie nawozów i innych środków chemicznych) stosownie do wymaganych kryteriów. Woda używana w nawodnieniach kropłowych powinna spełniać trzy kryteria jakościowe [Jeznach, Pierzgalski; 1993(a)]

- sanitarne,
- fizjologiczne,
- techniczne.

Nawodnienia nie mogą być źródłem zakażeń i zatruc konsumentów, ani wpływać na pogorszenie smaku i wartości odżywczych warzyw i owoców. Kryterium fizjologiczne dotyczy ilości soli lub innych związków chemicznych, których stężenie mogłoby ograniczać wzrost roślin. Techniczne kryterium jakości wody związane jest z procesem zatykania urządzeń i w nawodnieniach kropłowych jest znacznie bardziej zaostrzone niż przy innych systemach mikronawodnień, np. mikrodeszczowniach.

Zatykanie się urządzeń może być spowodowane zanieczyszczeniami pochodzenia fizycznego, chemicznego i biologicznego. W Polsce nie opracowano dotychczas norm jakościowych dla wody używanej w nawodnieniach kropłowych. Dość powszechnie znana jest natomiast klasyfikacja wody, ze względu na niebezpieczeństwo zatykania się emiterów, podana przez Bucks [Bucks i in.; 1982].

W Polsce do nawodnień kropłowych powszechnie używa się wód podziemnych. Ich jakość jest bardzo zmienna, zależnie od pochodzenia tych wód i charakterystyki warstw wodonośnych. Dlatego też w każdym przypadku projektowanej instalacji konieczna jest ocena jakości wody używanej do nawodnień.

Na podstawie obszernego materiału obserwacyjnego i analiz statystycznych Jeznach i Pierzgałski [1993(a)] podali zawartość wybranych wskaźników występujących w Polsce w wodach podziemnych z 90 % prawdopodobieństwem.

Porównanie tych wartości ze wskaźnikami klasyfikacji Bucka wskazuje, że przy używaniu wód podziemnych do nawodnień kropłowych istnieje duże prawdopodobieństwo konieczności ich uzdatniania. Ogólnie stwierdza się, że 66 % wód podziemnych wymaga odżelazienia co najmniej do poziomu jakości dla wody pitnej ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$), a 50 % wód wymaga odżelazienia i odmanganiania (do poziomu około $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$). Ocenia się, że jedynie 23 % wód podziemnych nie wymaga uzdatniania.

Wody powierzchniowe zawierają znaczne ilości zanieczyszczeń pochodzenia mineralnego (np. piasek) i organicznego (np. glony).

Zasoby wodne

Przy ograniczonych zasobach wodnych wielkość dyspozycyjnego dopływu jednostkowego decyduje o:

- powierzchni objętej nawodnieniami,

- odmianie systemu nawadniającego,
- technologii prowadzenia nawodnień.

Przy niewielkich źródłach wody niezbędne może być stosowanie zbiorników retencyjnych o różnorodnej konstrukcji i prowadzenie nawodnień sposobem grawitacyjnym. Przy korzystaniu ze zbiorników nie należy dopuścić do pogarszania jakości wody (rozwój glonów, wtórne zażelazienie na skutek korozji).

Eksploatacyjne

Zmiany temperatury wody w przewodach

Przewody nawadniające wykonane są z czarnego polietylenu i układane zwykle na powierzchni terenu, co zwiększa absorpcję promieni słonecznych i w efekcie podnosi temperaturę wody. Może to zmieniać parametry emiterów i przewodów (średnice), napięcia powierzchniowe, gęstość i lepkość wody oraz przyspieszyć koagulację koloidów i wytrącanie się węglanów, sulfatów i fosfatów na ściankach przewodów i emiterów.

Badania prowadzone w warunkach klimatycznych Polski [Jeznach; 1981] wykazały podnoszenie temperatury wody w przewodach o 4°C na długości 26 m i o 8°C na długości 52 m. Zmiany te powodują zwiększenie natężenia przepływu wody w przewodach i wydatku emiterów na długości przewodów nawadniających. Według badań Gai-Fang Peng, I-Pai Wu i Phene [1986] zwiększenie natężenia przepływu wody w przewodach o 10% powoduje zwiększenie strat hydraulicznych o 18%.

Wpływ temperatury wody na zmiany parametrów przewodów (średnice) jest mały i może być pominięty w obliczeniach.

Zatykanie się emiterów

Wykonane badania funkcjonowania systemów nawodnień kropłowych w Polsce wykazały, że głównym problemem eksploatacyjnym tych systemów było zatykanie się emiterów i związana z tym niska równomierność nawadniania. Na podstawie wieloletnich badań można przedstawić ogólne zasady zapobiegania zatykaniu się emiterów [Jeznach; 1996]:

- dobór urządzeń uzdatniających powinien być dostosowany do jakości wody i jej zmienności,

- zastosowanie, w zależności od jakości wody, jedno- lub dwustopniowego systemu filtrowania,
- typ emiterów powinien być odpowiedni do warunków przyrodniczo-produkcyjnych obiektu,
- wszystkie elementy systemu powinny być właściwie użytkowane i konserwowane.

Zatykanie emiterów jest jednym z trudniejszych do rozwiązania problemów w systemach nawodnień kropłowych. Zatykane emitery zmniejszają natężenie przepływu w przewodach wskutek zwiększania wydatku emiterów pracujących. Powoduje to zmniejszenie strat hydraulicznych na długości.

Badania Bralts'a i I-Pai Wu [1982] wykazały, że 10 % zatykanych emiterów redukuje natężenie przepływu o 8,7 %. Zmiany te, określone dla polskich emiterów kapilarnych i z kompensacją ciśnienia wynoszą odpowiednio 8,1 % i 9,7 % [Jeznach; 1996].

Nawożenie przez system nawadniający

Wykorzystanie sieci nawadniającej do nawożenia staje się coraz bardziej powszechne. Ten sposób nawożenia umożliwia optymalne zaopatrzenie roślin w makro- i mikroskładniki.

Nawożenie przez system nawadniający musi spełniać następujące kryteria:

- nie powodować korozji urządzeń,
- nie reagować z substancjami, które zawiera woda używana do nawodnień,
- nie niszczyć elastyczności przewodów i powiększać strat hydraulicznych,
- nie zatykać żadnych urządzeń systemu.

Podawanie nawozów wraz z wodą może odbywać się okresowo lub z każdym nawadnianiem. Okresowe dokarmianie roślin polega na podawaniu roślinom składników pobieranych w dużych ilościach tj. głównie azotu i potasu. Pożywki dla upraw hydroponicznych np. uprawy na wełnie mineralnej, wymagają ciągłego dostarczania roślinom wszystkich składników w jednym roztworze. Stwarza to większe niebezpieczeństwo wytracania się różnych soli, co prowadzi do zatykania emiterów i uwstecznienia składników pokarmowych.

Zatykanie się emiterów może być spowodowane odparowywaniem wody z pożywki znajdującej się na ich końcówce. Można temu zapobiec poprzez przemywanie instalacji wodą bezpośrednio po każdym zakończeniu nawożenia.

Wykorzystanie systemu nawadniającego do nawożenia, oprócz oczywistych pozytywnych efektów, może spowodować pogorszenie się funkcjonowania systemu nawadniającego. Dla uniknięcia tego zjawiska należy przestrzegać następujących zasad:

- dozowniki nawozów powinny być dostosowane do warunków przyrodniczo-technicznych obiektu,
- stosowane nawozy muszą być całkowicie rozpuszczalne,
- nie należy używać nawozów zawierających wapń, magnez i polifosforę,
- nie wolno używać mikroelementów w stanie zjonizowanym,
- stężenie roztworu nawozowego nie powinno być większe niż 1:500,
- podawanie nawozów należy kończyć przed zakończeniem nawadniania tak, aby nastąpiło przemycie całego systemu nawadniającego.

Równomierność podawania nawozów zależy od stopnia rozpuszczania podawanej substancji oraz sprawności systemu nawadniającego. Z doświadczeń [Jeznach, Pierzgałski; 1993(b)] wynika, że podawanie nawozów jest równomierne, jeśli system nawadniający zapewnia wysoką równomierność nawodnienia. Większą równomierność nawożenia uzyskuje się wówczas, gdy przed nawożeniem i po nim przeprowadza się nawadnianie.

KRYTERIA OCENY RÓWNOMIERNOŚCI NAWADNIANIA

Kryteria oceny równomierności systemu nawodnień kropłowych podawane w literaturze światowej są zróżnicowane. Keller i Karmelli [1974] przyjmują jako graniczne wartości minimalnego wydatku emiterów nie mniejsze o 10% od wydatku średniego.

Howell i Hiller [1974] - maksymalna różnica wydatku może wynosić $\pm 10\%$ wydatku średniego. Wu i Gitlin [1974] - dopuszczalne odchylenie średnie mniejsze od 5%, co odpowiada w przybliżeniu $\pm 10\%$ różnicy od wydatku średniego.

Stosowany powszechnie do oceny równomierności nawodnień wzór Christiansena, nie jest zbyt precyzyjnym wskaźnikiem, gdyż obejmuje tzw. odchylenie przeciętne poszczególnych wartości w zbiorze od średniej arytmetycznej, co nie uwypukla dostatecznie skrajnych odchyleń od wartości średniej. Zadanie to lepiej wyraża

odchylenie standardowe, w którym wartości różnic poszczególnych wyników w stosunku do średniej występują w drugiej potęgze.

Bucks, Nakayama i Warrick [1982] przedstawili zalecane projektowane wartości współczynników emisji *EU* i *Cd* dla strefy aridowej. Wartości te po przeliczeniu [Jeznach; 1996] dla strefy umiarkowanej podano w tabeli 3.

Tabela 3.

Zalecane wartości współczynników emisji *EU* i *Cd*
przy projektowaniu systemów nawodnień kropłowych

Typ emitera	Rozstawa Roślin	Spadek Terenu [%]	<i>EU</i> [%]	<i>Cd</i> [%]
Punktowy	Powyżej 4 m	< 2	81 - 86	84 - 88
		> 2	77 - 81	
Punktowy	Poniziej 2 m	< 2	77 - 81	81 - 86
		> 2	72 - 81	
Liniowy	Poniziej 2 m	< 2	72 - 81	77 - 86
		> 2	68 - 77	

Nakayama i Bucks [1986] zalecają następujące ogólne kryteria równomierności: *EU* = 90 % i więcej - bardzo dobra, 80-90 % - dobra, 70-80 % - dostateczna, poniżej 70 % - słaba, a poniżej 60 % - zła.

Ścisłe kryteria oceny funkcjonowania systemów nawodnień kropłowych nie zostały w Polsce ustalone. Przyjmuje się, że przy $Cu \geq 90\%$ funkcjonowanie systemu można ocenić jako dobre. Przy współczynniku *Cu* mniejszym od 80 % należy określić przyczyny niskiej równomierności i podjąć odpowiednie środki zaradcze.

PODSUMOWANIE

Specyfika nawodnień kropłowych, polegająca na doprowadzaniu wody lub roztworów nawozów do pojedynczych roślin w dawkach zbliżonych do potrzeb dobowych, sprawia, że równomierność nawodnienia jest jednym z podstawowych kryteriów oceny funkcjonowania systemu nawadniającego.

Nierównomierność wynika z różnic natężenia wydatku emiterów na jednostce nawadnianej powierzchni. Do najważniejszych czynników technicznych, technologicznych i eksploatacyjnych powodujących te różnice zalicza się jakość wykonania emiterów, charakterystykę hydrauliczną emitera, sposób jego podłączenia do przewodu, zmiany ciśnienia wody w przewodach, charakterystykę roztworu nawozowego, czynniki występujące w trakcie eksploatacji systemu (zatykanie się emiterów) i inne czynniki środowiskowe.

Wielkość plonu roślin zależy przede wszystkim od stosunków powietrzno-wodno-pokarmowych w glebie, regulowanych przez opady atmosferyczne, nawodnienia i nawożenie. Przy stosowaniu nawodnień kropłowych stosunki te zależą głównie od równomierności podawania wody i roztworów nawozowych przez urządzenia wydatkujące (emitery). Równomierność natężenia wydatku decyduje więc o wielkości produkcji. Dlatego też kryterium równomierności jest stosowane powszechnie do oceny funkcjonowania systemów.

Stosowany dotychczas współczynnik równomierności Christiansena C_u nie jest wskaźnikiem precyzyjnym.

Najbardziej miarodajnym wskaźnikiem równomierności natężenia wydatku emiterów wydaje się współczynnik emisji EU i C_d , który może być stosowany przy projektowaniu i eksploatacji systemów nawodnień kropłowych.

Niezbędne staje się uściślenie kryteriów równomierności wydatku emiterów zarówno dla instalacji projektowanych jak i oceny emiterów eksploatowanych w warunkach polowych i pod osłonami.

LITERATURA

- BRALTS V.F., I-PAI WU, GITLIN H. M. 1982: Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. Trans. of the ASAE, Nr 5; 65-72.
- BUCKS D. A., NAKAYAMA F. S., WARRICK A. W. 1982: Principles, practices, and potentialities of trickle (drip) irrigation. In Hillel (Ed.) Advances in Irrigation V. 1, 19-298; Academic Press, New York.
- GUI-FANG PENG, I-PAI WU, PHENE C. J. 1986: Temperature effects on drip line hydraulics. Trans. of the ASAE, Nr 1; 211-215.
- HOWELL T. A., BARINAS F. A. 1980: Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. Trans. of the ASAE, Nr 23/4 928-933.
- HOWELL T.A., HILLER E.A. 1974: Designing trickle irrigation laterals for uniformity. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 100 (IR 4); 443-454.

- JEZNACH J. 1981: Analiza metod obliczeń hydraulicznych w systemach nawodnień kroplowych. SGGW. Praca doktorska. Warszawa. Str. 177.
- JEZNACH J. 1996: Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kroplowych w różnych warunkach środowiskowych. SGGW, Rozprawy Naukowe i Monografie. Warszawa. Str. 127.
- JEZNACH J., PIERZGALSKI E. 1993(a): Systemy mikronawodnień a warunki przyrodniczo-środowiskowe. W pracy: „Współczesne problemy melioracji”. SGGW, Warszawa; 200-210.
- JEZNACH J., PIERZGALSKI E. 1993(b): Nawożenie za pomocą sieci nawadniającej. W pracy: „Współczesne problemy melioracji”. SGGW, Warszawa; 211-216.
- KELLER J., KARPELLI D. 1974: Trickle Irrigation Designs Parameters. Trans. ASAE 17 (4); 678-784.
- NAKAYAMA F.S., BUCKS D.A. 1986: Trickle Irrigation for Crop Production. ELSEVIER, Amsterdam, Oxford, New York, Tokio.
- OSTROMĘCKI J. 1978: Obliczenia hydrauliczne w projektowaniu i eksploatacji systemów nawodnień kroplowych. Wiadomości IMUZ T. XIII, Z. 3; 271-316.
- WATTERS G. Z., KELLER J. 1978: Trickle irrigation tubing hydraulics. Pap. – Am. Soc. Agric. Eng. 78-2015, 1-18.
- WU I. P., GITLIN M. M. 1974: Design of Drip Irrigation Lines. Hawaii Agric. Exp. Stat. Tech. Biul. 96; Univ. of Hawaii, Honolulu.

Streszczenie: *Równomierność natężenia wydatku emiterów w systemach nawodnień kroplowych.* Wielkość plonu roślin zależy przede wszystkim od stosunków powietrzno-wodno-pokarmowych w glebie, regulowanych przez opady atmosferyczne, nawodnienia i nawożenie. Przy stosowaniu nawodnień kroplowych stosunki te zależą głównie od równomierności podawania wody i roztworów nawozowych przez urządzenia wydajujące (emitery). Równomierność natężenia wydatku decyduje więc o wielkości produkcji. Dlatego też kryterium równomierności jest stosowane powszechnie do oceny funkcjonowania systemów. W pracy poddano analizie czynniki wpływające na zmiany wydatku emiterów, dobór miarodajnego wskaźnika równomierności oraz określono kryteria oceny równomierności.

Słowa kluczowe: nawadnianie kropłowe, równomierność, wskaźniki równomierności, kryteria.

Adres autora:

Jerzy Jeznach

Katedra Kształtowania Środowiska

SGGW w Warszawie

ul. Nowoursynowska 166,

02-787 Warszawa

E-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

Agricultural Practices, soil fertility management modes and resultant nitrogen leaching rates under semi-arid conditions

A. Hadas*, Aviva Hadas, B. Sagiv, Nava Haruvy

Departments of Environmental Physics and Department of Soil Chemist and Plant Nutrition, Institute of Soil, Water and Environmental Studies, A.R.O.-Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan 50250, Israel.

Abstract

Under semi-arid or and conditions, growing needs for agricultural commodities dictate the intensification of agricultural activities through the application of irrigation and fertilization practices aimed at increasing crop yields. A certain amount of the added irrigation water is designed to seep below the root zone and leach excessive salts accumulated in the irrigated soil. This entails, in part, recharging the ground water-table aquifers. Hence, intensification of agricultural activities introduces a long-term risk of groundwater pollution by unused fertilizers, e.g., nitrogen, salts and pesticides, herbicides, leached from the irrigated fields. To avert or minimize this risk, the amounts of applied water and fertilizer should be determined and minimized by optimizing them to match crop requirements. The objectives of the present work were to determine the amounts of water and salts leached below several agricultural areas subjected to differing soil fertility practices, and to try to relate them to the yields obtained. Published data and experimental data sets of water, chloride and nitrate concentration – depth distributions were used and analyzed. The results show that intensification of agricultural activities leads to increased hazards to surface and groundwater pollution and this can be diminished provided balanced irrigation – fertilization programs are developed for different crops, by using the results of leachate loads seeping from long-term fertility and irrigation studies (permanent plot experiments).

Dynamic of Soil Moisture in the Root Zone and its Effect on Irrigation Scheduling

Rony Wallach

Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, The Hebrew University of Jerusalem, P.O. Box 12, Rehovot 76100, Israel

Abstract

The hypothesis in this research is that water availability to the plant roots depends highly on soil moisture dynamic in the root zone and should be used to optimize water use efficiency and crop yield production. A field study was performed in an orchard at the Faculty of Agriculture Experimental Station in Rehovot, Israel. The continuous variation of soil moisture at the vicinity of 12 trees during and between successive irrigation events was monitored by a Time Domain Reflectometry (TDR) System. A 30-cm long TDR probe was installed vertically 10 cm below the soil surface and an additional probe was installed vertically below that probe (40-70 cm below the soil surface) on each side of 12 trees in the plot. The simultaneous variation of the tension at the vicinity of the TDR probes was measured by gypsum blocks installed nearby. Irrigation non-uniformity and spatial variability of soil hydraulic properties were measured as well. The variation in moisture content measured by the TDR probes between successive irrigation events was qualitatively divided into four stages: the first was during water application; the second initiated when irrigation stopped and the moisture content in the layer sharply decreased, mainly due to free drainage. The succeeding moderate soil-moisture decrease, caused by the simultaneous diminishing free drainage and root uptake, was the third stage. During the fourth stage, moisture depletion from the layer was solely by root uptake. The slopes of moisture-content variation with time throughout this stage enabled the monitoring of water availability to the plant. The range of moisture-content variations and moisture depletion rates between subsequent irrigation events was higher in the shallow (10-40 cm) than in the deeper (40-70 cm) layer. Irrigation non-uniformity and spatial variability of soil hydraulic properties contributed to the unevenness of the moisture distribution in the soil profile. However, as soon as moisture content within a layer reached field capacity,

namely the free drainage had stopped, irrigation uniformity had a negligible effect on water flux to the plant roots. The measured data indicate that soil moisture is fully available to the plant as long as the momentary moisture flux from the soil bulk to the soil root interface can replenish the moisture being depleted to supply, under non-stressed conditions, the atmospheric water demand. This flux is dominated by the local momentary value of the soil's bulk hydraulic conductivity, K_r , and it stays constant for a certain range of K_r values, controlled by the increasing root suction. A decrease in water availability to the plant appears for longer irrigation intervals as a break in the constant soil-moisture depletion rate during stage 4. This break is better correlated to a threshold K_r value than to threshold values of moisture content or suction. Therefore, it is suggested that moisture content or suction used to measure water availability or to control irrigation first be calibrated by $K_r(0)$ or $K_r(\psi)$ curves, respectively.

IRRIGATION-INDUCED CHANGES OF RAINFALL PATTERNS IN SOUTHERN ISRAEL

Manes¹, T. Ben-Gai², and P. Alpert³

(1) Israel Meteorological Service, R&D Branch

(2) Tel-Aviv University, Dept. of Geography and Human Environment

(3) Tel-Aviv University, Dept. of Geophysics and Planetary Sciences

Abstract

The southern part of Israel is semi-arid and arid, with a steep south-north gradient in rainfall amounts. The summer season is rainless, with the sub-tropical high blocking completely the intrusion of upper air troughs from higher latitudes, while spontaneous deep convection is impaired by the elevated, almost permanent, inversion layer, prevailing during the summer season. Only in October, the transition month from the summer circulation to the winter one, and the gradual retreat of the sub-tropical high, convective rainfall may develop in the region. Agricultural activity has intensified considerably from the 1960's, mainly in the north-western part of the Negev desert, based on extensive use of irrigation. Although the main source of water for irrigation was the National Water Carrier, pumping fresh water from the Lake Kinneret and transporting it to the south, other sources of water, including brackish water, were also used for irrigation. According to the Mekorot Water Company, the annual average amount of water used for agriculture in the southern part of Israel, during the period 1990-2000, is estimated at about 170 million cubic meters. It was, therefore, hypothesized that such large amounts of irrigation water applied to a relatively small region at the fringe of the planetary desert, may affect appreciably the convective rainfall patterns, especially at the beginning of the rainy season. A change of surface conditions from dry to cultivated land modifies surface parameters, i.e. albedo, soil moisture, roughness length and leaf area index. Recent numerical simulations have shown that such changes of surface conditions may influence the surface energy budget, which in turn may affect the Planetary Boundary Layer (PBL) formation and convective development. To test experimentally the above hypothesis, advantage was taken from the long-term rainfall records available at 51 rainfall stations at the study region (the

north-western part of the Negev). The analyses show a statistically significant increasing trend of early season rainfall in the study region. Moreover, some retreat from aridity is shown also to be the increase of the shape parameter of the fitted gamma distributions, decrease in inter annual variability, and decrease of spottiness of rainfall events. The observed, irrigation-induced, increasing trend of early season rainfall in the north-western Negev seems to oppose the apparent trend of enhanced drought conditions at the Mediterranean region, which may result from global climate change.

ISRAEL

An Example of the Management of Scarce Water Resources

Otto Nagler,

*Consultant to CINADCO, Centre for International Agricultural Development
Cooperation*

Abstract

The supply of fresh water to the world's ever-growing human population has become one of the most critical issues facing humanity at the beginning of the 21st Century.

Despite the existence of sufficient fresh water resources on earth, due to their uneven temporal and spatial distribution, many regions in arid and semi-arid zones suffer from moderate to severe water shortages. Add to this the increasing contamination of the water resources due to increasing human activities, agriculture, industrial wastes, etc. countries with sufficient or even abundant water resources are beginning to feel the stress of water shortages.

Only a short while ago, at the La Plata Conference, high reaching goals were proposed to supply potable drinking water and reasonable sanitary facilities to almost the entire world's population by the year 2000. Such a goal, at the dawn of the 21st Century, is becoming more distant than ever before.

As we enter the new millenium, the reason for increasing water shortages can be seen as a result of unprecedented population growth and technological development during the 20th Century. Between 1900 to 2000, the world's population jumped from 1.3 to 6.3 billion, an increase of nearly fivefold in only one hundred years, an unknown phenomena since the appearance of the human race. The world's water supply also increased by nine times during the same period, from 600 to 5,300 MCM. due to the increase in population, but also due to a higher per capita consumption, i.e. from 460 to 840m³/p.c.

Water resource management is of important significance for the prevention of water waste and contamination. For the past hundred years, the "supply-oriented management" scheme was the rule for the construction of large and small water supply projects which provided water to as many people as possible, and to all the economic sectors, domestic, industry, agriculture, etc. Technical skills, manpower and financial

resources were relatively easily available. However, the “supply oriented management” scheme being replaced by “demand-oriented management”, in order to achieve more efficient and economic viability of our limited water resources.

Israel is a good example of how it is possible to manage extremely limited water resources, while maintaining an adequate water supply for the entire population and economic sectors. Although the country has only 250 m³/p.c of potable water, which is much below the standard set by international organizations of 1,000 m³/p.c.(below which a country is considered to be suffering from water scarcity), Israel has succeeded in meeting its varied water requirements. This could only be achieved by strict water management, including proper legal and organizational measures, price policy, research for advanced technologies in water uses, and the development of marginal and unconventional water resources.

Irrigated Organic Farming: Nutrients Supply and Nitrate Leaching Hazards

Aviva Hadas

Institute of Soil, Water and Environmental Studies, ARO, The Volcani Center, Bet Dagan 50250, Israel. E-mail: ahadas@agri.gov.il

Abstract

The use of manufactured fertilizers is prohibited in organic production systems; therefore nutrients are added to crops in the form of natural organic materials, which after microbial decomposition release available nutrients to plants. Composted manure is used to sustain soil organic matter and provide a steady supply of nutrients, whereas organic fertilizers, that decompose more rapidly, are used to supplement available N supply when N uptake by the crop is rapid.

Intensively irrigated crops receive their side dressing through drip irrigation with liquid fertilizers. These are obtained either by fermenting solid organic materials that decompose rapidly in water, or as commercial liquid preparations. The solid materials are guano and poultry manure. Guano releases most of its N as ammonium in water in 10 days; the potential N concentration of a 1:10 solution of guano in water could get to 1.5%, but at the farm site concentrations are considerably smaller. Poultry manure is much more abundant and less expensive than guano, but it contains 3-5 times less N. Half of its N is released very rapidly in water, producing solutions with no more than 0.15% N and a large amount of sludge, which poses problems of filtering the solution and disposing of the sludge. Commercial liquid fertilizers, produced from animal excretions, have potential N contents similar to fermented guano. The cost of these dilute solutions per unit fertilizer-N is approximately 10 times higher than of conventional fertilizers. Moreover, these solutions often cause biological and chemical clogging of the filters and tubes, while rinsing with acid is prohibited. More concentrated liquid fertilizers (4-6% N), from animal processing by-products, are explored, but these are even more expensive.

Because in ideal organic farming nutrients should be supplied primarily from the soil rather than from nutrient solutions, and because the cost of organic fertilizers is very high, large amounts of composted manure are applied to the soil each year, particularly in greenhouses, where the plants grow on sand. N release from composts is slow, but difficult to control and match with crop demands. Continuous annual applications of compost load the soil with organic N that will mineralize not necessarily when plants are ready to take it up, thereby causing excess nitrates to move below the root zone, as shown by the N balance in an irrigated organic field.

Irrigation of greenhouse tomatoes with low-quality water: Effects on productivity and fruit quality

Zvi Plaut

Institute of Soil, Water and Environmental Sciencs, ARO, The Volcani Center, Beit Dagan

Abstract

Low quality water is defined as water with a relatively high content of impurities. Among those, salts are the most important factor responsible for the deterioration of water quality. Water containing low salt content can still be used for irrigation of several horticultural crops, among which tomatoes are of the most important ones. Moreover, the use of such water for irrigation may even lead to improved fruit quality, provided a proper irrigation management is adopted. This will, however, depend on the possibility to minimize environmental hazard.

Fruit yield is generally decreased when saline water is used for irrigation. The intensity of this decrease was found in our studies to depend on salt concentration, amount of water applied, climatic conditions and switches from low to high water quality or vice versa. Salinity decreased fruit size, but had a much smaller effect on fruit number. The decrease in fruit size could account only partly for the increase in solute content.

Fruit quality is mainly determined by two major factors: appearance (shape, size, color, firmness, and lack of blemishes) and taste, which is associated with glucose and acid content. The use of brackish irrigation water was found to raise glucose content of the fruit and to improve its taste throughout the picking season. This raise is mainly of importance during the initial period of picking, when its level is low and insufficient. Glucose was in-fact increased from approximately 100 to nearly 200 mg/dl.

A major finding of the present studies was that an adequate irrigation management resulted in yield, which was similar to the control, while fruit quality could be maintained. This irrigation management, which is recommended for irrigation with brackish water, will be outlined and described.

Using TDR to measure water content in tree stem for monitoring irrigation

Arie Nadler

Department of Physical Chemistry of the Soil, Institute of Soils, Water, and the Environment, ARO, Ministry of Agriculture, POB 6 Bet Dagan, 502050, Israel

Abstract

Precise irrigation is needed in order to reduce irrigation rates without reducing yield or cultivated area. This can be achieved by continuous, accurate, and automatic monitoring of moisture content in the soil and plant. The most accurate methodology for measuring water content is the specific capacitance of the medium, easily obtained by the TDR Technology. Still, the optimal location of the TDR probes for the best illustration of the water storage status as a function of soil type, irrigation technology, crop and time. This implies the need of using several probes to cover the wide, spatial distribution of the activity of root system.

The tree stem may be considered as a junction through which water flows from the roots to the leaves. Assuming the stem serves as a temporary buffer we could relate depletion of moisture in the stem to the degree of water stress in the tree.

Five 50-mm-long three-rods TDR probes were installed in a tree. The apparent length of the probes (directly related to capacitance) was monitored for 400 days, every 30 min. Also measured were temperature, radiation, and rainfall.

A separate calibration was obtained between gravimetric water content and dielectric properties of artificially saturated and drained wood blocks.

It was shown that the TDR Technology could detect daily cycles of moisture changes and the response to rain events. (Under the natural conditions prevailing in the experimental site even modest degrees of water stress could not be obtained).

Further research is needed to isolate the contribution of the different plant component to the cycling capacitance.

Water balance and nutrients reduction in soil irrigated by low quality water using drip system

AGNIESZKA WAGNER, JAN SZATYŁOWICZ, JERZY JEZNACH
Department of Environment Improvement, Warsaw Agricultural University

INTRODUCTION

In recent years, the interest in methods of natural treatment of wastewater in the soil and plant, water and also the water and plant environments has increased. Drip irrigation could be also interesting solution for the purpose of eliminating biogenic compounds from low quality waters as a supplementary treatment.

MATERIALS AND METHODS

The main objective of the research performed in the laboratory was to analyse the water balance components and assessment of nutrient reduction in the soil column irrigated by low quality water using drip irrigation system. The experiment was carried out on undisturbed sandy soil column (20 cm in diameter and 20 cm in high). The bottom of the column was protected by mesh to avoid leaching of soil particles. The soil column was situated on special stand to make gravitational outflow measurements possible. The following parameters were measured during the experiment: soil moisture content, bulk electrical conductivity, pressure head by TDR reading device and volume of low quality water used for irrigation as well as volume of outflow. For irrigation water from tobacco manufacture treated in conventional biological wastewater treatment plant was used. The concentration of ammonia and phosphorous in waters were determined. Evapotranspiration from soil column and open water evaporation were also measured. In the soil column bean was cultivated and the experiment was conducted during 177 days.

RESULTS AND CONCLUSIONS

To convert collected data of soil dielectric constant measurements to the soil moisture content calibration equation was used. The equation requires also determine of soil bulk density which was measured by gravimetric method. During the experiment soil moisture content values were higher than 30% and pressure head values were lower than 200 cm. Moisture redistribution in the soil column was measured before, during and after irrigation for two different doses (3 and 5 mm). Redistribution process stopped after eight hours and major moisture changes were observed for 3 mm dose. Generally, during the experiment, relatively wet conditions were maintained in the soil column.

The water storage in the soil column was calculated from the soil moisture measurements. Cumulative values of water outflow were less than 12 mm and it was only 2.5 % of the total dose of low quality water introduced to the surface of soil. Cumulative values of evapotranspiration were almost equal to the total applied dose of wastewater. Mean value of bean evapotranspiration measured in the laboratory was equal to 2.7 mm and was nearly 2 times higher than open water evaporation.

The bulk electrical conductivity showed increasing values with time since the beginning of the experiment. The analysis of the salinity index and electrical conductivity of the liquid phase showed that both were increasing in the time, especially in the deeper layer of the soil column. It means that some substances are accumulated in the soil.

Based on performed research it can be concluded that application of the appropriate irrigation norm using drip irrigation system allowed water retention in the root zone and minimise drainage outflow from the soil. Calculated nutrients reduction coefficients were relatively high (N-NO₃ - 91.3 %, N-NH₄ - 95.5 % and P - 98.5 %), however measured nitrogen concentration in drainage water was higher (4 times for nitrate) than in the low quality water used for irrigation. In the case of phosphorous the opposite tendency was observed. The increased values of electrical conductivity of the liquid phase of the soil the experiment suggest that irrigation using low quality water lead to accumulation of nutrients in the root zone.

The effect of irrigation and fertilisation in repland orchard

CZESŁAW PRZYBYŁA*, EUGENIUSZ PACHOLAK**,
PAWEŁ KOZACZYK**

*Department of Land Improvement and Environmental Development, Agricultural University:
Piątkowska 94, 61-691 Poznań.

** Department of Pomologie, Agricultural University: Dąbrowskiego 159, 60-594 Poznań

Abstract: *The effect of irrigation and fertilisation in repland orchard.* In the years 1994-1999 on the Agricultural Experimental Farm in Przybroda, studies were carried out on the effect of different fertilisation and irrigation regimes on apple tree growth and yield in the replanted area.

Key words: replantation, irrigation, fertilisation, apple-tree, water management.

INTRODUCTION

Increasing production demands and specialisation of horticultural farms have created the need for plantation of new trees directly or in a short time after liquidation of the earlier orchard. Replantation should be performed having previously restored the production properties of the soil, and one of the conditions determining success of the procedure is the restoration of the soil resources. Plantation of the same species on the area it had previously occupied may lead to the replantation disease manifested as poor assimilation of new trees, their delayed growth, delayed vegetation and in extreme cases death of the newly planted trees (Rebandel 1987, Szczygiel 1988). The disease may be caused by specific (pathogenes and toxins) as well as non specific reasons (soil structure degradation, deficiency or excess of water , inappropriate nutrient components (Swell & Whithe 1979). It has been recognised that the occurrence of the replantation disease can be restricted by applying proper fertilisation and irrigation procedures (Pacholak 1992, Pacholak, Przybyła 1996, 1997, 1999, 2000, Rebandel 1998).

The necessity for replantation has created the need to find the best possible procedures

and establish their right timing in order to minimise the negative consequences of the process. The factors which should be taken into regard include: The time interval between replantations, fertilisation and irrigation prior to and after replantation. Irrigation of the orchard after replantation is particularly important because of the changes in the soil environment. The aim of the study reported was to assess the effect of many year applications of different fertilisation and irrigation procedures on the growth of and yield from replanted apple trees as well as on the physical and chemical properties of the soil.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in the years 1994-1999 in the orchard of the experimental farm of the Agricultural University, in Przybroda (Poland). In the autumn of 1993 the apple trees which had been growing there since were dug up and in the spring of 1994, preserving the same combination of fertilisation and irrigation, new trees were planted. Having prepared the soil, apple trees Sampson were planted in special P60 supports, in spacing of 3.5 x 1.5 m (1900 trees/ha), in the Drilling from and supported with special constructions.

The soils in Przybroda are typical of Wielkopolska. The soil in the orchard studied is p³owa, w³aœciwa, with the upper layer from 0 to 50 cm of light sandy – clay or strong sandy – clay. The deeper support layer is light clay, Table 1. The ground water table varied from 130 cm in spring to 180 cm in autumn. The soil analysis was based on determination of granulometric composition as well certain physical – water characteristics and chemical properties for 6 soil profiles, Tables 1 and . In the years 1976 – 1993, on each level of irrigation, 4 modes of fertilisation were applied, while in 1994 eight modes of fertilisation were used, designed on the basis of analysis of the growth and development of tree and nutrition qualities of the soil.

The area of the fertilised plots was 84 m² till 1993, and since 1994 their area was reduced to 42 m², there were 8 trees growing in each plot. Each mode of fertilisation was four times repeated.

As far as irrigation is concerned, the effects of three variants were compared (since 1976):

1. W0 – control plots with natural precipitation only,

2. W1 – sprinkling applied to maintain the soil moisture at the level of 0.03 MPa of the water potential,
3. W2 – sprinkling applied to maintain the soil moisture at the level of 0.01 MPa of the water potential.

Table 1. Texture of the soils studied.

Profile No	Depths [cm]	Textu-re symbol	Selection particles [%]		Soil size fraction [%] (mm)							
			>2 mm	2-1 mm	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	< 0,002
1.	0-50	pgl	2,1	1	8,2	17,5	36,3	13	9	6	5	5
	50-95	gl	1	1,1	7,5	15,3	30,2	11	6	7	4	19
	95-100	gl	2,7	1,3	7,3	14,7	31	13	8	7	3	16
2.	0-50	pgl	1,6	1,5	8	17,7	34,3	16	10	8	3	3
	50-95	gl	1,5	1,3	6,7	14,2	30	11	7	8	3	20
	95-100	gl	1,7	1,2	7,5	16	31,5	13	7	8	4	13
3.	0-30	pgm	0,9	1	9,2	17	34,8	16	8	6	5	4
	30-50	gl	0,9	1,2	6,7	14	30,3	10	7	7	3	22
	50-80	gl	1,9	1,9	8,2	14,8	33	11	8	8	4	15
	80-120	gl	1,9	1,3	8,7	15,5	31,8	12	9	7	5	13
4.	0-60	pgl	3,6	1,5	8,7	17,3	37	14	9	6	5	3
	60-110	gl	1,1	0,9	7,5	16,5	31	11	7	6	4	17
	110-150	gl	1,6	1,4	7,3	15	30,7	12	8	7	5	15
5.	0-45	gl	1,1	0,9	7,7	17,3	35	15	10	6	5	4
	45-90	gl	1	1,2	6,5	13	28,5	12	9	7	6	20
	90-145	gl	2	1,5	7,5	14,5	29	13	7	10	6	13
6.	0-35	pgl	1	0,9	7,3	16,7	35	15	10	6	5	4
	35-70	gl	0,7	1	6,5	13,8	28,7	12	6	7	3	23
	70-100	gl	1,8	1	7,3	14,2	30,5	11	7	7	4	19
	100-150	gl	2,9	1,2	7,5	14,7	28,8	12	7	11	5	14

The sprinkling was performed which a permanent sprinkler of the nozzle diameter of 4 and 6 mm, the rate flow of the water of 7 mm/h and doses ranging from 14 to 35 mm. The source of sprinkling water was the Pamiłtkowskie Lake was pumped to an equalising tank near the orchards, its quality corresponded to that of the third grade purity.

The results were subjected to many – ways analysis of variance, and the significance of differences was established by the Duncan test at the probability level of $\alpha=0.05$.

Table 2. Physical and chemical properties of the soil profiles studied.

Profile No	Depths [cm]	Texture symbol	Organic mater [%]	Densini-ty particle [gcm ³]	Water hygro-skopicity	Hygrosc-opic water capacity [%]	pH		CaCO ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]
							In H ₂ O	In KCl		
1.	0-50	pgl	0,93	2,62	0,55	0,94	5,3	4,7	0	0,46
	50-95	gl	1,47	2,65	2,65	4,16	7,1	6,2	0	1,73
	95-100	gl	1,14	2,65	2,2	3,67	7,3	6,3	0	1,4
4.	0-50	pgl	0,58	2,63	0,32	0,73	4,6	4,3	0	0,48
	50-95	gl	1,44	2,65	2,83	4,57	6,1	5,1	0	1,71
	95-100	gl	0,9	2,65	1,82	2,9	7	6,2	0	1,27
5.	0-30	pgm	1,39	2,6	0,67	1,55	4,4	3,9	0	0,43
	30-50	gl	1,64	2,66	3,14	5,05	5,2	4,4	0	1,81
	50-80	gl	1,28	2,68	2,19	3,57	7	6,1	0	1,57
	80-120	gl	0,87	2,62	1,29	2,03	8,1	7,6	6,6	0,98
6.	0-60	pgl	0,46	2,64	0,4	0,63	5,1	4,9	0	0,43
	60-110	gl	0,92	2,67	2,51	3,6	5,4	4,6	0	1,61
	110-150	gl	0,58	2,65	2,22	3,39	7,9	7,1	1,5	1,3
7.	0-45	gl	1,15	2,57	0,7	1,15	4,9	4,4	0	0,38
	45-90	gl	1,18	2,63	3,03	4,71	6,4	5,8	0	1,82
	90-145	gl	0,73	2,61	1,44	2,59	8,2	7,6	10,2	1,1
8.	0-35	pgl	1,08	2,6	0,66	1,19	5,5	5	0	0,4
	35-70	gl	1,28	2,68	3,08	4,79	5,9	5	0	1,98
	70-100	gl	0,99	2,67	2,81	4,4	6,9	6,4	0	1,86
	100-150	gl	0,38	2,67	1,45	2,6	8,1	7,6	10,4	1,09

CHARACTERISTICS OF METEOROLOGICAL CONDITIONS AND THE IRRIGATION APPLIED

Over the 20 years of study climatic conditions in Przybroda were characterised by variable total precipitation and its unfavorable distribution in vegetation season. The periods of water deficiency were irregular, there were 7 dry years, 6 medium moist years and 7 moist years.

Table 3 presents the total monthly precipitation (P), potential evapotranspiration (ETP), real evapotranspiration (ETR) and water deficiency calculated from the difference between the real precipitation in deficiency months of the vegetation season and the potential evapotranspiration calculated by the Penmann method in the simplified version, for subsequent vegetation seasons from 1994 to 1999.

The effect of irrigation and fertilisation in repland orchard

Table 3 Monthly totals of precipitation, evapotranspiration and water deficiency in the years 1994-1999.

<i>Year</i>	<i>Month</i>	<i>Precipitation P in</i>	<i>ETP [mm]</i>	<i>ETR [mm]</i>	<i>N=P-ETP [mm]</i>
1994	IV	42	59	43	-17
	V	59	68	42	-9
	VI	40	98	47	-58
	VII	82	89	64	-7
	VIII	55	77	60	-22
	IX	37	32	29	5
	Suma	315	423	285	-108
1995	IV	13	51	41	-38
	V	56	68	55	-12
	VI	86	102	88	-16
	VII	16	130	80	-114
	VIII	66	72	45	-6
	IX	61	35	30	26
	Suma	298	458	339	-160
1996	IV	10	49	39	-39
	V	56	75	65	-19
	VI	47	91	85	-44
	VII	224	125	44	99
	VIII	77	126	22	-49
	IX	50	78	55	-28
	Suma	464	544	310	-80
1997	IV	34	46	39	-12
	V	63	68	53	-5
	VI	56	97	55	-41
	VII	119	90	76	29
	VIII	23	83	44	-60
	IX	34	35	26	-1
	Suma	329	419	293	-90
1998	IV	42	50	39	-8
	V	37	84	68	-47
	VI	79	104	99	-25
	VII	50	98	83	-48
	VIII	57	74	51	-17
	IX	73	37	27	36
	Suma	338	447	367	-109
1999	IV	72	42	33	30
	V	27	70	60	-43
	VI	85	70	65	15
	VII	30	87	73	-57
	VIII	33	65	24	-32
	IX	16	42	37	-26
	Suma	263	376	292	-113
Mean 1994-1999	IV	35	49	39	-14
	V	50	72	57	-22
	VI	65	91	73	-29
	VII	87	103	70	-16
	VIII	52	83	41	-31
	IX	45	43	34	2
	Suma	334	447	314	-110

In the years 1994 –1999 the totals of precipitation in the vegetation seasons varied from 298 mm (1995) to 464 mm (1996). The total potential evapotranspiration was 423 mm in 1994, 458 in 1995 and 544 mm in 1996, whereas the total real evapotranspiration was 285, 339 and 310 mm in the same years. The precipitation deficiency was the greatest in 1995 – 160 mm and the lowest in 1996 –only 108 mm. These values indicate the need for irrigation of the area (Przybyła 1994). The irrigations applied expressed as total doses are given in Table 4, for particular years.

Table 4 Total doses of irrigation water applied in the deficiency vegetation periods in the years 1994 – 1999.

Year	Precipitation	Combination of irrigation	
	W_0 [mm]	W_1 [mm]	W_2 [mm]
1994	315	419	535
1995	298	414	534
1996	463	519	597
1997	329	409	479
1998	338	429	506
1999	263	331	399
Mean 1994-1999	334	420	467

Table 5. Fertilization and the content of available nutrient in the soil (mg/100g of soil).

No	Fertilisation variants kg/ha	Nutrient (mg/100g of soil)			
		P	K	Mg	pH
1	Control	2,6a*	6,a	6,4d	5f
2	65N	2,9ab	6,2a	6,2cd	4,8f
3	65N; 95K ₂ O	3,0ab	10,3b	5,4bc	4,6de
4	65N; 95K ₂ O+Ca	3,1ab	10,3b	5,4bc	4,4cd
5	130N; 190K ₂ O+Ca	3,3b	12,3c	4,3a	4,1b
6	130N; 190K ₂ O+Ca	3,2b	14d	4,8ab	4,2bc
7	No fertilization	3,5b	10,8b	4a	3,9a
8	No fertilization +Ca	3,3b	9,7b	3,8a	3,8a

*Means followed by the same letter do not differ at of significance $\alpha = 0,05$

Table 6. Irrigation and the content of available nutrients in the soil (mg/100g of soil).

No	Irrigation variants	Nutrient (mg/100g)			
		P	K	Mg	pH
1	W_0 , No irrigation	3.2a	8.4a	3.2a	4.0a
2	W_1 (-0.03 MPa)	3.1a	11.0b	5.1b	4.4b
3	W_2 (-0.01 MPa)	3.0a	10.8b	6.8c	4.7c

*Means followed by the same letter do not differ at the level significance $\alpha = 0,05$

Table 7. Increase in the circumference of tree trunks and the percent of dead trees.

Fertilisation variants (dosage in kg/ha)	Irrigation variants					
	W ₀ No irrigation		W ₁ (-0,03 MPa)		W ₂ (-0,01 MPa)	
	The lost trees [%]	The lost trees [cm]	The lost trees [%]	The lost trees [cm]	The lost trees [%]	The lost trees [cm]
Control	4,16	1,4c-e**	16,64	0,8a	33,28	0,7a
65N	4,16	1,6ef	8,32	1,1b	24,96	0,9a
65N; 95K ₂ O	0	2,1h	8,32	0,9ab	12,48	1,3c
65N; 95K ₂ O+Ca	0	2h	16,64	1,2bc	4,16	1,1b
130N; 190K ₂ O+Ca	0	1,5d-f	8,32	1,3cd	12,48	1,6ef
130N; 190K ₂ O+Ca	0	1,5d-f	12,48	1,3cd	4,16	1,5de
No fertilization	0	2h	0	1,7fg	4,16	1,8gh
No fertilization +Ca	0	1,9gh	0	2h	4,16	1,7fg
Mean for irrigation	1,04	1,8b	8,84	1,3a	12,36	1,3a

* Circumference in 1996 minus circumference in 1994.

** Means followed by the same letter do not differ at the level significance $\alpha = 0,05$

Table 8. The yield of Sampion apple trees in the year after replantation.

Fertilisation variants (dosage in kg/ha)	Irrigation variants					
	W ₀ No irrigation		W ₁ (-0,03 MPa)		W ₂ (-0,01 MPa)	
	kg per tree	t/ha	kg per tree	t/ha	kg per tree	t/ha
1. Control	2,2 de	4,2	1,2 el	2,3	0,5 f	1,0
2. 65N	4,8 b	9,1	1,9 de	3,6	1,2 ef	2,3
3. 65N; 95K ₂ O	7,8 a	14,8	2,5 d	4,8	2,1 de	4,0
4. 65N; 95K ₂ O+Ca	6,6 a	12,5	2,9 d	5,5	1,3 cf	2,5
5. 130N; 190K ₂ O+Ca	5,9 a	11,2	2,6 d	4,9	5,2 ab	9,9
6. 130N; 190K ₂ O+Ca	5,2 ab	9,9	3,7 cd	7,0	4,8 b	9,1
7. No fertilization	5,8 a	11,0	3,5 cd	6,6	3,6 cd	6,8
No fertilization +Ca	5,7 a	10,8	3,0 cd	5,7	4,1 bc	7,8
Mean for irrigation	5,5 a	10,4	2,6 b	4,9	2,4 b	4,6

* Means followed by the same letter do not differ at the level of significance $\alpha = 0,05$

RESULTS OF THE STUDY

Analysis of the nutrients in the soil of the orchard studied proved a significant effect of fertilisation and irrigation procedures on their amount and composition. Fertilisation (Table 5) caused a substantial increase in the amounts of phosphorus and potassium (in a 60 cm deep soil layer), while the content of magnesium and pH value decreased. Irrigation (Table 6) irrespective of the level of fertilisation did not affect the contents of phosphorus in the soil. Under the effect of irradiation, the amount of potassium increased, however, the differences between the variants D1 and D2 were not

statistically significant. Moreover, the contents of magnesium and pH depended on the size and frequency of irradiation applied.

The results led to a conclusion that in the optimum conditions of fertilisation and irrigation, much diversity was observed in the growth and yield of the orchard.

Although the Sampion apple trees planted on P-60 supports were of approximately the same size, much diversity was observed in their growth already in the first year after replantation. With increasing intensity of irrigation, the percent of dead and dying trees increased. The variants under intense irrigation were characterised by a low dynamics of growth measured as an increase in tree trunk circumference. The application of fertilisation significantly increased the yield (Table 8). The lack of mineral fertilisation for 20 subsequent years resulted in inhibition of tree growth and an increase in the percent of dying trees.

The most surprising result of the studies is the decrease in yields with growing intensity of irrigation. The highest yield of the orchard was observed in the variant for which natural conditions of tree growth were preserved.

CONCLUSIONS

1. Fertilisation and irrigation procedures applied in replanted orchard had significant influence on the contents of assimilable nutrients in the soil.
2. Mineral fertilisation and irrigation doses applied significantly affected the rate of growth and yield in the replanted orchard.
3. Irrespective of the intensity of fertilisation and irrigation applied, the yield in the replanted orchard of Sampion trees on P-60 supports was lower than in the conditions of the original plantation.

REFERENCES

- PACHOLAK E. (1992): Nawożenie i nawadnianie a wzrost i plonowanie jabłoni po replantacji. *Prace Inst. Sad. i Kwiac. Z. 3-4*, 54-55
- PACHOLAK E., PRZYBYŁA CZ. (1996): Wpływ nawodnienia i zasobności gleb na jakość plonów jabłoni odmiany idared. *Zesz. Post. Nauk. Rol. Z. 438*, 165-173.

-
- PACHOLAK E., PRZYBYŁA CZ. (1997): Przyrodnicze i techniczne aspekty nawadniania i nawożenia w replantowanym sadzie jabłoniowym. Roczn. AR Poznań. Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska: 209-289
- PRZYBYŁA CZ. (1994) : Gospodarka wodna i potrzeby nawodnień w warunkach klimatyczno- glebowych Wysoczyzny Poznańskiej. Roczn. AR Poznań, CCLXVIII, 147-155
- PRZYBYŁA CZ., PACHOLAK. E. (1999): The role of water from irrigation in preparing soil for replanting an orchard. Roczn. AR Poznań, CCCX, 223-231.
- PRZYBYŁA CZ., PACHOLAK. E. (2000): Rola nawodnień w replantowanym sadzie jabłoniowym. Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN, 165-174
- REBANDEL Z. (1987): Problemy zmęczenia gleby w sadownictwie. „Sadownictwo w Wielkopolsce”, PWRiL Warszawa.
- SWELL G., WHITE G. (1979): The effect of formalin and other soil treatments on the replant disease of apple. J. Hat. Sei. 54, 333-335.
- SZCZYGIEŁ A. (1988): Zmęczenie gleby przy replantacji sadów. I Międzynarodowe Sympozjum w Bonn. Sad nowocz. 2, 9-11.

Technologia nawadniania i nawożenia jako istotny czynnik kompleksowego zarządzania jakością świeżych warzyw

MARIA JEZNACH

Katedra Organizacji Ekonomiki i Konsumpcji
Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji
SGGW w Warszawie

Abstract: *Irrigation and fertigation technology as an important factor in the total quality management of fresh vegetables.* The basic of the total quality management (TQM) is satisfaction of consumer and for many of them it means a high quality. Satisfaction of consumers is connected with many kind of needs. The term „quality” is very often used but it is difficult to define. In literature the term quality is closely related to commercial and functional usefulness and also with nutritional value. The most important determinants of the quality of nutritional products are for example: food and product safety, sensory value and easy to use.

Key words: irrigation, fertigation, quality management.

Imperatywem kompleksowego zarządzania jakością (TQM) jest satysfakcja klienta. Oznacza to konieczność dokładnego rozeznania ważnych z punktu widzenia konsumenta determinantów jakości oraz oczekiwań z tym związanych i stopniem satysfakcji z zaspokojenia potrzeb. W przewidywaniu kształtowania się zachowań nabywczych potencjalnych konsumentów należy uwzględnić czynniki związane z reakcją na zaspokajanie potrzeb. Przyjęto następującą klasyfikację potrzeb:

- potrzeby realnie zaspakajane przez produkt (podstawowe jego właściwości i cechy wymierne takie jak: wygląd zewnętrzny, kształt, wielkość, barwa, połysk, faktura, funkcjonalność, które powodują zasadnicze zainteresowanie konsumenta),

- potrzeby społeczne (odnoszą się do wymagań i oczekiwań przez spełnienie których konsument czuje się usatysfakcjonowany),
- potrzeby ukryte (specjalne właściwości i cechy niewymierne, które mogą być określone po pewnym czasie np. trwałość, bezpieczeństwo, skutki zdrowotne, zwiększające atrakcyjność dla konsumenta, nakłaniające go do kupna tego a nie innego produktu).

Pojęcie jakości, choć powszechnie używane nie jest jednoznacznie interpretowane. Bywa w literaturze utożsamiane z przydatnością użytkową, handlową, funkcjonalną, wartością odżywczą czy wręcz klasą. Wśród czynników charakteryzujących jakość produktów spożywczych należy rozpatrywać zarówno zdrowotność, atrakcyjność sensoryczną i dyspozycyjność.

Jakość definiowana jest jako (Polska Norma PN-ISO 8402): „ogół cech i właściwości wyrobu lub usługi, decydujący o zdolności wyrobu lub usługi do zaspokojenia stwierdzonych lub przewidywanych potrzeb”.

W pracy przedstawiono wyniki badań świeżych warzyw, przy różnej technologii nawadniania i nawożenia oraz możliwość zarządzania jakością poprzez technologię uprawy.

Ponadto zaprezentowano badania dotyczące preferencji konsumenckich zakupu i użytkowania świeżych warzyw na próbie 1186 respondentów.

Adres autora:

Maria Jeznach

Katedra Organizacji Ekonomiki i Konsumpcji

Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji

SGGW w Warszawie

ul. Nowoursynowska 166,

02-787 Warszawa

E-mail: jeznachm@alpha.sggw.waw.pl

Tarasy grzbietowe a kształtowanie zasobów wodnych

ANNA BARYŁA, EDWARD PIERZGALSKI
Katedra Kształtowania Środowiska, SGGW Warszawa

Abstract: *Terraces and water resources management.* Contour banks as soil conservation measures with water harvesting function were described in the paper. Design parameters of terraces was analysed. The investigation on runoff with various horizontal spacing of terraces were carried out in the Agricultural Experimental Station Puczniew. The results shows that coefficient of runoff depends between others on the length of terraces, rainfall intensity and soil moisture.

Key words: terraces, contour banks, erosion, water harvesting

WPROWADZENIE

Na obszarach wyżynnych i podgórskich spływ powierzchniowy wód roztopowych i opadowych wyrządza duże szkody w rolnictwie, środowisku naturalnym i infrastrukturze technicznej. Zmywy powierzchniowej warstwy gleby pogarszają jej żyzność i obniżają efektywność ekonomiczną produkcji rolniczej. Wymywane z gleby składniki nawozowe wraz ze środkami ochrony roślin zwiększają zanieczyszczenie wód powierzchniowych. Sedymentacja zmywanych cząstek glebowych w rowach, zbiornikach i budowlach wodnych pogarsza ich funkcjonalność i skraca okres przydatności technicznej. Intensywny spływ wody koncentruje się często wzdłuż sieci komunikacyjnych powodując uszkodzenia dróg. W skali zlewni hydrologicznej spływ powierzchniowy ma także istotny wpływ na kulminację fal wezbraniowych i występowanie powodzi.

W celu ograniczenia szkodliwych skutków spływu powierzchniowego stosuje się różne środki ochrony przed erozją gleb. Jednym ze znanych sposobów stosowanych w świecie, z zakresu

środków technicznych, są tarasy grzbietowe. Podstawowym zadaniem tarasów grzbietowych jest skrócenie drogi spływu powierzchniowego wraz z zatrzymaniem opadu na części pola ograniczonej tarasami. Wskutek tego warstwa i prędkość spływającej wody są małe, a siły oddziaływujące na cząstki gleby mniejsze od inicjujących proces ich wymywania.

Praktyka wskazuje, że właściwie zaprojektowane i wykonane tarasy grzbietowe są skutecznym sposobem ochrony przed erozją. Stanowią także narzędzie do sterowania obiegiem wody w zlewni umożliwiając zamianę spływu powierzchniowego na gruntowy lub retencjonowanie wód w zbiornikach realizując w ten sposób idee spowalniania obiegu wody, bądź jego zamykania w części zlewni rzecznej.

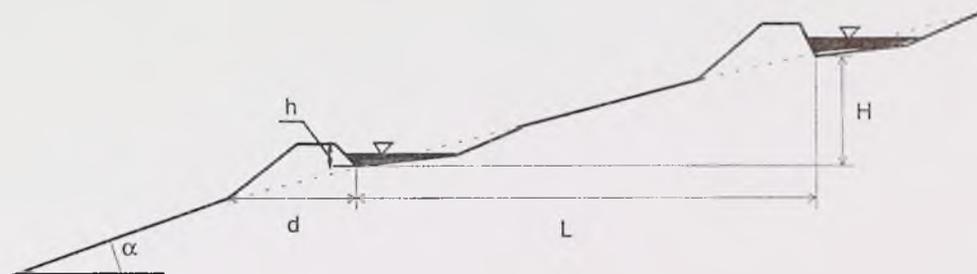
W Polsce tarasy grzbietowe dla celów rolniczych praktycznie nie są stosowane. Wykonuje się je na rekultywowanych obszarach powstałych z urobisk kopalnianych (Bełchatów, Turossów) oraz sporadycznie w lasach górskich. Za jedną z przyczyn nie stosowania tarasów grzbietowych na gruntach ornych w Polsce można uznać brak podstaw ich projektowania. Włączenie w Polsce tarasów grzbietowych do arsenału środków antyerozyjnych na gruntach ornych jest celowe, gdyż w warunkach klimatycznych naszego kraju właśnie w okresach roztopów oraz w okresach letnich opadów nawalnych, wskutek braku należytego pokrycia roślinnego, grunty orne są szczególnie narażone na erozję wodną. Poprzez ograniczenie odpływu wód z pól uprawnych lub obszarów leśnych tarasy grzbietowe umożliwiają istotne kształtowanie zasobów wodnych.

RODZAJE TARASÓW GRZBIETOWYCH

Konstrukcja tarasów grzbietowych jest stosunkowo prosta różniąc się w zależności od funkcji tarasu, którymi mogą być: zmiana spływu powierzchniowego w gruntowy, zwiększenie retencji powierzchniowej oraz ograniczenie erozji powierzchniowej wskutek skrócenia drogi i prędkości spływu wody. Najczęściej są to niskie groble zatrzymujące spływającą ze stoku wodę wraz ze znoszoną glebą.

Na gruntach przepuszczalnych najczęściej wykonuje się tarasy bezodpływowe (rys.1). Ich celem jest zatrzymanie przed groblą wody spływającej z części pola między

grobami. Wysokość grobli jest tak dobierana, aby zatrzymywały całą ilość wody spływającej z obszaru między groblami.

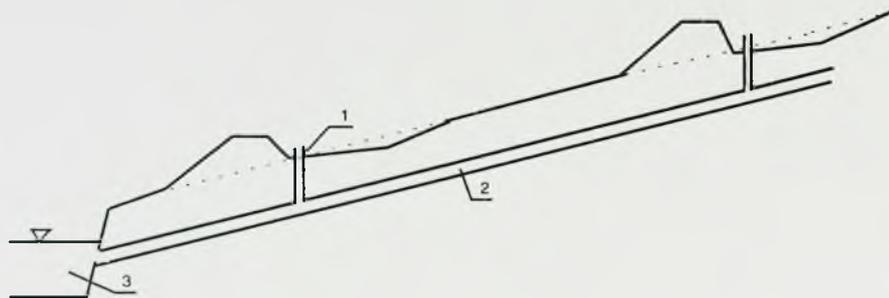


Rys. 1 Przekrój poprzeczny tarasu bezodpływowego (H – rozstawa pionowa, L – rozstawa pozioma, d – szerokość grobli)

Zatrzymana woda infiltruje w głąb gleby zamieniając w ten sposób spływ powierzchniowy w odpływ gruntowy. Część wody ulega ewaporacji. W tarasach tych powinny być wykonane przelewy umożliwiające odpływ wody z ekstremalnych opadów nawałnych.

W sytuacjach, gdy niewskazane jest dłuższe stagnowanie wody przed groblą lub celowe jest magazynowanie spływu powierzchniowego, wykonuje się tarasy z odpływem. Wyróżnić wśród nich można tarasy z odpływem powierzchniowym oraz tarasy z odpływem podziemnym. W tarasach z odpływem powierzchniowym groble projektuje się z niewielkim spadkiem w kierunku odbiornika, którym najczęściej jest rów odprowadzający wodę do zbiornika retencyjnego lub cicku wodnego.

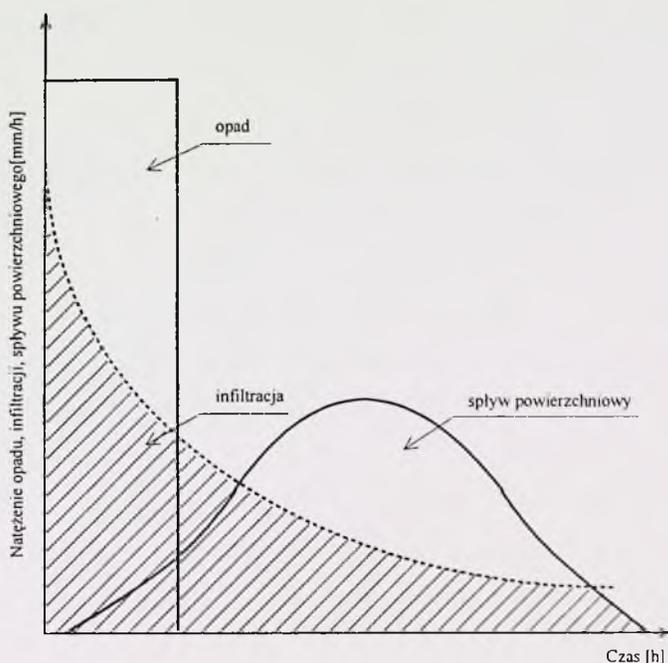
Nowocześniejsze są rozwiązania konstrukcyjne tarasów z odpływem podziemnym, w których woda odprowadzana jest za pomocą studzienek i podziemnych rurociągów do niżej zlokalizowanych odbiorników w postaci rowów, rzek lub zbiorników retencyjnych (rys.2).



Rys.2 Przekrój poprzeczny tarasu odplywowego (1 - studzienka, 2 - rurociąg, 3 - odbiornik)

ZWIĘKSZANIE RETENCJI WODNEJ ZA POMOCĄ TARASÓW GRZBIETOWYCH

Tarasы grzbietowe przecinając drogę spływu wody po zboczu wpływają na obieg wody w zlewni rzecznej lub w mniejszej jednostce hydrograficznej. Zatrzymana przez tarasy woda nie bierze udziału w bezpośredniej transformacji opad-odpływ i w ten sposób zmniejsza ryzyko powstawania powodzi oraz zwiększa zasoby wodne obiektu. Ilość wody, która za pomocą tarasów grzbietowych może być zamieniona w odpływ podziemny lub zmagazynowana w odbiornikach zależy przede wszystkim od charakterystyki opadu, czyli jego wielkości i natężenia, od zmiennego w czasie procesu infiltracji oraz od ukształtowania terenu. Na rys. 3 przedstawiono hydrogram spływu powierzchniowego na tle relacji opad-infiltracja.



Rys. 3 Hydrogram splotu powierzchniowego

Wielkość splotu powierzchniowego oblicza się według kilku metod. W warunkach ustalonych stosować można zależność:

$$V = (P - i) L \cos \alpha \quad [1]$$

gdzie: V – splot powierzchniowy, P – opad, i – infiltracja, L – długość zbrocza,
 α – kąt nachylenia zbrocza

Najbardziej dokładne wyniki można uzyskać stosując modele matematyczne splotu powierzchniowego. Wymagają jednak one znacznej ilości danych wejściowych i określenia wzajemnych zależności między niektórymi czynnikami wpływającymi na przebieg splotu wody. Próbę zastosowania modelu splotu powierzchniowego podjął Szafranski (1993). Dla oszacowania wody z większego obiektu stosuje się znaną w hydrologii metodę SCS. Najbardziej miarodajne oszacowanie splotu powierzchniowego dokonuje się za pomocą pomiarów polowych. Na ich podstawie ustala się współczynnik splotu. Analiza wyników badań dowodzi, że jest to wskaźnik zmienny w dość szerokim zakresie.

W eksperymentach Huibbersa (1985) prowadzonych na glinach piaszczystych i piaskach gliniastych współczynnik spływu na tym samym obiekcie wahał się od 0,02 do 0,24 przy dobowych wielkościach opadu od 14,7 mm do 114,8 mm. Według badań Szafrąńskiego (1992) współczynnik spływu powierzchniowego z deszczowanej powierzchni wynosił dla zbliżonej dawki polewowej o natężeniu 12 mm/h od 0,04 przy 4% spadku terenu, do 0,22 przy spadku terenu równym 11,6%.

Od 1999 roku Autorzy prowadzą badania w celu opracowania metody wymiarowania tarasów grzbietowych. Badania prowadzone są w RZD Puczniew na glinie zwałowej pozostawionej w czarnym ugorze. Pomiarami objęte są poletka doświadczalne o różnej długości: 40,60 i 80 m.

Dotychczas uzyskane wyniki wskazują, że długość stoku ma istotny wpływ na współczynnik spływu. Pomierzone współczynniki spływu przy opadach od 10 do 16 mm wahały się w granicach 0,12 - 0,41 przy stoku o długości 40 m, i 0,17- 0,29 przy stoku 80-metrowym. Dane te dowodzą, że tarasy grzbietowe mogą być bardzo dobrym środkiem ograniczania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych. Podstawowym jednak warunkiem właściwego funkcjonowania tarasów grzbietowych jest określenie ich odpowiednich parametrów.

DOBÓR PARAMETRÓW PROJEKTOWYCH TARASÓW

Przy projektowaniu tarasów grzbietowych podstawowymi parametrami projektowymi są pozioma i pionowa rozstawa oraz wymiary przekroju poprzecznego. Za duża rozstawa przy małej pojemności tarasu może spowodować przelanie się wody przez groblę i jej zniszczenie, co z reguły prowadzi do przerwania kolejnych grobli i zniszczenia całego systemu ochronnego. Zbyt mała rozstawa poza utrudnieniem wykonywania prac agrotechnicznych pogarsza efekty ekonomiczne gospodarstwa wskutek zmniejszenia powierzchni produkcyjnej. W literaturze istnieje kilka metod obliczania rozstawy tarasów grzbietowych. Hydrauliczny wzór na rozstawę ma postać następującą (Morgan, 1986):

$$L = \frac{v^{5/2} n^{3/2}}{(R - i) \sin^{3/4} \theta \cos \theta} \quad [2]$$

Gdzie : v – dopuszczalna prędkość spływającej wody, n – współczynnik zależny od szorstkości powierzchni, pozostałe oznaczenia jak w równaniu [1].

Czerkasow (1981) podał następującą zależność na odległość między groblami:

$$L = \frac{h}{2\sigma A} \left(\frac{d}{2} + \frac{h}{S} \right) \quad [3]$$

gdzie: A – opad, σ - współczynnik spływu zależny od spadku i typu gleby, h – wysokość grobli, d – szerokość stopy grobli,

W niektórych krajach, np. w USA, Izraelu, Algierii, Libii dobór parametrów tarasów odbywa się za pomocą zależności empirycznych, opracowanych dla warunków lokalnych (Morgan, 1986):

$$HI = \frac{VI * 100}{S} \quad [4]$$

gdzie: $VI = a S + b$,

a, b współczynniki empiryczne, S – spadek terenu.

Współczynniki a i b są zależne od opadów oraz podatności gleb na erozję i są miarodajne jedynie dla warunków, dla których je określono.

WNIOSKI

1. Tarasy grzbietowe są urządzeniami, które oprócz ochrony gleb przed erozją, umożliwiają spowalnianie obiegu wody w zlewni rzecznej poprzez zwiększenie retencji gruntowej lub powierzchniowej.
2. Wyniki prowadzonych badań wykazały, że współczynnik spływu zmienia się w znacznym zakresie w zależności od spadku terenu, właściwości wodnych gleby oraz intensywności opadu. Na obiekcie badawczym w RZD Puczniew współczynnik spływu powierzchniowego na poletkach z ugorowaną gliną zwałową wahał się od 0,12 do 0,41.
3. Stosowanie tarasów grzbietowych w Polsce wymaga opracowania podstaw ich projektowania.

Streszczenie: *Tarasы grzbietowe a kształtowanie zasobów wodnych.* W pracy opisano funkcje tarasów grzbietowych jako urządzeń stosowanych w ochronie gleb przed erozją i umożliwiającymi sterowanie obiegiem wody w zlewni. Przedstawiono podział tarasów i scharakteryzowano ich konstrukcje. Na tle danych z literatury podano wyniki własnych badań prowadzonych w RZD Puczniew dotyczących wpływu warunków środowiskowych na wielkość współczynnika spływu powierzchniowego. Uzyskane rezultaty potwierdzają możliwość znacznego zwiększania retencji gruntowej i powierzchniowej za pomocą tarasów grzbietowych.

LITERATURA

- CZERKASOW A.A.,1950:Melioracja i selskochoziajtwennoe wodosnabżenie. G.I.S.L
Moskwa
- HUDSON N.,1981: Soil conservation. (2 nd edition) Batchford, London and Cornell
Univ. Press, Ithaca, NY
- HUIBERS F.P. 1974 Rainfed agriculture in a semi – arid tropical climate.
- MORGAN R.P.C., 1986: Soil erosion and conservation. Longman Scientific
&Technical, Essex, UK
- OSTROMEŃCKI J.,1947: Erozja gleb jako zagadnienie melioracyjne. Gospodarka
Wodna nr 4 i 5, s.1-20
- SZAFRAŃSKI C.,1993 Gospodarka wodna gleb terenów bogato rzeźbionych i potrzeby
ich melioracji Rocznik Akademii Rolniczej, Rozprawy Naukowe, Zeszyt 244
- SZAFRAŃSKI C.1992 Spływy powierzchniowe i erozja wodna gleb na bogato
rzeźbionych terenach polodowcowych Zeszyty Naukowe AR Kraków nr.271:
Zeszyt 35
- STROOSNIJDER L., L.A.AJ. Eppink, 1993: Principles of soil and water conservation.
Wageningen Agricultural University

Adres autorów:

Anna Baryła, Edward Pierzgalski
Katedra Kształtowania Środowiska
SGGW w Warszawie
ul. Nowoursynowska 166,
02-787 Warszawa