# Przegląd Naukowy

## Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

Rocznik XII 2003 Zeszyt 1(26)

SCIENTIFIC REVIEW
ENGINEERING AND ENVIRONMETAL SCIENCES
Półrocznik – Semiannual

RADA PROGRAMOWA
Kazimierz Adamowski (University of Ottawa, Kanada), Kazimierz Banasik – przewodniczący (SGGW), Tadeusz Bednarczyk (Akademia Rolnicza, Kraków), Kazimierz Garbulewski (SGGW), Małgorzata Gutry-Korycka (Uniwersytet Warszawski), Zbigniew Heidrich (Politechnika Warszawska), Bonifacy Łykowski (SGGW), Mariusz Kemblowski (Utah State University, USA), Jiři Vaška (Politechnika w Pradze, Czechy)

ZESPÓŁ REDAKCYJNY
Andrzej Ciepielowski, Bonifacy Łykowski (przewodniczący), Mieczysław Połoński

RECENZENCI
Henryk Bryś, Kazimierz Burzyński, Andrzej Ciepielowski, Zbigniew Szwejkowski, Stanisław Żakowicz, Jan Żelazo

Czasopismo „Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska" jest abstraktowane w wykazach międzynarodowych AGRIS (FAO) i krajowych SIGŻ.

ADRES REDAKCJI
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel. 843 90 41 (61, 81) w. 11273 i 11759
iks_pn@alpha.sggw.waw.pl

# Przegląd Naukowy

## Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

**Rocznik XII** **2003** **Zeszyt 1(26)**

**Spis treści**
***Contens***

## PRACE ORYGINALNE

P. HEWELKE: Audit środowiskowy i certyfikacja systemów zarządzania środowiskiem
*Environmental audit and certification of management systems* ..... 3

E. SMOLSKA: Erozja powierzchniowa gleb na Pojezierzu Suwalskim i niektóre jej uwarunkowania klimatyczno-topograficzne
*Interrill erosion on Suwałki Lakeland and some climatic-topographical conditions of soil redistribution* ..... 12

T. CIUPA: Procesy fluwialne w zlewni o wysokim stopniu urbanizacji na przykładzie Kielc
*Fluvial processes in the catchment with high impact of urban area on the Kielce example* ..... 24

H. KAZIEKO, L. KAZIEKO: Określenie funkcji dobiegania wody przy nawadnianiu bruzdowym
*Calculation of the function of the front of the wave in the furrow strip irrigation* ..... 35

H. KAZIEKO, L. KAZIEKO: Dynamika zasolenia warstw gleby przy uwzględnieniu parowania
*Dynamics of top soil salenization with consideration evaporation* ..... 43

J. KUBRAK, M. SZYDŁOWSKI: Zastosowanie parametrycznych modeli do określania parametrów wyrwy w zaporze ziemnej
*Parametric models application for prediction of earth dam breach parameters* ..... 52

D. WOCHOWSKA, J. JEZNACH: Ocena skuteczności doczyszczania wód z miejskiej oczyszczalni ścieków
*The estimation of the effectiveness of the process of extra-purifying water from domestic sewage treatment* ..... 61

D. WOCHOWSKA, J. JEZNACH, W. LIS: Analiza parametrów techniczno-eksploatacyjnych Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu
*Analysis of technical-operation parameters of the town sewage treatment in Sierpc* ..... 66

J. JEZNACH: Syntetyczna ocena stanu infrastruktury technicznej na obszarach niezurbanizowanych
*A synthetic estimation of technical infrastructure in the rural areas* ..... 71

J. JEZNACH, M. JEZNACH: Infrastruktura wsi na terenach chronionych gmin kampinoskich
*Rural infrastructure on the Kampinos National Park* ..... 76

Z. SZWEJKOWSKI, T.P. KUROWSKI: Badania wpływu czynników pogodowych na stopień inwazyjności patogenów grzybowych w środowisku na przykładzie pszenicy ozimej
*The investigations on impact of weather conditions on the fungi diseases infestation in environment on the example of winter wheat* ..... 83

B. BANASZKIEWICZ, M. PANFIL: Zmienność temperatury powietrza w północnej Polsce
*Variability of air temperature in northern Poland* ..... 91

K. ROZBICKA, M. KLENIEWSKA, W. PRZEWOŹNICZUK: Charakterystyka zapylenia na Ursynowie-SGGW w 2002 roku
*Particulate matter characteristic in Ursynów-WAU in the year 2002* ..... 98

K. ROZBICKA: Charakterystyka stanów równowagi atmosfery w okresie IV–X 2002 roku dla Ursynowa-SGGW
*Characteristic of atmospheric stability in period IV–X 2002 for Ursynów-WAU* ..... 105

J. KOSSOWSKI: Wpływ warunków meteorologicznych na strumień ciepła w glebie
*Influence of meteorological conditions on soil heat flux* ..... 114

A. KEGLER: Analiza błędów niwelacji spowodowanych refrakcją różnicową
*Analysis leveling errors cause differential refraction* ..... 120

**WSPOMNIENIA POŚMIERTNE**

Włodzimierz Meyer (1928–2003) ..... 124

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2003

Redaktor – Ewa Ramus
Redaktor techniczny – Krystyna Piotrowska

ISBN 83-7244-426-9

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

**Piotr HEWELKE**
Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Engineering WAU

# Audit środowiskowy i certyfikacja systemów zarządzania środowiskiem
# Environmental audit and certification of management systems

**Słowa kluczowe:** środowisko, systemy zarządzania, audit certyfikacja
**Key words:** environment, management systems, audit, certification

## Wprowadzenie

Współczesne podejście do zarządzania jakością (Total Quality Management) rozszerza zakres dotychczasowych koncepcji o relacje między przedsiębiorstwem a środowiskiem. Systemowe podejście do zarządzania środowiskiem oznacza całkowitą zmianę strategii skierowanej dotychczas na usuwanie negatywnych skutków procesów produkcyjnych i usług, na strategię zapobiegawczą, tj. ukierunkowaną na przyczyny. Zatem działania skierowane są tu przede wszystkim na proces, w rozumieniu technologicznym i organizacyjnym, a ograniczenie oddziaływań na środowisko nie sprowadza się tylko do redukcji (minimalizacji) ilości zanieczyszczeń, lecz rozciągnięte jest również na efektywne gospodarowanie zasobami, tj. surowcami, energią i pracą. Powoduje to, że systemy zarządzania środowiskiem stały się ważnym narzędziem zrównoważonego rozwoju społeczno-ekonomicznego. Niniejszy artykuł poświęcony jest wybranym zagadnieniom auditu i certyfikacji, stanowiąc kontynuację problematyki struktury systemów zarządzania omawianej we wcześniejszych publikacjach (m.in. Hewelke 1998, Hewelke i in. 2001).

## Audity i przeglądy środowiskowe

Audit to systematyczny i udokumentowany proces badań mający na celu ustalenie, czy zadeklarowany stan jest zgodny z rzeczywistością i obowiązującymi przepisami prawnymi oraz wymaganiami określonych norm. Audit jakości jest definiowany jako usystematyzowane i niezależne badania mające stwierdzić, czy działania odnoszące się do jakości i ich wyniki są zgodne

z zaplanowanymi ustaleniami oraz czy te ustalenia są skutecznie realizowane i pozwalają na osiągnięcie celu (PN-ISO 8402 1996). W modelach zarządzania jakością można wyróżnić trzy rodzaje auditu:

- wewnętrzny – przedsiębiorstwo we własnym zakresie sprawdza, jak są przestrzegane procedury,
- zewnętrzny – przedsiębiorstwo przeprowadza audit u swoich kooperantów,
- certyfikujący – badanie przeprowadzane jest przez niezależną instytucję mającą uprawnienia do certyfikacji.

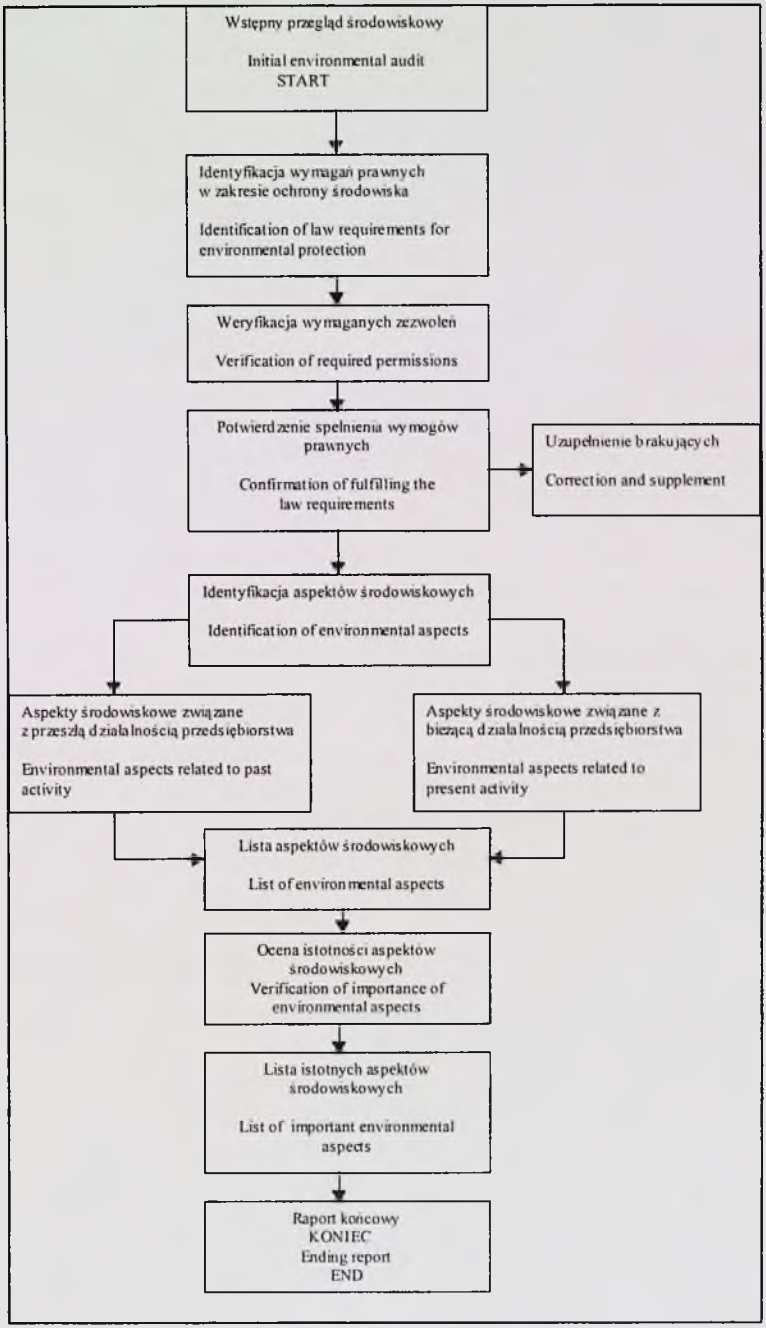
W budowie systemu zarządzania środowiskiem (SZŚ) ważne narzędzie stanowią przeglądy. Dotyczą one przede wszystkim aspektów środowiskowych, wymagań prawnych oraz dotychczasowych procedur i doświadczeń związanych z zarządzaniem środowiskiem w firmie. Wyniki tych przeglądów pozwalają na obiektywne ustalenie wpływu przedsiębiorstwa na środowisko, a w konsekwencji na prawidłowe przyjęcie celów i zadań środowiskowych oraz programu ich realizacji (program zarządzania środowiskiem). Szczególnie istotną rolę odgrywa tu wstępny przegląd środowiskowy (rys. 1).

Podstawowym celem przeglądu środowiskowego jest identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych. Badanie to powinno obejmować całokształt działalności firmy, bowiem często spotykamy sytuacje, w których poważne aspekty środowiskowe generowane przez firmę w przeszłości mają istotne oddziaływanie na środowisko w teraźniejszości. Przegląd środowiskowy powinien uwzględniać również zagrożenia potencjalne, tj. np. związane z możliwością wystąpienia określonych sytuacji awaryjnych. Raport końcowy stanowi podstawę do właściwego przyjęcia polityki środowiskowej przedsiębiorstwa. Wszystkie informacje uzyskane w przeglądzie powinny być okresowo aktualizowane.

Należy podkreślić, że system zarządzania środowiskiem zbudowany według modelu ISO 14001 zawiera już w swej konstrukcji silnie rozbudowane elementy kontroli wewnętrznej. Należy do nich kontrola operacyjna, która polega na porównaniu wyników badań prób środowiskowych z przyjętymi założeniami w działaniach wdrożeniowych i z normami. Drugim poziomem kontrolnym jest ocena zgodności podejmowanych działań z programem zarządzania środowiskiem. Trzeci poziom stanowią przeglądy zarządzania środowiskiem, których celem jest określenie przydatności realizowanego systemu oraz potwierdzenie słuszności przyjętej polityki środowiskowej i konsekwencji jej realizacji.

## Certyfikacja auditorów

Po wdrożeniu SZŚ przedsiębiorstwo może uzyskać potwierdzenie, że system jest zbudowany zgodnie z wymaganiami standardu ISO 14001 i funkcjonuje zgodnie z zaplanowanymi założeniami. Taki certyfikat zgodności może wydać jednostka mająca stosowne uprawnienia po przeprowadzeniu auditu certyfikującego przez uprawnionych auditorów. Pracą auditorów kieruje auditor wiodący wyznaczony przez jednostkę certyfikującą. Zespół auditorów tworzony jest w porozumieniu z przedsiębiorstwem zgłaszającym swój SZŚ do certyfikacji.




RYSUNEK 1. Schemat realizacji wstępnego przeglądu środowiskowego
FIGURE 1. Schema of realisation of the initial environmental audit

Auditorzy powinni mieć odpowiednie wykształcenie, staż pracy oraz odpowiednie predyspozycje osobiste (PN-ISO1001-2 1996). W szczególności wymagane jest, żeby auditorzy byli obiektywni i niezależni od organizacji, której system jest badany. Auditorów obowiązuje zasada poufności w stosunku do wszystkich informacji dotyczących badanej jednostki. Auditor może formułować swoje wnioski jedynie na obiektywnych dowodach, kierując się wyłącznie własną wiedzą, nie ulegając żadnym presjom zarówno zewnętrznym, jak i ze strony badanej jednostki. Jego działanie w żadnym wypadku nie może zagrażać interesom klienta.

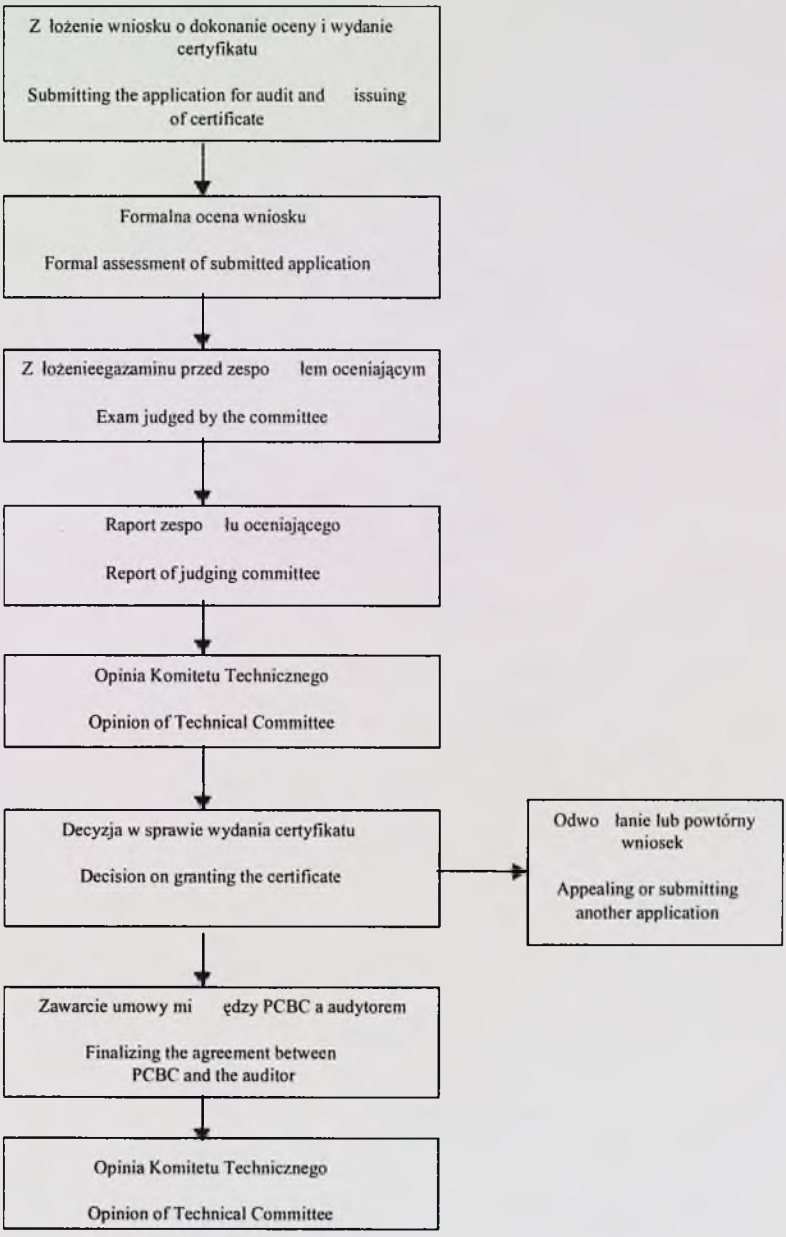
Krajową instytucją do spraw badań i certyfikacji jest Polskie Centrum Badań i Certyfikacji (PCBC) powołane ustawą o badaniach i certyfikacji z dnia 3 kwietnia 1993 roku (DzU nr 55). Do zadań PCBC należy w szczególności organizowanie i nadzorowanie systemu badań i certyfikacji, akredytowanie jednostek certyfikujących, certyfikowanie auditorów, certyfikowanie systemów jakości oraz organizowanie szkoleń i doskonalenie kadr na potrzeby badań i certyfikacji. Przy PCBC działa Rada ds. Badań i Certyfikacji, która jest organem stanowiącym w zakresie tworzenia i nadzorowania realizacji polityki badań i certyfikacji. Rada określa szczegółowe zasady postępowania w odniesieniu do wszystkich obszarów działania PCBC. Szczegółowe zasady działania auditora ujęte są w „Kodeksie etycznym auditora certyfikowanego przez PCBC". O wysokim poziomie certyfikacji auditorów świadczy przyjęcie PCBC do European Organization for Quality (EOQ), w wyniku czego równolegle z własnym certyfikatem jednostka ta może wydawać certyfikat auditora EOQ. Schemat procesu certyfikacji auditorów przedstawiono na rysunku 2. Złożenie egzaminu przed zespołem oceniającym poprzedzone jest ukończeniem szkolenia zgodnego z programem PCBC. W przypadku negatywnej decyzji w sprawie wydania certyfikatu może nastąpić odwołanie do Komitetu Odwoławczego PCBC lub wniosek może być złożony powtórnie.

Certyfikat PCBC wydawany jest na czas określony, a w okresie ważności PCBC sprawuje nadzór nad działalnością auditora. Nadzór ten obejmuje zarówno wymagania postawione w procesie certyfikacji, jak i wynikające z zawartej z nim umowy.

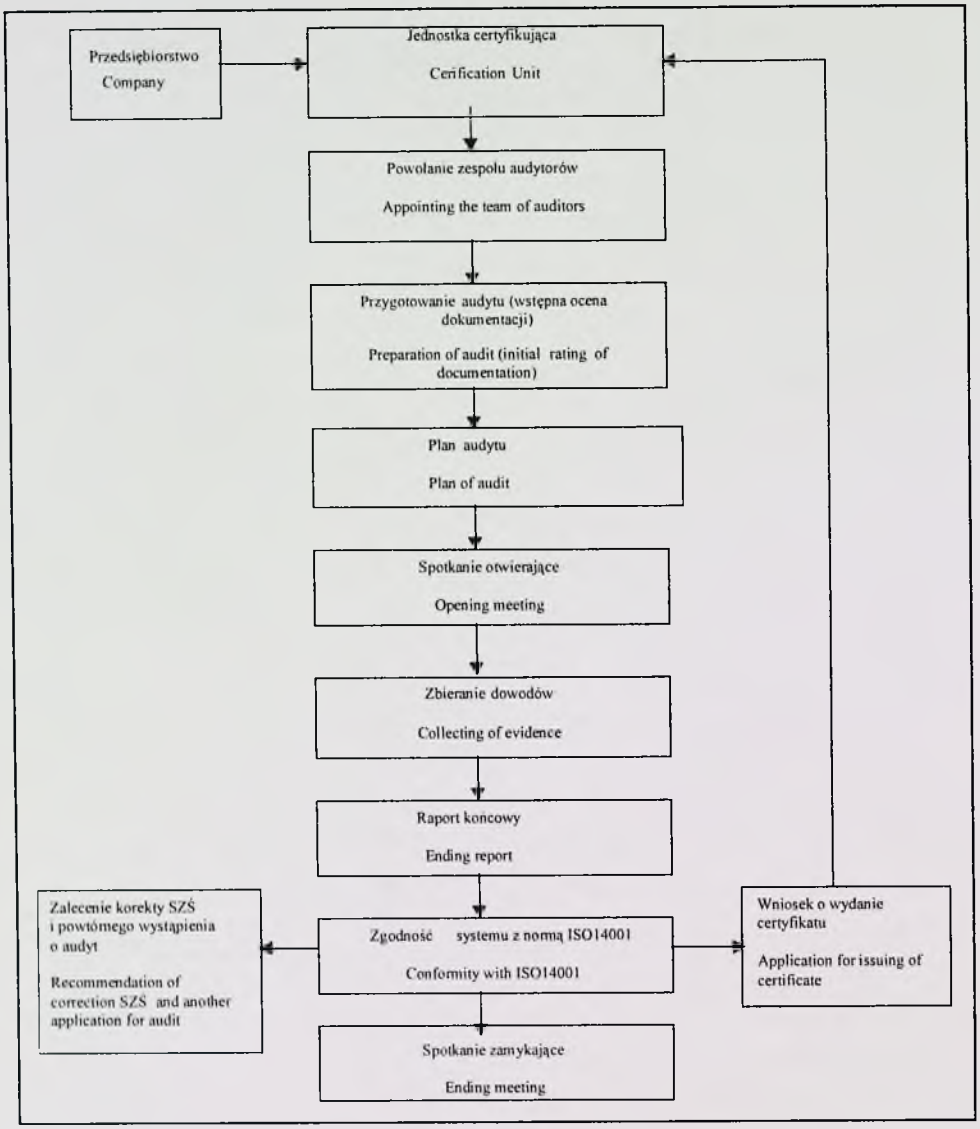
## Certyfikacja systemu zarządzania środowiskiem

Audit certyfikujący może być przeprowadzony przez PCBC lub inną jednostkę mającą akredytację. PCBC jest członkiem Międzynarodowej Sieci Jednostek Certyfikujących zrzeszającej jednostki wiodące. W związku z powyższym PCBC może oprócz podstawowego certyfikatu wystawiać dodatkowy dokument tzw. certyfikat IQNet (Międzynarodowa Sieć Jednostek Certyfikujących), stanowiący ważne narzędzie promocyjne dla przedsiębiorstwa, które wdrożyło system zarządzania jakością.

Procedura auditu certyfikującego (rys. 3) jest wdrażana na podstawie umowy między przedsiębiorstwem a jednostką certyfikującą. Wstępną czynnością w procesie auditu certyfikującego




RYSUNEK 2. Schemat procesu certyfikacji auditorów PCBC (na podst. Bagińskiego i Górskiej 1999)
FIGURE 2. Schema of the PCBC auditors' certification process (based on: Bagiński and Górska 1999)




RYSUNEK 3. Procedura auditu systemu zarządzania środowiskiem
FIGURE 3. Procedure of audit of environmental management system

jest tzw. **przygotowanie do auditu,** w którym klient i auditor wiodący określają obszar auditu. Na tym poziomie oceniana jest zgodność polityki środowiskowej klienta, programów i zapisów z normą ISO 14001.

Drugą czynnością przygotowawczą wykonywaną w porozumieniu z klientem jest opracowanie **planu auditu** zawierającego w szczególności określenie działów i funkcji pełniących szczególnie istotną rolę w działaniu SZŚ. Ponadto określany jest tu czas trwania auditu, zasady poufności oraz forma i termin dostarczenia raportu końcowego.

Trzecią fazę czynności przygotowawczych stanowi **spotkanie otwierające**, na którym następuje przedstawienie członków zespołu auditorskiego, celu i planu auditu oraz jego metod i procedur. W ten sposób obie strony uzyskują wszelkie niezbędne informacje dla sprawnego przebiegu właściwej fazy oceny stanowiącej **zbieranie dowodów**. Zazwyczaj pierwszą czynnością jest tutaj badanie, czy polityka środowiskowa przedsiębiorstwa jest stosowna do rodzaju, skali i wpływów środowiskowych oraz dostosowana do warunków lokalnych i regionalnych. Ponadto auditorzy powinni sprawdzać, czy jest ona znana wszystkim zatrudnionym i czy została upubliczniona. Ważnym elementem polityki środowiskowej jest zobowiązanie do ciągłego zapobiegania zanieczyszczeniom i zgodności z prawem oraz innymi zobowiązaniami firmy.

Druga faza zbierania dowodów obejmuje planowanie przedsiębiorstwa w zakresie SZŚ. Na tym etapie powinny być poddane ocenie:

- procedury badania, oceny i rejestracji skutków środowiskowych,
- procedura wymagań prawnych,
- określenie celów i zadań dla realizacji polityki środowiskowej,
- program zarządzania środowiskiem.

Zaplanowane procedury powinny gwarantować właściwą identyfikację wpływu przedsiębiorstwa na środowisko również w warunkach działalności nietypowej, np. uruchamiania produkcji, sytuacji awaryjnych. Przedsiębiorstwo ma obowiązek prowadzenia i uaktualniania rejestru przepisów i uprawnień związanych z ochroną środowiska oraz wymagań prawnych w zakresie produkcji (np. licencje). Odnośnie do celów i zadań, auditorzy w szczególności oceniają czy zostały one ustalone na wszystkich poziomach zarządzania oraz czy uwzględniają uwarunkowania finansowe i handlowe firmy. Cele powinny co najmniej dążyć do zgodności z przepisami oraz powinny być określone jakościowo i ilościowo w odniesieniu do przedziałów czasowych.

Auditorzy poszukują dowodów nie tylko potwierdzających prawidłową budowę systemu, ale w szczególności szukają dowodów na jego efektywne działanie. Dlatego badaniom powinny podlegać:

- kompetencje i odpowiedzialność poszczególnych pracowników odgrywających istotną rolę w pracy systemu,
- prawa i obowiązki pełnomocnika zarządu firmy ds. funkcjonowania systemu,
- zasady komunikowania się wewnątrz zakładu oraz z władzami publicznymi i zainteresowanymi grupami,
- szkolenia i podnoszenie kwalifikacji.

W wymienionych obszarach auditorzy oceniają poprawność procedur, np. komunikacji, oraz potwierdzają zaistnienie określonych faktów, jak np. udostępnienie na potrzeby SZŚ środków technicznych i finansowych czy przeprowadzanie szkoleń.

W dalszym badaniu funkcjonowania systemu ocenie poddawana jest dokumentacja środowiskowa oraz zasady nadzoru operacyjnego. Zapisy w dokumentacji środowiskowej zawierają m.in. opisy wdrożeń na rzecz ochrony środowiska i związane z nimi instrukcje, stanowiąc jeden z ważniejszych dowodów na funkcjonowanie systemu. Podobnie i w tym przypadku auditorzy powinni badać nie tylko zapisy w dokumentacji, lecz również poprawność procedur.

Szczególnie wnikliwej ocenie poddawane są:

- zapisy zarządzania środowiskiem, które umożliwiają ocenę zgodności działań z polityką SZŚ oraz zawierają dokumentację, w jakim stopniu zostały osiągnięte cele i zadania,
- procedury auditu wewnętrznego, określające m.in. jego zasięg, częstotliwość i kompetencje oraz sposób przekazywania wniosków,
- zapisy z przeglądów SZŚ dokonywane przez zarząd firmy.

Wyniki auditu certyfikującego opracowywane są w formie pisemnej (**raport końcowy**) i przedstawione klientowi na **spotkaniu zamykającym**. O ile zebrane dowody wskazują, że system jest zbudowany i wdrażany prawidłowo, auditor wiodący występuje z wnioskiem do jednostki certyfikującej o wydanie certyfikatu. W przypadku oceny negatywnej jednostka auditowana musi dokonać w uzgodnionym czasie stosownych korekt i wystąpić powtórnie o przeprowadzenie auditu.

## Podsumowanie

Audity i przeglądy pozwalając na ocenę oddziaływania przedsiębiorstwa na otoczenie, stanowią kluczowy element systemów zarządzania środowiskiem. Należy podkreślić, że odgrywają one również ważną rolę m.in. w zagadnieniach wyceny dóbr środowiskowych, transakcjach kupna-sprzedaży nieruchomości i ubezpieczeniach środowiskowych. Perspektywa ich rozwoju jest określona ciągłym wzrostem odpowiedzialności środowiskowej.

Certyfikacja służy ujednoliceniu wymagań stawianych SZŚ i jest instrumentem budowy zaufania. Wbudowanie w SZŚ kontroli wewnętrznej oraz zobowiązanie do konsekwentnego dokumentowania wszystkich podejmowanych decyzji, procedur i działań umożliwia efektywne funkcjonowanie systemu i ułatwia proces certyfikacji. Wdrożenie SZŚ zakończone procesem certyfikacji ma dla przedsiębiorstwa istotne znaczenie promocyjne, co będzie przedmiotem następnej publikacji.

W tym miejscu chciałbym również podziękować swoim studentom i słuchaczom za żywe zainteresowanie problematyką zarządzania środowiskiem, z czego czerpię znaczącą inspirację do poszerzania swojej wiedzy i poglądów.

## Literatura

HEWELKE P. 1998: Systemy zarządzania środowiskiem. *Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ.*, 15: 47–55.

HEWELKE P. i in. 2001: The role of environmental management systems in protection of water resources in Poland. *Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ.*, 22: 41–48.

PN-ISO 8402 1996: Zarządzanie jakością i zapewnienie jakości. Terminologia.

PN-ISO 10011-2 1996: Wytyczne do auditowania systemów jakości. Kryteria kwalifikowania auditorów systemów jakości.

The EOQ harmonized scheme the registration/certyfikation of quality personnel. Revised edition, European Organization of Quality, 1995.

Ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. o badaniach i certyfikacji. DzU nr 55, poz. 250.

Zintegrowane systemy zarządzania środowiskiem 1999, (red.) J. Bagiński, E. Górska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

## Summary

**Environmental audit and certification of management systems.** The presented paper explains the principles of audits and certification of environmental management systems according to ISO 14001 standards. In the environmental management systems, internal audits allow above all to:

- rate enterprise's actual impact on environment,
- estimate the efficiency of realization of set targets,
- implement the required correcs to environmental policy.

The purpose of management system certification is to reach the level that complies with ISO 14001 model. The conformity of management system structure with ISO model should be confirmed by external experts who prove its compliance with assumptions. The evidences that prove the appropriate implementation of management system should mainly base on the analysis of correctness of procedures and efficiency research of realized environmental targets.

**Autor's address:**
Piotr Hewelke
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

**Ewa SMOLSKA**
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW
Faculty of Geography and Regional Studies WU

# Erozja powierzchniowa gleb na Pojezierzu Suwalskim i niektóre jej uwarunkowania klimatyczno-topograficzne
# Interrill erosion on Suwałki Lakeland and some climatic-topographical conditions of soil redistribution

**Słowa kluczowe:** erozja gleb, uwarunkowania klimatyczno-topograficzne
**Key words:** soil erosion, climatic-topographical conditions

## Wprowadzenie

Podsumowanie osiągnięć w zakresie oceny warunków formowania się spływu i erozji gleb przedstawił Byron (2000), podkreślając rozbieżności w poglądach, wynikające często z prowadzenia badań w różnych strefach morfoklimatycznych. Najczęściej w literaturze prezentowane są zdarzenia o katastrofalnym natężeniu. Podczas opadów tej rangi zostają przekroczone wartości progowe, a erozja zależy od natężenia i wielkości deszczu, spływ wzrasta od strefy wododziałowej ku dołowi stoku, dostarczając materiału do den dolin i koryt rzecznych (Carson i Kirbky 1972, Hillslope... 1978, Froehlich 1992, Teisseyre 1994, Bryan 2000). Podczas opadów o przeciętnym natężeniu większe znaczenie w przebiegu erozji mają warunki lokalne środowiska. Na natężenie erozji gleb i jej uwarunkowania w obszarach o urozmaiconej rzeźbie polodowcowej zwracali uwagę między innymi: Niewiadomski i Skrodzki (1964), Chudecki i Niedźwiecki (1983), Uggla i in. (1998). Według Józefaciuka (1991), obszary te są w słabym, a lokalnie w średnim stopniu zagrożone procesami erozji wodnej gleb.

Celem niniejszego artykułu jest krótka prezentacja natężenia międzybruzdowej erozji gleb na wybranych stokach na podstawie pięcioletnich pomiarów oraz analiza wybranych uwarunkowań przyrodniczych przebiegu procesu. Szczególną uwagę zwrócono na długość i kształt stoku oraz erozyjność deszczu. Na przykładzie dwóch stoków sprawdzono możliwość zastosowania formuły USLE do oceny powierzchniowej erozji gleby na obszarze pojezierza (Wiechmeier i Smidth 1978, Banasik i Górski 1992).

Badania prowadzono w latach hydrologicznych 1987–1989 i 1998–1999 na Pojezierzu Suwalskim, w zlewni górnej Szeszupy.

## Charakterystyka badanych stoków

Do badań wybrano 5 stoków charakterystycznych dla rzeźby pojezierzy. Ich cechy przedstawiono w tabeli 1. Są to stoki krótkie, długości od kilkudziesięciu do nieco ponad 100 m, zbudowane z osadów lodowcowych i wodnolodowcowych. Wysokość stoków wynosi od 10 do 15 m. Stoki: Udziejek I, II, górna część stoku Udziejek III i Łopuchowo były użytkowane jako grunty orne; w okresie badań była prowadzona uprawa żyta, pszenicy, mieszanki zbożowej, buraków pastewnych, koniczyny. Na stokach Udziejek I i III oraz Łopuchowo orka była prowadzona zgodnie z nachyleniem terenu, natomiast w górnej części stoku Udziejek II – poprzecznie do spadku. Dolna część stoku Udziejek II jest trwale zadarniona, strome zbocze doliny Szeszupy jest porośnięte rzadkim lasem, prawie bez podszycia.

## Metody badań

Do pomiaru erozji gleby zastosowano łapacze Słupika (1981) nieco zmodyfikowane (Smolska 1993). Stanowiska pomiarowe rozmieszczone zostały według metody proponowanej przez Gerlacha (1976), tzn. w miejscach zmiany kształtu i nachylenia stoku w taki sposób, że każdy łapacz zbierał spływającą wodę razem z erodowaną glebą z pasa stoku od działu wodnego do miejsca położenia łapacza. W zależności od kształtu stoku pomiary prowadzono w 3 lub 4 stanowiskach, przy czym ostatnie z nich było usytuowane u jego podstawy. Każde stanowisko składało się z 3 łapaczy o szerokości wlotu 50 cm. Łapacze były opróżniane co 4–6 tygodni, z wyłączeniem okresów prac polowych, dodatkowo po kilku ulewach w każdym sezonie letnim.

Pomiary prowadzone były na stokach jednostajnie nachylonych, co jest bardzo ważne ze względu na założenie w metodzie Gerlacha, że kierunek spływu wody jest zgodny z nachyleniem stoku (równa się jego długości). Dla każdego stanowiska otrzymano wartości zmywu gleby na 1 m szerokości stoku, wyliczane jako średnia arytmetyczna z 3 łapaczy, celem zmniejszenia błędu pomiaru wynikającego ze sprawności łapacza. Ponieważ nie jest znana zarówno rzeczywista droga spływu wody, jak i transportu zwietrzelin, który jest procesem bardzo zmiennym i ma charakter pulsacyjny, osad zgromadzony w łapaczach informuje jedynie

TABELA 1. Charakterystyka badanych stoków
TABLE 1. Selected characteristics of slopes

| Stok<br>Slope | Długość<br>Lendth<br>[m] | Wysokość<br>Hight<br>[m] | Spadek<br>Inclination<br>[°] | Kształt<br>Shape | Budowa<br>Lithology |
|---|---|---|---|---|---|
| Udziejek I | 67 | 15 | 2–6° | wypukło-wklęsły | glina piaszczysta |
| Udziejek II | 46 | 11 | 4–22° | wypukło-prosty | glina piaszczysta |
| Udziejek III | 105 | 10 | 3–7° | wypukło-wklęsły | piasek pylasty |
| Łopuchowo | 66 | 12 | 3–11° | wypukło-wklęsły | piasek |
| Zbocze doliny | 14,5 | 14 | 24° | prosty | piasek |

o odprowadzaniu materiału poza daną część stoku (Loughran 1989, Klimczak 1992). Zastosowana metoda pozwala na porównanie dostawy zwietrzelin do danej części stoku i transferu poza tę część i na tej podstawie wyróżnienie na badanych stokach stref z przewagą erozji lub depozycji i określenie natężenia procesu w okresie badań.

Wyniki pomiarów z poszczególnych cykli przeliczono na jednostkę powierzchni w celu porównania z obliczonymi wartościami zmywu gleby według formuły USLE. Również pobrano 4–5 próbek gleby wzdłuż profilu podłużnego stoków i wykonano analizy uziarnienia metodami sitową lub areometryczną, aby określić procentowy udział poszczególnych frakcji. Określono również zawartość materii organicznej metodą strat prażenia.

W celu obliczenia wskaźnika erozyjności deszczu dla wszystkich opadów okresu badań mających rejestrację pluwiograficzną określono wielkość opadu całkowitego, czas jego trwania oraz maksymalną 30- i 15-minutową intensywność według Banasika i Górskiego (1990).

## Wyniki badań

Okres badań 1987–1989 charakteryzował się przeciętnymi warunkami pogodowymi, natomiast w latach 1998–1999 wystąpiły opady o znacznej intensywności: 43 mm (17.06.1999 r.) o erozyjności według formuły USLE R = = 16,4 Je, oraz wyjątkowej intensywności: 35,7 mm (22.06.1999 r.) o R = = 35,2 Je. Suma roczna opadów wynosiła od 541 mm w 1999 roku do 716 mm w 1987 roku (posterunek Sidory). Dla okresu badań rejestrację pluwiograficzną miało 81 opadów deszczu, z czego jedynie 36 pojedynczych opadów spełniało warunki progowe formuły USLE. Jedynie czterokrotnie suma dobowa opadu przekroczyła 30 mm.

Przebieg erozji na badanych stokach był bardzo zróżnicowany zarówno w poszczególnych ich fragmentach, jak i w czasie (tab. 2).

Prowadzone na wybranych stokach pomiary spłukiwania powierzchniowego pozwoliły na określenie ilości wyniesionej gleby ze stoku poza jego podstawę, a także natężenia procesu w obrębie stoku i wyznaczenie stref z przewagą erozji lub akumulacji materiału (tab. 3). W wyniku erozji rozproszonej najintensywniej były degradowane wypukłe odcinki stoków użytkowanych jako grunt orny; erozja wynosiła średnio rocznie od 24 do 50 $kg \cdot ha^{-1}$ na gruntach gliniasto-piaszczystych i około 400 $kg \cdot ha^{-1}$ na gruntach piaszczysto-pylastych. Na stokach o małym nachyleniu (poniżej 9°) najsilniejsza erozja zachodziła w górnej części odcinka wypukłego (Udziejek I, III), a strefa okresowej depozycji znajdowała się bezpośrednio poniżej strefy erozyjnej, to jest w środkowej i dolnej części stoku wypukło-wklęsłego. Na stokach o większym nachyleniu (powyżej 9–10°) strefa erozyjna obejmowała górną i środkową część stoku, przy czym najintensywniej degradowana była środkowa część stoku, o największym nachyleniu (7 $t \cdot ha^{-1}$ średnio rocznie w Łopuchowie). Depozycja materiału zachodziła na odcinku wklęsłym, zazwyczaj już w jego górnej części. Jedynie niewielka ilość uruchamianego materiału była odprowadzana

TABELA 2. Statystyczne parametry erozji gleby na badanych stokach z uwzględnieniem stanowisk pomiarowych (dla cykli pomiarowych sezonu opadowego)
TABLE 2. Statistical parameters of soil loss on study slopes (for measurements during precitipitation seson)

| N | Stok/Slope Długość Lendth | Zmyw gleby/Soil loss | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $g \cdot m^{-1}$ | | | | $g \cdot m^{-2}$ | | | |
| | | średnia mean | max | min | odch. std. S.D. | średnia mean | max | min | odch. std. S.D. |
| 18 | Udziejek I | | | | | | | | |
| | 23 m | 26,57 | 129,06 | 0,83 | 37,14 | 1,16 | 5,61 | 0,036 | 1,61 |
| | 38 m | 34,45 | 226,11 | 0,79 | 57,15 | 0,92 | 6,03 | 0,021 | 1,52 |
| | 47 m | 39,44 | 322,04 | 1,54 | 77,34 | 0,85 | 6,89 | 0,033 | 1,66 |
| | 67 m | 61,92 | 780,00 | 0,10 | 182,56 | 0,93 | 11,69 | 0,002 | 2,74 |
| 28 | Udziejek II | | | | | | | | |
| | 36 m | 14,37 | 84,97 | 0,95 | 16,46 | 0,40 | 2,36 | 0,026 | 0,46 |
| | 41,5 m | 5,42 | 17,90 | 0,22 | 5,29 | 0,13 | 0,43 | 0,005 | 0,13 |
| | 45 m | 4,60 | 23,70 | 0,07 | 8,25 | 0,10 | 0,52 | 0,002 | 0,12 |
| 10 | Udziejek III | | | | | | | | |
| | 22 m | 150,05 | 419,00 | 8,92 | 135,08 | 6,82 | 19,05 | 0,405 | 6,14 |
| | 57 m | 65,90 | 175,41 | 10,80 | 56,43 | 1,16 | 3,08 | 0,189 | 0,99 |
| | 79 m | 50,73 | 137,54 | 5,29 | 47,34 | 0,64 | 1,74 | 0,067 | 0,60 |
| | 105 m | 27,26 | 123,21 | 2,52 | 37,25 | 0,26 | 1,17 | 0,024 | 0,36 |
| 10 | Łopuchowo | | | | | | | | |
| | 31 m | 267,60 | 1 559,70 | 4,15 | 502,46 | 8,63 | 50,31 | 0,130 | 16,21 |
| | 48,5 m | 2 | 23 744,00 | 7,80 | 7846,64 | 50,31 | 489,57 | 0,160 | |
| | 59 m. | 828,00 | 1 156,60 | 4,15 | 389,35 | 3,25 | 19,60 | 0,070 | 161,79 |
| | 66 m | 191,90 | 895,90 | 0,30 | 292,80 | 1,75 | 13,37 | 0,010 | 6,60 |
| | | 117,40 | | | | | | | 4,37 |
| 28 | Zbocze doliny | | | | | | | | |
| | 9,0 m | 340,30 | 1358,90 | 34,26 | 345,92 | 37,81 | 151,00 | 3,810 | 38,44 |
| | 11,5 m | 381,26 | 1766,50 | 30,58 | 370,76 | 33,15 | 153,61 | 2,660 | 32,24 |
| | 14,5 m | 553,78 | 4920,20 | 26,80 | 970,31 | 38,19 | 339,32 | 1,850 | 66,92 |

poza podstawę stoku. Także na stromym, jednostajnie nachylonym zboczu doliny Szeszupy okresowo występowała strefa depozycyjna w jego środkowej części.

Zwraca uwagę zróżnicowanie natężenia spłukiwania (od erozji do akumulacji materiału) w poszczególnych partiach stoku. Jedynie górny wododziałowy fragment stoku stale ulegał erozji. Pozostałe partie stoku spełniały różne funkcje, zależnie od natężenia i wielkości opadu. Szczególnie krótkotrwałe letnie ulewy powodowały uruchomienie znacznej ilości materiału (głównie w wyniku rozbryzgu) w porównaniu do możliwości transportowych spływającej wody – akumulacja

TABELA 3. Spłukiwanie powierzchniowe na badanych stokach (kg · ha$^{-1}$)
TABLE 3. Sheet wash on the study slopes (kg · ha$^{-1}$)

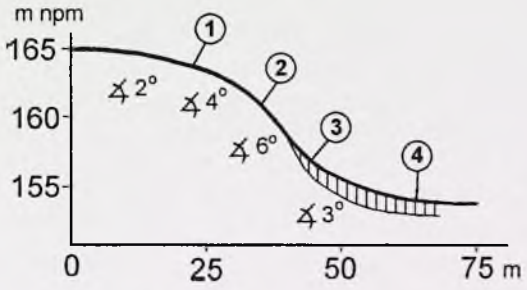
| Stok<br>Slope | Stanowisko<br>Stand | Okres badań/Study period | |
|---|---|---|---|
| | | 1987–1989 | 1998–1999 |
| Udziejek I | 1 | –35,95 | –69,72 |
| | 2 | –20,13 | –67,21 |
| | 3 | +36,34 | –35,77 |
| | 4 | +17,10 | –114,26 |
| Średnio/Mean | | –9,39 | –75,10 |
| Udziejek II | 1 | –29,20 | –26,55 |
| | 2 | +105,61 | +154,41 |
| | 3 | +102,18 | +21,28 |
| Średnio/Mean | | –1,69 | –2,21 |
| Udziejek III | 1 | | –390,00 |
| | 2 | | +95,60 |
| | 3 | | +106,10 |
| | 4 | | +79,40 |
| Średnio/Mean | | | –22,81 |
| Łopuchowo | 1 | –399,20 | |
| | 2 | –7255,60 | |
| | 3 | +11966,30 | |
| | 4 | +920,70 | |
| Średnio/Mean | | –2299,40 | |
| Zbocze doliny | 1 | –3952,80 | –1224,98 |
| | 2 | +3246,50 | –3424,69 |
| | 3 | –2509,70 | –4577,14 |
| Średnio/Mean | | –2299,40 | 2410,50 |

Objaśnienia/Explanations:
– erozja/erosion, + akumulacja/acumulation

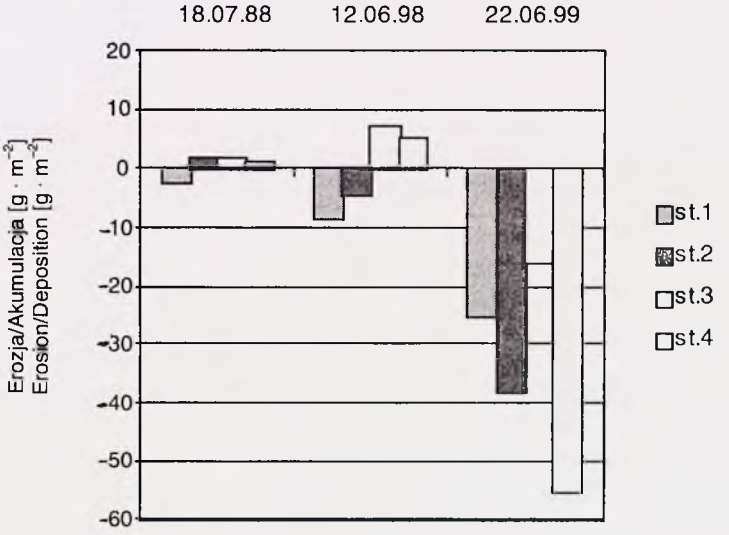
następowała bezpośrednio poniżej strefy erozji, z pominięciem strefy transportu. Na silną erozję górnych wypukłych partii stoku zwracano uwagę wielokrotnie, wskazując na istotne znaczenie rozbryzgu w erozji gleby, szczególnie na gruntach ornych słabo chronionych przez uprawy (Carson i Kirbky 1972, Gerlach 1976, Hillslope 1978, Abrahams i in. 1991, Parsons i in. 1992, 1998, Klimczak1993, Szpikowski 1998, Bueselinck i in. 1999). Efekty spływu rozproszonego są trudne do oceny makroskopowej w terenie, nawet na polu ornym, ze względu na brak wyraźnych mikroform erozyjnych i depozycyjnych (Teisseyre 1994). Obserwowane rozmycia gleby, jak również niewielkie namywy występowały zwykle w bezpośrednim sąsiedztwie.

Zróżnicowane natężenie spłukiwania w poszczególnych partiach stoku, w zależności od wysokości i natężenia opadu, przedstawiono na przykładzie stoku I w okolicy Udziejka (rys. 1). Podczas krótkotrwałych opadów burzowych występuje silny rozbryzg. Mimo przekraczanych zdolności infiltracyjnych podłoża, krótkotrwałość opadu sprawia, że prawie cała ilość wody zostaje zretencjonowana przez powierzchniową warstwę gleby (Gil i Słupik 1972, Gil 1999, Bryan 2000). Spływ powierzchniowy ustaje wówczas w początkowej fazie jego formowania się lub nieco później. Erozja górnej części stoku oraz depozycja

a




b




c

| Wyszczególnienie Specification | Data pomiaru/Date of measurement | | |
|---|---|---|---|
| | 18.07.1988 | 12.06.1998 | 22.06.1999 |
| P [mm] | 11 | 18,5 | 35,7 |
| I śr [cm · h$^{-1}$] | 0,57 | 0.99 | 3,02 |
| I 30 | 1,86 | 2,46 | 3,98 |
| I 15 | 3,36 | 3,92 | 4,92 |
| R (wg USLE) | 3,9 | 9,5 | 35,2 |

RYSUNEK 1. Profil podłużny stoku Udziejek I: a – stanowiska pomiarowe 1–4, b – rozkład erozji i akumulacji na stoku podczas wybranych opadów, c – charakterystyka opadów
FIGURE 1. Profile of Udziejek I slope: a – measurement stands 1–4, b – erosion and deposition on slope for selected rains, c – parameters of rainfalls

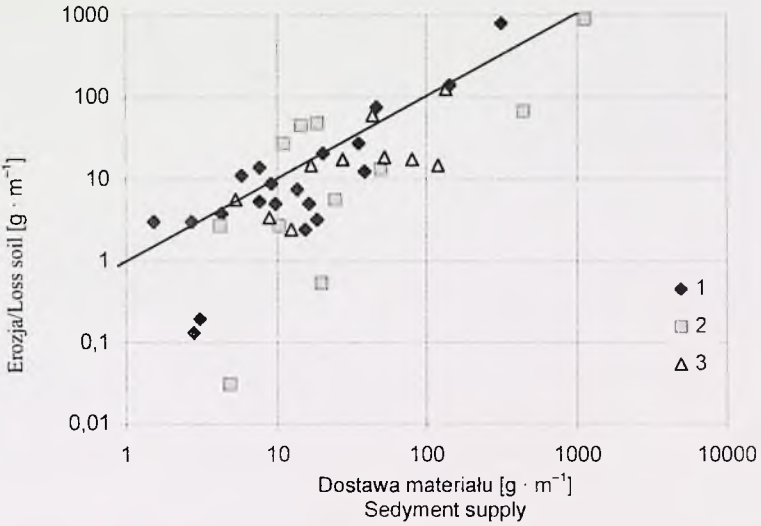
w jego środkowej i dolnej części występowała podczas krótkotrwałych opadów, o znacznym natężeniu (30 min, 8–15 mm) rysunek 1 – 18.07.1998 r. Opady o podobnym natężeniu, ale trwające dłużej powodowały erozję całej wypukłej i prostej części stoku oraz akumulację wklęsłej (rys. 1 – 12.06.1998 r.). Taki rozkład stref erozji i depozycji charakterystyczny jest również dla okresów następujących po sobie ulew. Dopiero ulewy powyżej 30 mm powodowały erozję na całej długości stoku i akumulację materiału poniżej podstawy stku – na terasie zalewowej Szeszupy (rys. 1 – 22.06.1999).

O znaczeniu rodzaju użytkowania w erozji gleby świadczy zwiększona wielokrotnie erozja w dolnej wklęsłej części stoku w 1999 roku, kiedy była ona zajęta pod uprawę warzyw. Podczas ulew w czerwcu i lipcu zanotowano jedynie zwiększoną erozję w części stoku zajętej pod uprawę mieszanki zbożowej, natomiast w części dolnej stoku, zajętej pod uprawę warzyw, wystąpił spływ typu pokrywowego i większa część roślin uległa zniszczeniu, a grządki zostały prawie całkowicie rozmyte. Erozja w ciągu czerwca i lipca osiągnęła ponad 70% ilości materiału wynoszonego poza podstawę stoku w ciągu całego okresu badań. Poniżej górnego załomu stoku zaobserwowano tworzenie się szeregu nieregularnych, krótkich i płytkich żłobin, które rozwinęły się wzdłuż zagłębień po bronowaniu pola. Natężenie procesu podczas 3 ulew sezonu letniego 1999 roku zdominowało modelowanie stoku w całym okresie badań.

Okres deszczy rozlewnych charakteryzowało niewielkie natężenie procesu na ogół wprost proporcjonalne do nachylenia omawianego stoku, jedynie okresowo występowała zwiększona erozja w jego dolnej wklęsłej części, związana ze zwiększonym spływem wód w wyniku tzw. spływu powrotnego.

Przedstawione powyżej zróżnicowanie przebiegu spłukiwania na stoku Udziejek I jest charakterystyczne dla wypukło-wklęsłych stoków o niewielkim nachyleniu. Środkowa część stoku pełniła funkcje transportowe z okresową depozycją materiału. Przewaga depozycji materiału, zaznaczająca się już w dolnej części stromego fragmentu stoku oraz powyżej podstawy stoku, została potwierdzona w wykonanych wkopach.

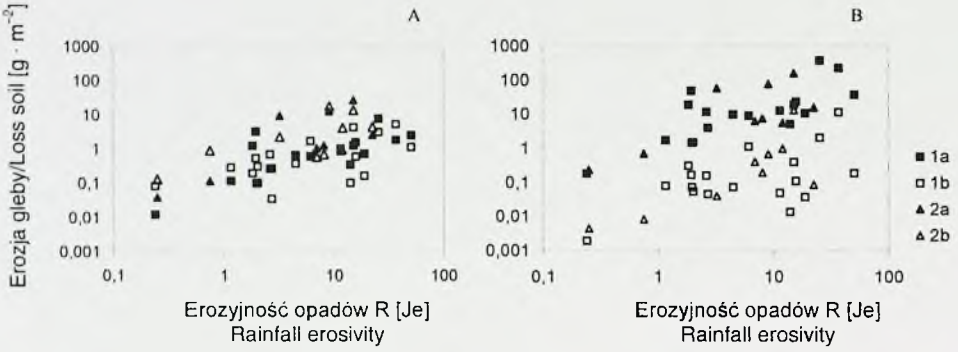
Wklęsłe fragmenty badanych stoków stanowiły wyraźną barierę w wynoszeniu materiału ze stoku w wyniku spłukiwania rozproszonego. Znaczenie bariery topograficznej dobrze widać na zestawieniu pomierzonych wartości erozji powyżej i poniżej fragmentu wklęsłego na stoku Udziejek I (rys. 2). W strefie tej następowała depozycja od 60 do prawie 100% erodowanej gleby. Jedynie okresowo notowano erozję na wklęsłej części stoku (punkty położone powyżej linii ciągłej na wykresie). Sytuacja taka miała miejsce podczas długotrwałych deszczy rozlewnych o znacznym średnim natężeniu (wartości erozji w granicach kilkunastu $g \cdot m^{-2}$) bądź letnich ulew o dużym średnim natężeniu (powyżej 10 mm na godzinę) lub krótkotrwałych ulew o charakterze burzowym. Na znaczenie kształtu stoku w erozji wodnej gleb zwracano uwagę wielokrotnie (np. Gerlach 1976, Carson i Kirbky 1972, Hillslope... 1978, Zachar 1982, Govers 1991). Podkreślano wzmożoną erozję górnych wypukłych




RYSUNEK 2. Porównanie ilości materiału dostarczanego do strefy wklęsłej stoku i wynoszenia poza podstawę: 1 – Udziejek I, 2 – Łopuchowo, 3 – Udziejek III
FIGURE 2. Relation between sedyment supply toconcave part of slope and loss soil at base of slope: 1 – Udziejek I, 2 – Łopuchowo, 3 – Udziejek III

fragmentów stoków, jak również niekiedy wskazywano na zależność wielkości erozji od długości poletka eksperymentalnego. Im dłuższe poletko badano, tym uzyskany wynik wskazywał na mniejszą średnią erozję z jednostki powierzchni (Gerlach 1976, Słupik 1981, Froechlich 1992, Usowicz i Rejman, 2002). Podobnie jest w przypadku badanych stoków – wraz z długością drogi spływu wody malała erozja z jednostki powierzchni (tab. 2). Jedynie podczas ekstremalnego opadu w okresie badań obserwowano wzrost zmywu gleby wraz z długością stoku Udziejek I.

Nachylenie i długość stoku uwzględnia parametr LS w formule USLE. Obliczone wartości erozji, według powyższej formuły, porównano z wynikami pomiarów (rys. 3). Dla górnych wypukłych fragmentów stoków wartości pomierzone są zbliżone lub nieco większe od obliczonych niezależnie od sposobu użytkowania stoku i rodzaju gruntu. Dla fragmentów wklęsłych natomiast wartości obliczone są wyraźnie mniejsze, przy tym wraz ze wzrostem natężenia erozji różnica między wartościami obliczonymi i pomierzonymi jest większa. Relacje pomiędzy pomierzonymi wartościami erozji gleby i erozyjnością opadów dla 2 analizowanych stoków są wyraźniejsze dla ich wypukłych fragmentów niż wklęsłych (tab. 4). Znaczenie bariery topograficznej nie jest dostatecznie uwzględniane, szczególnie przy ocenie dostawy materiału ze stoków do koryt rzecznych. Spośród analizowanych cykli pomiarów zaledwie podczas kilku bariera topograficzna nie spełniła swojej roli. Podczas zdarzeń ekstremalnych – opa-




RYSUNEK 3. Zależność między obliczonymi wartościami erozji według formuły USLE (a) i pomiarami (b) a erozyjnością opadów R dla wypukłej (A) i wklęsłej (B) części stoku: 1 – stok gliniasto-piaszczysty, 2 – piaszczysty

FIGURE 3. Relations calculated rates of erosion by USLE (a) and measurement loss soil (b) to rainfall erosivity index R for convec (A) and concave (B) part of slope: 1 – loam-sandy slope, 2 – sandy slope

TABELA 4. Zależność pomierzonych wartości erozji gleby od erozyjności opadów (R) dla wypukłych i wklęsłych części stoków

TABLE 4. Dependence of measurement loss soil to rainfall erosivity index (R) for convec and concave part of slope

| Stok i kształt<br>Slope and shape of slope | Funkcja regresji<br>Function of regresion | Współczynnik determinacji<br>$R^2$; $p < 0,05$ |
|---|---|---|
| Udziejek I | | |
| część wypukła | $y = -0,0025x^2 + 0,179x - 0,1206$ | 0,418 |
| część wklęsła | $y = 0,036x^{0,7509}$ | 0,302 |
| Łopuchowo | | |
| część wypukła | $y = 0,0202x^{1,3449}$ | 0,642 |
| część wklęsła | $y = 0,5906x^{0,7895}$ | 0,542 |

dów o częstości występowania raz na kilka lat w ubiegłym dziesięcioleciu, a także przy braku ochronnej roli roślinności w dolnej części stoku, funkcje bariery topograficznej przejmowała roślinność u podstawy stoku – łąka lub naturalna roślinność den dolin i zagłębień. Znaczenie bariery topograficznej i jej rola w transferze zwietrzelin ze stoku wymaga dalszych szczegółowych badań.

Zwrócono również uwagę na relacje między erozyjnością deszczu a pomiarami natężenia erozji gleby. Szczególnie istotnym zagadnieniem jest określenie wartości progowych opadu efektywnego powodującego erozję. Eksperymentalną weryfikację tego wskaźnika dla gleby płowej wytworzonej z lessu, tzw. czarnego ugoru, przedstawiają Rejman i Link (1996). Zwracają uwagę na zbyt wysokie duże progowe przyjęte w formule USLE i za wartość progową opadu erozyjnego przyjmują 5 mm. Na podobne zagadnienie zwraca uwagę Dziurzyński (2000). Na badanych stokach na Pojezierzu Suwalskim często notowano erozję gleby przy braku deszczy erozyj-

nych, według założeń formuły USLE. W przypadku dwóch szczegółowo analizowanych stoków (rys. 3) zmywy gleby występowały na gruntach ornych niezależnie od ich pokrycia (nie prowadzono pomiarów na czarnym ugorze) przy opadzie powyżej 8 mm o natężeniu $I_{30} > 0{,}5$ cm · h$^{-1}$. Zagadnienie to wymaga dalszej szczegółowej analizy.

## Podsumowanie

Cechą charakterystyczną krótkich i niewysokich stoków, o nachyleniu do 9°, podczas opadów o przeciętnym natężeniu była stała erozja górnych wypukłych fragmentów, wynosząca średnio rocznie 24–400 kg · ha$^{-1}$ i wyraźna akumulacja materiału w ich dolnej części, powyżej podstawy, w granicach od 7 kg · ha$^{-1}$ do prawie 12 t · ha$^{-1}$. Stoki o nachyleniu powyżej 9° degradowane były w części górnej i środkowej w granicach 0,3–7 t · ha$^{-1}$. Wklęsłe części stoków pełniły wyraźnie ograniczającą rolę w wynoszeniu materiału poza stok. Stanowiły barierę topograficzną, której działanie uzupełniała roślinność. Przeprowadzone pomiary wskazują, że bariery te należy uwzględniać zarówno przy ocenie erozji stoków, jak i w dostawie materiału ze stoków do koryt rzecznych w obszarach o rzeźbie polodowcowej. Również na zboczu doliny Szeszupy, o jednostajnym nachyleniu, występowała depozycja materiału w jego dolnej i środkowej części.

## Literatura


ABRAHAMS A.D., PARSONS A.D., LUK S.H. 1991: The effect spatial variability in over land flow on the downslope pattern of soil loss on a semiarid hillslope, southern Arizoma. *Catena* 18, 255–270.

BANASIK K., GÓRSKI D. 1990: Wyznaczanie erozyjności deszczy do uniwersalnego równania strat glebowych. *Zeszyty Nauk. AR Wrocław, Melioracja* 34: 103–109.

BANASIK K., GÓRSKI D. 1992: Wykorzystanie uniwersalnego równania strat glebowych USLE do oceny ilości rumowiska unoszonego z małych zlewni. *Gospodarka Wodna* 3: 62–67.

BRYAN R.B. 2000: Soil erodobility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology* 32: 385–415.

BUESELINCK L., GOVERS G., STEEGEN A., HAIRISIME P.B., POESON J. 1999: Evaluation of the simple settling theory for predicting sediment deposition by overland flow. *Earth Surf. Process. Landform* 24: 41–49.

CARSON M.A., KIRBKY M.J. 1972: Hillslope form and process. University Press, Cambridge

CHUDECKI Z., NIEDŹWIECKI E. 1983: Nasilanie się erozji wodnej na obszarach słabo urzeźbionych Pomorza Zachodniego. *Zesz. Problem. Postępu Nauk Roln.* 272, 7–18.

DZIURZYŃSKI T. 2000: Modelowanie erozji wodnej gleb w zlewni nizinnej użytkowanej rolniczo. Praca doktorska. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

FROEHLICH W. 1992: Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich [w:] A. Kostrzewski (red.): Geoekosystem obszarów nizinnych. Kom. Nauk. PAN „Człowiek i środowisko". *Zesz. Nauk.* 6: 171–189.

GERLACH T. 1976: Współczesny rozwój stoków w Polskich Karpatach Fliszowych. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 122.

GIL E. 1999: Obieg wody i spłukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980–1990. *Zeszyty IGiPZ PAN* 60: 1–77.

GIL E., SŁUPIK J. 1972: The influence of the plant coverand land use on the surface runoff and wash down during heavy rain. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.* 6: 181–190.

GOVERS G. 1991: Spatial and temporal variations in splash detachment: a field study. *Catene Supplemen*, 20: 15–24

Hillslope hydrology 1978, (red.) M.J. Kirbky. Willey and Sons, Chichester

JÓZEFACIUK Cz. 1991: Procesy spłukiwania i erozji wąwozowej [w:] L. Starkel (red.): Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. PWN, Warszawa.

KLIMCZAK R. 1992: Pomiary spłukiwania i spływu powierzchniowego na obszarach nizinnych – uwagi metodyczne. *Badania Fizjogr. nad Polską Zach.* 43: 23–45.

KLIMCZAK R. 1993: Spłukiwanie na obszarach o zróżnicowanym użytkowaniu – przebieg i rola we współczesnym środowisku morfogenetycznym (zlewnia Młyńskiego Potoku, Pomorze Zachodnie [w:] A. Kostrzewski (red.): Geoekosystem obszarów nizinnych. Kom. Nauk. PAN „Człowiek i środowisko". *Zesz. Nauk.* 6: 61–77.

LOUGHRAN R.J. 1989: The measurement of soil erosion. *Progress in Physical Geogr.* 13: 217–233.

NIEWIADOMSKI W., SKRODZKI H. 1964: Nasilenie spływów i zmywów z system rolniczego zagospodarowania ziemi. *Zesz. Nauk. WSR w Olsztynie* 17: 2.

PARSONS A., ABRAHAMS A.D., WAINWRIGHT J. 1992: Rainsplash and erosion rates in an interrill area on semi-arid grassland, southern Arizona. *Catena* 22: 215–226.

PARSONS A., STROMBERG S.G., GREENER M. 1998: Sediment transport campetence of rain-impacted interrill overland flow. *Earth Surface Processes and Landform* 23: 365–375.

REJMAN J., LINK M. 1996: Eksperymentalna weryfikacja wskaźnika erozyjności i przewidywanie jego wartości na podstawie opadów dobowych. Ogólnop. Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją". Puławy. *Prace Nauk.* 2: 67–78.

SŁUPIK J. 1981: Zróżnicowanie spływu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich. *Dokum. Geogr.* 142.

SMOLSKA E. 1993: Rola spłukiwania w dostawie materiału do transportu fluwialnego w obszarze młodoglacjalnym (na przykładzie górnej Szeszupy). Wstępne wyniki badań. [w:] A. Kostrzewski (red.): Geoekosystem obszarów nizinnych. Kom. Nauk. PAN „Człowiek i środowisko". *Zesz. Nauk.* 6: 159–165.

SZPIKOWSKI J. 1998: Wielkość i mechanizm erozji wodnej gleb na stokach użytkowanych rolniczo w zlewni młodoglacjalnej (Górna Parsęta, Chwalimski Potok). *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4A: 113–124.

TEISSEYRE A.K. 1994: Spływ stokowy i współczesne osady deluwialne w lessowym rejonie Henrykowa, na Dolnym Śląsku. *Prace Geol.-Mineralogiczne* 53.

UGGLA H. i in. 1998: Problematyka erozji wodnej gleb północno-wschodniej Polski. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B: 179–197.

USOWICZ B., REJMAN J. 2002: Ocena erozji wodnej gleb lessowych w oparciu o pomiary poletkowe [w:] K. Banasik (red.): Erozja gleb i transport rumowiska rzecznego. Materiały Sympozjum Kat. Inż.Wod. i Rek. Śr. SGGW i Wydz. Och. Śr. PWSOŚ. Zakopane.

WIECHMEIER W.H., SMIDTH D.D. 1978: Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservwtion planning. USDA Agricultural HandBook 537, Washington D.C.

ZACHAR D. 1982: Soil erosion. Elsevier Scient. Publ. Company, Amsterdam, Oxford, New York.

## Summary

**Interrill erosion on Suwałki Lakeland and some climatic-topographical conditions of soil redistribution.** In the north-eastern Poland, on the selected slopes was conducted the investigation of soil erosion in 1987–1989 and 1998–1999. The main undertaken tasks were: quantitative examination of interrill erosion and pointing out the erosion and accumulation zones on the slopes.

On convex-concave slopes of the inclination below 9° the most intensive erosion resulting from the sheet wash, occurred on convex parts (0,03–0,4 $t \cdot ha^{-1}$), the deposition zone was situated immediately below the erosion zone, that is in the middle and the lower part of the slope. On the slopes with greater inclination, over 9°, the erosion zone comprised the upper and the middle part of the slope, the middle part, that with greater inclination, being most intensively degraded (the upper fragment of the straight sector (0,3–7 $t \cdot ha^{-1}$). The soil deposition has taken place in the upper concave section of the slope. The concave part of slopes was

topographic barrier – only small part of the transported material set in motion was transferred beyond the slope base. The slope with uniform inclination was characterised by the occurrence of erosion zones in the upper and lower part, in the middle part was situated the accumulation zone. Relationship between rainfall erosivity index R (by USLE) and loss soil show that rains are erosive upon daily rainfall above 8 mm then $I_{30} > 5$ mm per hour.

**Aurhor's address:**
Ewa Smolska
Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
00-927 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 30
Poland

**Tadeusz CIUPA**
Instytut Geografii
Akademia Świętokrzyska im. Jana Kochanowskiego w Kielcach
Institute of Geography
Jan Kochanowski University in Kielce

# Procesy fluwialne w zlewni o wysokim stopniu urbanizacji na przykładzie Kielc
# Fluvial processes in the catchment with high impact of urban area on the Kielce example

**Słowa kluczowe:** zlewnie zurbanizowane, procesy fluwialne, antropogenne przekształcenia odpływu
**Key words:** urban catchments, fluvial processes, anthropogenic runoff transformation

## Wprowadzenie

Obszary zurbanizowane w Polsce zajmują coraz większe powierzchnie. Oznacza to, że rozszerzają się tereny o nieprzepuszczalnych powierzchniach i rozbudowanej sieci drenażowej oraz hydrotechnicznej. Powoduje to zachwianie naturalnych proporcji pomiędzy infiltracją i spływem powierzchniowym, a to z kolei przyspieszenie odpływu powierzchniowego z tych obszarów. Rzeki stanowią bardzo czuły system reagujący na naturalne i antropogeniczne zmiany w zlewni. Charakter użytkowania terenu, a także stan zagospodarowania koryt rzecznych warunkuje i modyfikuje przebieg procesów hydrologicznych oraz fluwialnych (Froehlich 1975, 1982, Świeca 1998). Korytami rzecznymi, a okresowo i dnem doliny, odprowadzana jest energia i materia (woda i rumowisko) z geoekosystemów zlewni rzecznych (Kostrzewski 1993, Kostrzewski i in. 1994). Obszary te pod względem hydrologicznym są stosunkowo dobrze poznane (Jankowski 1986, Dynowska 1988, Dziejowe przemiany... 1996, Absalon 1998, Czaja 1999). Dalszą konsekwencją znacznie przyspieszonego obiegu wody na obszarach zurbanizowanych jest wzrost częstotliwości podwyższonych stanów energetycznych wód płynących, inicjujących i potęgujących procesy erozji, transportu i akumulacji w korytach rzecznych tych terenów.

Systemy korytowe, ich funkcjonowanie i sposób zasilania w transportowany materiał są przedmiotem wielu prac z zakresu geomorfologii fluwialnej (Rachocki 1974, Froehlich 1975, 1982, Biernat 1988, Ciupa 1991, Krzemień 1991, Babiński 1992, Kostrzewski, i in.

1994, Świeca 1998). Prace te dotyczą naturalnych zlewni rzecznych bądź też będących pod wpływem antropopresji rolniczej. Tymczasem w Polsce tereny zurbanizowane, zajmujące coraz to większe powierzchnie, są pod tym względem bardzo słabo poznane, a w literaturze przedmiotu jedynie wskazuje się na niektóre aspekty tego zagadnienia (Ciupa i Biernat 1998, Ciupa 2000, 2001, Trząski i in. 2000).

Celem pracy jest próba poznania wybranych procesów fluwialnych w systemach korytowych rzek Silnicy i Sufragańca przepływających przez tereny zurbanizowane i podmiejskie Kielc.

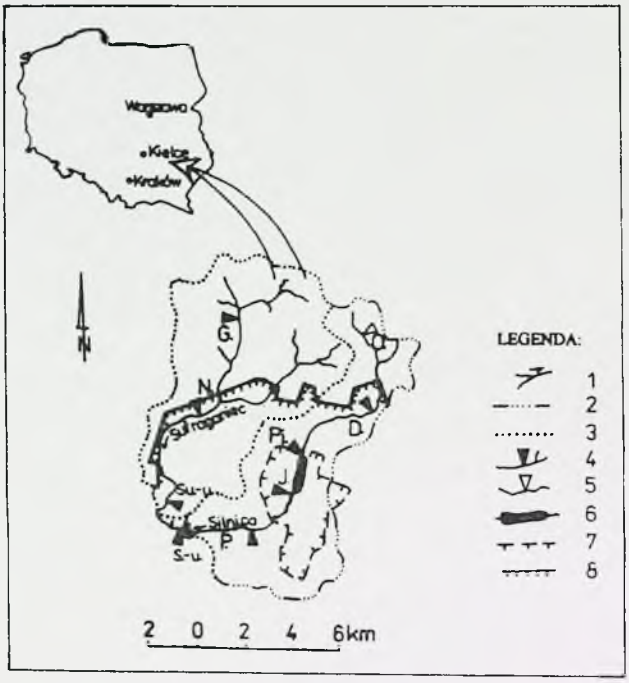
## Metody badań

Do badań porównawczych wybrano położone obok siebie, w strefie miejskiej i podmiejskiej Kielc, dwie zlewnie o podobnej powierzchni, ale różnym użytkowaniu ziemi. Silnica i Sufraganiec są rzekami o charakterze podgórskim, a ich długość wynosi odpowiednio 18,9 i 17,8 km. Powierzchnia zlewni Silnicy wynosi około 50 km$^2$ i jest ona w 40% zurbanizowana. Zlewnia Sufragańca (60 km$^2$) ma charakter rolniczo-leśny, a tereny zurbanizowane stanowią niecałe 7% powierzchni (rys. 1).

W latach 1997–2001 w 8 profilach hydrometrycznych (Silnica – 5, Sufraganiec – 3) prowadzono stacjonarne codzienne pomiary stanów i temperatury wody oraz koncentracji zawiesiny i materiału rozpuszczonego. Badania koncentracji zawiesiny były wykonywane metodą sączkową, a badania koncentracji materiału rozpuszczonego metodą konduktometryczną. Podczas wybranych wezbrań o różnej genezie częstotliwość pomiarów zwiększano od kilku do kilkunastu razy na dobę. Łącznie wykonano około 12 000 pomiarów koncentracji zawiesiny. Jednocześnie w sześciu profilach hydrometrycznych prowadzone były w sezonie letnim (od IV do X) pomiary limnigraficzne, a w czterech pluwiograficzne.

W dziewięciu profilach badawczych (w tym 1 bez stałych obserwacji – zamykający zalesioną górną część zlewni Silnicy) średnio raz na 2–3 tygodnie prowadzono następujące badania: natężenia przepływu, koncentracji zawiesiny, przewodności właściwej wody, stężenia jonów wodorowych pH, temperatury wody i zawartości tlenu. Skład chemiczny wód określano w zakresie następujących oznaczeń: chlorki, siarczany, azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy, azot ogólny, fosforany, fosfor ogólny, twardość ogólna, żelazo ogólne, ChZT, a w 12 seriach określono także zawartość metali ciężkich (chrom, cynk, glin, kadm, miedź, nikiel, ołów, rtęć).

W okresie badań przeprowadzono również trzykrotne kartowanie koryt rzecznych na mapach topograficznych w skali 1:10 000. Kartując, porządkowano informacje terenowe w następujących zespołach tematycznych: koryto, brzegi, terasa zalewowa, zabudowa hydrotechniczna (Kupczyk i in. 1996). W trakcie prac terenowych wykorzystano znane metody kartowania koryt rzecznych (Florek 1978, Zwoliński 1988) i ich klasyfikacji (Krzemień 1999) z pewną modyfikacją do obszarów zurbanizowanych. W celu określenia wartości parametru szorstkości (n – Manninga) w poszczególnych częściach dna doliny przeprowadzono jednocześnie inwentaryzację użytkowania gruntu w strefie przykorytowej.




Objaśnienia/Explanations:
Nazwy posterunków pomiarowych/The measurements sites names
S.-u. – Silnica ujście/Silnica mouth,
Su.-u. – Sufraganiec ujście/Sufraganiec mouth,
O – Obwodnica/circular roadway,
P. – Pakosz, D. – Dąbrowa,
J. – Jesionowa, N. – Niewachlów,
Pi. – Piaski, G. – Grzeszyn.
1 – ciek/stream, 2 – dział wodny IV rzędu/IV range watershed, 3 – dział wodny V rzędu/V range watershed, 4 – wodowskaz obserwacji dobowych/everyday survey water-gauge, 5 – wodowskaz obserwacji okresowych/seasonal survey water-gauge, 6 – zbiornik wodny/storage reservoir, 7 – centrum Kielc/Kielce city, 8 – granica administracyjna miasta Kielce/Kielce administrative border
RYSUNEK 1. Położenie zlewni Silnicy i Sufragańca
FIGURE 1. Location of Silnica and Sufraganiec catchments

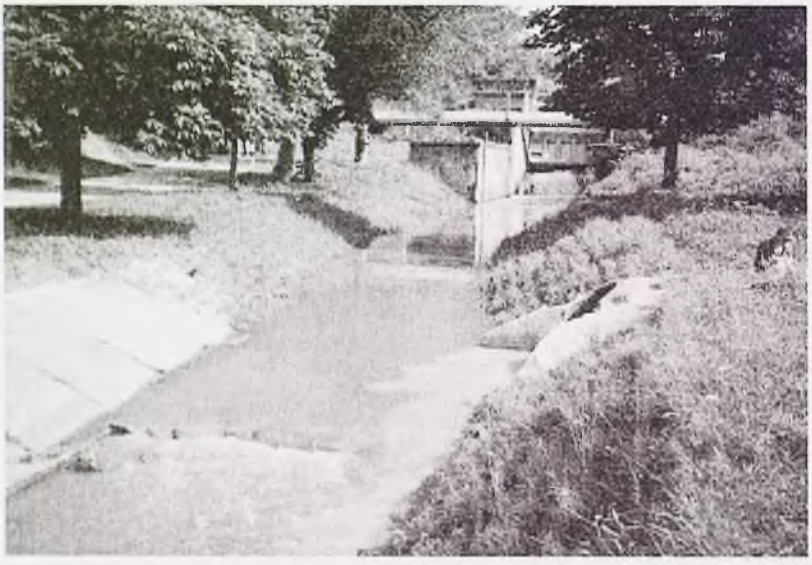
## Wyniki badań

Uzyskane wyniki badań wskazują na zasadnicze różnice w funkcjonowaniu systemu fluwialnego w zlewniach o różnym użytkowaniu i stopniu antropopresji. Różnice te dotyczą zarówno dynamiki, jak i wydajności procesów hydrologicznych oraz fluwialnych. W zlewniach cząstkowych o niewielkiej antropopresji wysokość fal wezbraniowych jest stosunkowo mała, czas reakcji rzeki na opad wydłużony, a zmienność przepływów niewielka. Zupełnie odmienny charakter przepływów obserwuje się w środkowym i dolnym odcinku Silnicy, tj. na obszarze zurbanizowanym. W tej części zlewni przeważają nieprzepusz-

czalne powierzchnie dróg, placów, dachów, które uniemożliwiają infiltrację wód opadowych. Opady deszczu, nawet wysokości 2–3 mm/15 min, powodują natychmiastowy wzrost stanów wody o 15–20 cm. Czas koncentracji fal wezbraniowych (wysokości 1,5–2,5 m) jest na ogół znacznie krótszy od jednej godziny. Jednakże po przejściu fali wezbraniowej stany wody w ciągu od kilku do kilkunastu godzin dość szybko wracają prawie do poprzedniej wysokości, co świadczy o zdecydowanej przewadze zasilania powierzchniowego nad gruntowym. Każdy epizod opadowy znajduje natychmiastowe odzwierciedlenie we wzroście stanów wody w korycie rzecznym. Powoduje to bardzo dużą nieregularność przepływów i prędkości, a także znaczny wzrost ich częstotliwości, co sprawia, że takie odcinki rzeki narażone są na zintensyfikowane oddziaływanie energetyczne wód płynących. To z kolei zdecydowanie zwiększa dynamikę procesów korytowych, a szczególnie transportu fluwialnego. Tak zróżnicowane przepływy i charakter źródeł dostawy zwietrzelin do koryta, zwłaszcza Silnicy, ma swoje odbicie w dynamice i wielkości ładunków transportu fluwialnego, jak również w kształtowaniu geometrii nieumocnionych odcinków koryta. W profilu podłużnym Silnicy występuje znacznie większe zróżnicowanie energetyczne wód płynących niż w profilu rzeki Sufraganiec.

Silnica w swym górnym odcinku przepływa przez tereny zalesione, częściowo podmokłe. Występują tu naturalne procesy i formy korytowe (rys. 2). Rzeka ta poniżej górnego odcinka, aż do Zalewu Kieleckiego, przepływa przez strefę podmiejską i występuje tu fragmentarycznie koryto naturalne i uregulowane. Koryto na odcinkach uregulowanych ma głębokość do 1,5 m, a brzegi miejscami umocnione są płytami betonowymi. W wielu miejscach terasa zalewowa jest nadsypywana przez człowieka i zabudowywana, co powoduje zmniejszanie przekrojów poprzecznych naturalnych obszarów zalewowych, a w konsekwencji wzrost stanów wody w korycie rzeki. Przeważają tu jeszcze jednak odcinki naturalne z piaszczysto-żwirowym dnem, a w przełomie przez Pasmo Szydłówkowskie zwietrzeliny dostarczane są nawet bezpośrednio ze stoku do koryta rzecznego. Silnica wpływając do Zalewu Kieleckiego ($V = 170\ 000\ m^3$), buduje wysuniętą deltę, która w okresie prawie 30 lat funkcjonowania zbiornika osiągnęła długość około 100 m. Tempo jej narastania określa wysokość porastającej roślinności. Rumowisko wleczone w całości jest przechwytywane przez zbiornik wodny, a rumowisko zawiesinowe częściowo. Poniżej Zalewu Kieleckiego, gdzie Silnica przepływa przez centrum Kielc, zmienia się zupełnie charakter jej koryta (rys. 3, 4). Jest ono tu uregulowane, wyprostowane i głęboko wcięte z wysokimi brzegami sztucznie umocnionymi (1,4–3,5 m). Powierzchnia przekrojów poprzecznych jest kilkakrotnie większa, niż byłaby w warunkach naturalnych. Nieproporcjonalnie szerokie koryta, o mało zmiennej geometrii, powodują, że przy niskich stanach woda płynie tu cienką warstwą, co w połączeniu ze słabym zacienieniem doprowadza do tego, że latem w słoneczne dni temperatura wody na tym odcinku jest wyższa nawet o 12–15°C

RYSUNEK 2. Rzeka Silnica w swym górnym biegu (16.8 km). Akumulacja piasków i żwirów na terasie zalewowej naturalnego odcinka koryta rzeki
FIGURE 2. Upper part of the Silnica River. In the woodlands, either in the river bed or river's banks one can see natural processes of erosion, transportation and sedimentation appearing



RYSUNEK 3. Rzeka Silnica poniżej Zalewu Kieleckiego (8,17 km). Uregulowany odcinek koryta rzeki z betonowymi umocnieniami brzegów i kanałem burzowym dostarczającym materiał do transportu fluwialnego
FIGURE 3. Silnica river below the Kielce storage reservoir (8,17 km). Regulated part of the river-bed with concrete outworks and the storm water drain by which materials are delivered to fluvial transport

RYSUNEK. 4. Rzeka Silnica w centrum Kielc (5,92 km). Odcinek koryta rzeki o charakterze tranzytowym przystosowany do wysokich przepływów
FIGURE 4. Silnica in the city of Kielce (5.92 km). Fragment of the bed that plays the role of draining canal during high water stages

niż na odcinkach naturalnych. Progi korekcyjne i betonowe umocnienia brzegów uniemożliwiają w zasadzie występowanie procesów erozyjnych na tym odcinku koryta Silnicy. Uregulowany charakter koryta i duże spadki w profilu podłużnym rzeki nie sprzyjają również występowaniu procesów akumulacji. Koryto Silnicy na 4--kilometrowym odcinku poniżej Zalewu pełni jedynie tranzytową funkcję w transporcie fluwialnym. Wysokie nadbudowane brzegi sprawiają, że dość rzadko dochodzi do wystąpienia wody z brzegów. Licznie występują tu mosty, kładki, jazy, progi korekcyjne, wyloty rur kanalizacji burzowej, rynny powierzchniowego odprowadzania nadmiaru wód itd. (rys. 4). Poniżej centrum Kielc Silnica jest również uregulowana, lecz występują tu umocnienia kamienne, a miejscami i darniowe. Zmniejszenie spadków w profilu podłużnym na tym odcinku oraz przeciążenie rzeki transportowanym materiałem klastycznym, pochodzącym z obszaru centrum Kielc, powoduje bardzo intensywną akumulację śródkorytową i pozakorytową. Materiał ten, szczególnie w sezonie zimowym, spłukiwany jest z posypywanych piaskiem dróg i chodników. Efektem przeciążenia rzeki transportowanym materiałem jest tworzenie się licznych łach śródkorytowych. Łachy te w okresie wegetacyjnym intensywnie porastają roślinnością, przechwytującą w znacznej części transportowany materiał zawiesinowy i wleczony podczas częstych wezbrań i podwyższonych stanów wody. W nieproporcjonalnie szerokim korycie rzecznym łachy przybrzeżne tworzą „wewnątrzkorytową

pseudoterasę zalewową" szerokości 1–3 m i wysokości 0,2–0,5 m, która jest zalewana i nadbudowywana każdorazowo przy podwyższonym stanie wody. Narastanie tych łach w konsekwencji powoduje zmniejszenie przekroju poprzecznego koryta, a to z kolei utrudnia swobodny przepływ wody w korycie rzecznym i wzrost jej stanów (rys. 5). Łachy te okresowo są usuwane (np. w 1998 r.), ale już po upływie roku zaobserwowano ich intensywną odbudowę w tych samych odcinkach koryta rzecznego.

Lokalizacja zbiornika wodnego powyżej centrum miasta, przechwytującego całość rumowiska wleczonego i znaczną część zawiesiny, stwarza bardzo dogodną sytuację do wyciągnięcia wniosku, że transportowany ładunek denny i zawiesinowy prawie w całości pochodzi tu z obszaru centrum miasta. Miasto „produkuje" nieproporcjonalnie duże ładunki materiału rozpuszczonego, zawiesinowego i dennego. Duża gęstość dróg, kanałów burzowych zakrytych i odkrytych stanowi system bardzo szybkiego odprowadzania wody wraz z transportowanymi cząstkami stałymi i materiałem rozpuszczonym. Taki charakter infrastruktury komunalnej zdecydowanie sprzyja nienaturalnemu rozszerzeniu obszaru zasilania rzeki w transportowany materiał (do 65–80% powierzchni całej zlewni). Materiał ten może być transportowany z najbardziej odległych terenów położonych nawet w strefie wododziałowej. Nieprzepuszczalne podłoże sprzyja spływowi powierzchniowemu i zmywom cząstek stałych gromadzonych w okresach bez-

RYSUNEK 5. Rzeka Silnica poniżej centrum Kielc (3,20 km). Akumulacja śródkorytowa jako efekt przeciążenia rzeki materiałem pochodzącym z obszaru miasta
FIGURE 5. Silnica below the center of the city (3.20 km). Accumulation processes in the river bed as a result of the river overcharging with materials washed out from the city

deszczowych. W warunkach naturalnych lub zbliżonych do takich obszar zasilania rzeki w zwietrzeliny ogranicza się do koryta i wąskiej strefy przykorytowej, a w zlewniach o charakterze rolniczo-leśnym powierzchnia ta zwiększa się do kilku procent powierzchni całkowitej.

W ujściowym odcinku Silnicy, gdzie brak jest sztucznych umocnień brzegów, obserwuje się bardzo intensywne procesy erozji bocznej i dennej, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu parametrów geometrycznych koryta, a zatem ich dostosowania do zwiększonej częstotliwości przepływów maksymalnych (rys. 6).

Sufraganiec w swym górnym odcinku ma charakter górskiego potoku. W korycie występują naturalne bystrza i progi, a profile poprzeczne są bardzo zmienne. Na większości odcinków dno jest tu żwirowo-kamieniste, a brzegi mają wysokości od 0,2 do 0,8 m. Na terasach zalewowych występuje kilka systemów starorzeczy. W przeważającej części środkowego odcinka Sufragańca występują naturalne procesy erozji i akumulacji. Zabudowa hydrotechniczna ogranicza się tutaj jedynie do mostów i kładek. Dolny odcinek zaś jest uregulowany, jednakże w odróżnieniu od Silnicy, brzegi wysokości od 1,2 do 2,5 m są umocnione faszyną i darnią. Odcinek ten w transporcie fluwialnym pełni funkcję raczej tranzytową, a naturalne procesy korytowe są tu ograniczone. Nie obserwuje się tutaj również wzmożonej akumulacji transportowanego materiału w postaci łach śródkorytowych jak w przypadku Silnicy.

RYSUNEK 6. Ujściowy odcinek rzeki Silnicy (0,300 km). Intensywne procesy erozji bocznej i dennej w obrębie nieuregulowanego koryta
FIGURE 6. Silnica river near from its mouth (0.300 km). Erosion processes along the banks of the unregulated bed

System fluwialny zlewni Silnicy został zmodyfikowany, m.in. przez wzrost powierzchni nieprzepuszczalnych, rozbudowę sieci drenażowej (kanalizacja burzowa, ulice), zabudowę hydrotechniczną koryt oraz zanik jednych, a pojawienie się innych źródeł zasilania rzeki w transportowany materiał. W konsekwencji przyspiesza to odpływ powierzchniowy i doprowadza do wzrostu energii inicjującej procesy fluwialne oraz skokowo poszerza obszary dostawy zwietrzelin do koryta rzeki. Zmieniają się tu zatem warunki obiegu wody, transportu i sedymentacji oraz źródła dostawy zwietrzelin do koryt. Tak zróżnicowana dynamika przepływów i charakteru źródeł dostawy zwietrzelin do koryta, zwłaszcza Silnicy, ma swoje odbicie w transporcie fluwialnym. Zmienność ta w profilu podłużnym Silnicy jest niespotykana w rzekach przepływających przez obszary naturalne lub zbliżone do takich. Przeciętnie zróżnicowanie koncentracji materiału rozpuszczonego w profilu podłużnym jest pięciokrotne, a w niektórych sytuacjach pomiarowych kilkudziesięciokrotne, zwłaszcza w okresie zimowym, co jest efektem posypywania dróg piaskiem z solą. Koncentracja zawiesiny wykazuje tutaj jeszcze większą dynamikę zmian, a różnice są nieraz kilkusetkrotne. Obserwuje się również odmienność w mechanizmie poszczególnych rodzajów transportu fluwialnego w odcinkach o różnym charakterze. Na przebieg tych procesów w profilu podłużnym Silnicy w istotny sposób wpływa Zalew Kielecki. Zbiornik ten zatrzymuje około 25% transportowanej zawiesiny i około 20% materiału rozpuszczonego. Obserwuje się również wyraźne różnice w mechanizmie transportu fluwialnego na tych odcinkach rzek. Laserowe badania składu mechanicznego zawiesiny w poszczególnych profilach hydrometrycznych wskazują na zasadnicze różnice wskaźników uziarnienia (średniej średnicy, skośności i wysortowania) w różnych fazach wezbrania.

Reżim termiczny badanych rzek jest również bardzo zmieniony w układzie przestrzennym oraz czasowym. Różnice średniej miesięcznej temperatury wody sięgają przeciętnie 3°C na korzyść terenów zurbanizowanych, różnice dobowe zaś osiągają nawet 15°C.

## Podsumowanie

Tereny zurbanizowane zmieniają naturalny system obszarów zasilania, odpływu wody i dostawy materiału do koryt poprzez wzrost powierzchni nieprzepuszczalnych i sieć drenażową, co powoduje przyspieszenie odpływu wezbraniowego i transferu materiału.

Reakcja na opad w zurbanizowanym systemie fluwialnym jest bardzo szybka i wyzwala w krótkim czasie znaczące ilości energii, umożliwiające transfer ładunków materiału i zmiany geometrii koryt.

Zurbanizowane obszary zasilania i dostawy, z hydrologicznego i geomorfologicznego punktu widzenia, są znacznie wydajniejsze niż odpowiadające im potencjalne w warunkach naturalnych.

Gwałtowny wzrost obszarów dostawy materiału w strefach zurbanizowanych znajduje odbicie w tempie sedymentacji facji korytowej i pozakorytowej.

## Literatura


ABSALON D. 1998: Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznego w zlewni Rudy. Wydaw. UŚ. Katowice.

BABIŃSKI Z. 1992: Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN.*

BIERNAT T. 1988: Zróżnicowanie przestrzenne erozji, transportu i sedymentacji w oparciu o badania stacjonarne w Górach Świętokrzyskich. *Kiel. Stud. Geograf.* 4.

BIERNAT T., CIUPA T. 1992: Denudacja mechaniczna i chemiczna we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. W: System denudacyjny Polski (red.) A. Kotarba. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 155: 133–148.

CIUPA T. 1991: Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy. Wydaw. WSP, Kielce.

CIUPA T. 2000: Antropogeniczne uwarunkowania zabudowy i geometrii koryta rzeki Silnicy i Sufragańca w strefie miejskiej Kielc. Geomorfologia gór i wyżyn w Polsce – kontrowersje i nowe spojrzenia. Wólka Milanowska, 16–19.05.2000 r.

CIUPA T. 2001: Funkcjonowanie systemu fluwialnego Silnicy i Sufragańca w strefie miejskiej Kielc. W: Funkcjonowanie geoekosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring – ochrona – edukacja (red.) A. Karczewski, Z. Zwoliński. Poznań.

CIUPA T., BIERNAT T. 1998: Cechy koryt rzecznych w zurbanizowanej zlewni rzeki Silnicy i rolniczo-leśnej zlewni rzeki Sufraganiec. W: Materiały IV Zjazdu Geomorfologów Polskich „Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce – stan aktualny i perspektywy". Lublin 3–6 czerwca 1998, Cz. I. Referaty i komunikaty.

CZAJA S. 1999: Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej). Wydaw. UŚ. Katowice.

DYNOWSKA I. I in., 1988: Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski. *Dok. Geogr.*

Dziejowe przemiany stosunków wodnych na obszarach zurbanizowanych 1996 (red.) A.T. Jankowski, A. Kaniecki. PTG, UM, Poznań-Sosnowiec.

FLOREK E. 1978: Wybrane metody badania współczesnych zmian koryta rzecznego na przykładzie Dolnego Bobru. Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią. XXXI. A. *Geogr. Fizyczna*: 57–78.

FROEHLICH W. 1975: Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 114.

FROEHLICH W. 1982: Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 143.

FROEHLICH W. 1992: Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich. W: System denudacyjny Polski (red.) A. Kotarba. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 155: 171–189.

JANKOWSKI A.T. 1986: Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysławianym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego). Wydaw. UŚ. Katowice.

KOSTRZEWSKI A. 1993: Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. W: Geoekosystem obszarów nizinnych (red.) A. Kostrzewski. *Człowiek i Środowisko*, 6: 11–18.

KOSTRZEWSKI A., MAZUREK M., ZWOLIŃSKI Z. 1994: Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. SGP, Poznań.

KRZEMIEŃ K. 1991: Dynamika wysokogórskiego systemu fluwialnego na przykładzie Tatr Zachodnich. Rozpr. hab. 215. UJ, Kraków.

KRZEMIEŃ K. i in., 1999: River channeles – pattern, structure and dynamics. *Prace Geogr.* 104.

KUPCZYK E., BIERNAT T., CIUPA T. 1998: Przyrodnicze podstawy naturalnej regeneracji rzeki antropogenicznie przekształconej. Konferencja Hydrologiczna „Hydrologia u progu XXI wieku". Mądralin k. Warszawy.

KUPCZYK E., BIERNAT T., CIUPA T., SULIGOWSKI R. 1996: Rozpoznanie morfologii i stanu koryta rzecznego oraz terasy zalewowej w oparciu o przekroje morfologiczne przez doliny i koryta rzek w celu wydzielenia odcinków stabilnych i zmiennych. W: Studium ekohydrologiczne rzek Bobrzy, Silnicy i Sufragańca. Archiwum Urzędu Miasta Kielce.

RACHOCKI A. 1974: Przebieg i natężenie współczesnych procesów rzecznych w korycie Raduni. *Dok. Geogr.* 4.
ŚWIECA A. 1998: Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu. Wydaw. UMCS, Lublin.
TRZĄSKI L., MOLENDA T., KUPKA R. 2000: Renaturyzacja miejskiego potoku – program dla Ślepotki. *Problemy Ekologii* 4, 1.
ZWOLIŃSKI Z. 1988: Metody badań erozji bocznej w korytach rzecznych: przegląd i zastosowanie technik na Parsęcie. Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią, XXXVIII, A. *Geogr. Fizyczna*: 179–212.

## Summary

**Fluvial processes in the catchment with high impact of urban area on the Kielce example.** The aim of the study is evaluation the behavior of river as a fluvial system, in conditions of man- mad stress, particularly in the urbanized landscape. Two neighboring catchments were selected for the study; Silnica and Sufraganiec. The former is influenced by urban facilities, the latter one consists largely of open agricultural spaces and woodland.

The research concerning hydrologic and fluvial processes has confirmed the hypothesis, that the environmental impact and land use patterns are essential factors influencing the fluvial system behavior. They showed to be different in both; the dynamics of runoff and efficiency of fluvial processes.

Intensity of human induced changes in river beds and fluvial processes shows to be proportional to the level of modification in the urbanized landscape. Silnica catchment has been modified mainly due to the growth of paved surfaces and the drainage network development. As a consequence, the surface runoff has been accelerated and the energy of fluvial processes enlarged. The water circulation, transport and sedimentation conditions as well as sources of the waste material delivery have their reflection in fluvial transport processes. As the Sufraganiec catchment remains under agro-forested use, the intensity and efficiency of the fluvial processes are here incomparably weaker.

**Autor's address:**
Tadeusz Ciupa
Akademia Świętokrzyska im. Jana Kochanowskiego
Instytut Geografii
25-406 Kielce, ul. Świętokrzyska 15
Poland

**Helena KAZIEKO**
**Lucyna KAZIEKO**
Katedra Zastosowań Matematyki SGGW
Department of Applied Mathematics WAU

# Określenie funkcji dobiegania wody przy nawadnianiu bruzdowym*
# Calculation of the function of the front of the wave in the furrow strip irrigation

**Słowa kluczowe:** funkcja dobiegania, nawodnienia bruzdowe
**Key words:** function of the front of the wave, furrow strip irrigation

## Wprowadzenie

Celem niniejszych rozważań jest wyznaczenie funkcji dobiegania w nawodnieniu bruzdowym w zależności od przyjętych założeń. Zadanie to sprowadzimy do znalezienia funkcji

$$x = f(t) \tag{1}$$

Analityczne rozwiązanie zależności (1) można otrzymać przy użyciu rachunku operacyjnego (Ditkin i Prudnikow 1965, Tricomi 1957), przyjmując określone postacie jąder.

## Sformułowanie zagadnienia

Jako punkt wyjścia do rozważań przyjmiemy równanie bilansu ruchu wody w bruździe w momencie t [Laktajew 1965]:

$$x'(t) = \frac{q}{\omega} - \frac{a}{\omega}\int_0^t K(t-\tau)x'(\tau)d\tau \tag{2}$$

* Z uwagi na rozbudowane wzory artykuł złożono jednołamowo.

gdzie:
a – szerokość między bruzdami,
x(t) – funkcja dobiegania wody w bruździe,
x′(t) – funkcja prędkości dobiegania wody w bruździe,
$K(t-\tau)=K_{\tau}$ – funkcja prędkości wchłaniania wody przez glebę na elementarnej powierzchni lub na ściance bruzdy, $\tau = t - t_1$,
t – czas nawadniania,
$t_1$ – czas dobiegania wody do punktu kontrolnego,
q – wydatek wody w bruździe,
ω – przekrój strugi wody w czole bruzdy.

Przyjmujemy następujące warunki graniczne:

$$\begin{cases} t=0 \quad x(0)=0 \quad \text{i} \quad x'(0)=\dfrac{q}{\omega}=V_0 \\ t=\infty \quad x(\infty)=\dfrac{q}{aK_{ust}} \quad \text{i} \quad x'(\infty)=0 \end{cases} \tag{3}$$

Po zastosowaniu transformaty Laplace'a i przekształceniach otrzymujemy:

$$f(p)\left(p+\frac{a}{\omega}K(p)\right)=\frac{q}{\omega} \tag{4}$$

gdzie $f(p)=\overline{x}(p)$ i $q=\text{const}$.

Stąd

$$f(p)=\frac{q}{\omega}\frac{1}{p+\dfrac{a}{\omega}K(p)} \tag{5}$$

gdzie:
f(p), K(p) – odpowiednio szukana funkcja i jądro,
p – parametr zespolony.

## Szczególne przypadki rozwiązania

Przeanalizujemy analityczne rozwiązania równania (2), przyjmując jako jądro konkretne postacie funkcji.

**1.** Rozpatrzymy jądro postaci:

$$K_\tau = \frac{K_1}{(t-\tau)^\alpha} \tag{6}$$

gdzie:
$K_1$ – prędkość wsiąkania w końcu pierwszej jednostki czasu,
$\alpha$ – parametr charakteryzujący wodną przepuszczalność gleby; zmienia się od 1 do 4 dla mocno przepuszczalnych gleb, od 3 do 4 zaś dla gleb słaboprzepuszczalnych

W tym przypadku równanie (5) jest postaci:

$$f(p) = \frac{q}{\omega}\cdot\frac{1}{p}\cdot\frac{1}{1-\frac{D\Gamma(-\alpha)}{p^{1-\alpha}}} \tag{7}$$

gdzie:
$\Gamma(1-\alpha)$ – funkcja gamma,

$$D = \frac{\alpha K_1}{\omega}$$

Przy dostatecznie dużych wartościach $p \geq N$ podstawiając:

$$\frac{D\Gamma(1-\alpha)}{p^{1-\alpha}} = \varepsilon \tag{8}$$

oraz ograniczając się do czterech pierwszych wyrazów rozwinięcia funkcji $\frac{1}{1+\varepsilon}$ w szereg potęgowy, otrzymujemy:

$$f(p) \approx \frac{q}{\omega}\cdot\frac{1}{p}\left(1-\varepsilon+\varepsilon^2-\varepsilon^3+\ldots\right) \tag{9}$$

Przechodząc do oryginału, znajdujemy:

$$x = \frac{qt}{\omega}\left\{1-\frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{aK_1}{\omega}t^{1-\alpha}+\left(\frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{aK_1}{\omega}t^{1-\alpha}\right)^2-\left(\frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{aK_1}{\omega}t^{1-\alpha}\right)^3+\ldots\right\} \tag{10}$$

Rozwiązanie równania (10) spełnia wyjściowe równanie bilansu (2) dla małych wartości t. Wyraża ono zależność między długością drogi dobiegania w bruździe i czasem t.

**2.** Analogicznie postępując, można otrzymać rozwiązanie dla jądra, biorąc pod uwagę średnią prędkość wsiąkania. Niech

$$K_{śr} = \frac{K_0}{(t-\tau)^{\alpha}} \tag{11}$$

gdzie $K_0 = \frac{K_1}{1-\alpha}$ – średnia prędkość wsiąkania w początkowej jednostce czasu.

Wówczas otrzymujemy rozwiązanie postaci:

$$x = \frac{qt}{\omega}\left\{1 - \frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{aK_0}{\omega}t^{1-\alpha} + \left(\frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{aK_0}{\omega}t^{1-\alpha}\right)^2 - \left(\frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{aK_0}{\omega}t^{1-\alpha}\right)^3 + \ldots\right\} \tag{12}$$

**3.** Rozpatrzmy jądro postaci:

$$K_\tau = K_1 + K_2 re^{-r(t-\tau)} \tag{13}$$

gdzie:

$K_1$, $K_2$ – parametry fizyczne,

r – współczynnik charakteryzujący zanikanie lub powiększanie się wsiąkania w czasie.

Wówczas

$$f(p) = q\frac{p+r}{p^2 + 2mp + n^2} \tag{14}$$

gdzie

$$\begin{cases} \dfrac{aK_1 + aK_2 r + r}{\omega} = 2m \\ \dfrac{aK_1 r}{\omega} = n^2 \end{cases} \tag{15}$$

Z równania (15) mamy:

$$m = \frac{aK_1 + aK_2 r + r}{2\omega} \tag{16}$$

Przechodząc, do oryginału otrzymujemy:

$$a)\ x = \frac{q\omega}{aK_1}\left[1 - e^{-mt}\cos n_1 t + \frac{1}{n_1}\left(\frac{aK_1}{\omega} - m\right)e^{-mt}\sin n_1 t\right]$$

dla $n^2 - m^2 = n_1^2 > 0$

$$b)\ x = \frac{q\omega}{aK_1}\left[1 - e^{-mt}\cosh\alpha o + \frac{1}{\alpha}\left(\frac{aK_1}{\omega} - m\right)e^{-mt}\sinh\alpha i\right] \qquad (17)$$

dla $m^2 - n^2 = \alpha^2 > 0$

$$c)\ x = \frac{q\omega}{aK_1}\left[1 - e^{-mt}(1 - mt)\right]$$

dla $n^2 - m^2 = 0$

**4.** Rozpatrzmy jądro postaci:

$$K_\tau = K_{ust}\left(1 + \frac{b}{(t-\tau)^\alpha}\right) \qquad (18)$$

gdzie $K_{ust}$ – ustalona prędkość wsiąkania w końcu nawadniania.

Wówczas

$$f(p) = \frac{q}{\omega}\cdot\frac{1}{p}\cdot\frac{p^{1-\alpha}}{p^{1-\alpha}Dp^{-\alpha}...Db\Gamma(1-\alpha)} \qquad (19)$$

Stąd

$$f(p) = \frac{q}{\omega}\cdot\frac{1}{p}\frac{1}{1 + \frac{D}{p} + \frac{A}{p^{1-\alpha}}} \qquad (20)$$

gdzie:

$$A = Db\Gamma(1-\alpha)$$

$$D = \frac{aK_{ust}}{\omega}$$

Dla dostatecznie dużych wartości $p \geq N$ otrzymujemy:

$$f(p) \approx \frac{q}{p}\cdot\frac{1}{p}\left\{1 - \left(\frac{D}{p} + \frac{A}{p^{1-\alpha}}\right) + \left(\frac{D}{p} + \frac{A}{p^{1-\alpha}}\right)^2 - \left(\frac{D}{p} + \frac{A}{p^{1-\alpha}}\right)^3 + ...\right\} \qquad (21)$$

Przechodząc do oryginału, otrzymujemy rozwiązanie postaci:

$$x = \frac{qt}{\omega}\left\{1 - \left[\frac{aK_{ust}}{\omega}\left(1 + \frac{b}{1-\alpha}t^{1-\alpha}\right)\right] + \left[\frac{aK_{ust}}{\omega}\left(1 + \frac{b}{1-\alpha}t^{1-\alpha}\right)\right]^2 + \right.$$
$$\left. - \left[\frac{aK_{ust}}{\omega}\left(1 + \frac{b}{1-\alpha}t^{1-\alpha}\right)\right]^3 + \ldots\right\} \tag{22}$$

**5.** Rozpatrzmy jądro postaci

$$K_t = K_{ust}\left(1 + \frac{b}{\sqrt{t-\tau}}\right) \tag{23}$$

Jest ono szczególnym przypadkiem jądra opisanego wzorem (18) (przyjęto $\alpha = 0{,}5$).

Wówczas

$$f(p) = \frac{q}{\omega} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{p}{p + \alpha\sqrt{p} + \beta} \tag{24}$$

gdzie $\alpha = \dfrac{abK_{ust}\sqrt{\pi}}{\omega}$, $\beta = \dfrac{aK_{ust}}{\omega}$.

Rozwiązanie w oryginale $x = f(t)$ można otrzymać dwoma sposobami:

**a)** pierwszy sposób

Przyjmując we wzorze (22) $\alpha = 0{,}5$, otrzymujemy natychmiast rozwiązanie w postaci:

$$x = \frac{qt}{\omega}\left\{1 - \left[\frac{aK_{ust}}{\omega}\left(1 + 2b\sqrt{t}\right)\right] + \left[\frac{aK_{ust}}{\omega}\left(1 + 2b\sqrt{t}\right)\right]^2 + \right.$$
$$\left. - \left[\frac{aK_{ust}}{\omega}\left(1 + 2b\sqrt{t}\right)\right]^3 + \ldots\right\} \tag{25}$$

**b)** drugi sposób

Przedstawimy mianownik ułamka (24) w postaci dwóch czynników:

$$p + \alpha\sqrt{p} + \beta = \left(\sqrt{p} + \alpha_1\right)\left(\sqrt{p} + \alpha_2\right) \tag{26}$$

Wówczas równanie (24) zapiszemy w postaci:

$$f(p) = \frac{q}{\omega} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\sqrt{p} + \alpha_1} \cdot \frac{p}{\sqrt{p} + \alpha_2} \tag{27}$$

Wówczas rozwiązanie w oryginale (Ditkin i Prudnikow 1965) można zapisać w postaci:

$$x = \frac{q}{\omega} \int_0^t \varphi(\tau) g(t - \tau) d\tau \tag{28}$$

gdzie:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\alpha_1}\left(1 - e^{\alpha_1^2 t} \operatorname{erfc} \alpha_1 \sqrt{t}\right)$$
$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}} - \alpha_2 e^{\alpha_2^2 t} \operatorname{erfc} \alpha_2 \sqrt{t} \tag{29}$$

Rozwiązując analogicznie, można otrzymać rozwiązanie opisujące funkcję dobiegania w oryginale dla następujących jąder.

**6.** Rozpatrzmy jądro postaci:

$$m(\tau) = m_1 (t - \tau)^{1-\alpha} \tag{30}$$

gdzie $m_1 = \frac{K_1}{1 - \alpha}$ – średnia prędkość wsiąkania w początkowej jednostce czasu.

Wówczas otrzymujemy rozwiązanie postaci:

$$x = f(t) = \frac{qt}{\omega}\left\{1 - \frac{1}{1 - \alpha} \cdot \frac{aK_1}{\omega} t^{1-\alpha} + \left(\frac{1}{1 - \alpha} \cdot \frac{aK_1}{\omega} t^{1-\alpha}\right)^2 + \ldots\right\} \tag{31}$$

**7.** Rozpatrzmy jądro postaci

$$m(\tau) = \frac{\alpha}{\beta + 1} (t - \tau)^{\beta+1} \tag{32}$$

gdzie:

$\beta + 1 > 1$

$\alpha$, $\beta$ – współczynniki charakteryzujące własności gruntu.

Wówczas otrzymujemy rozwiązanie postaci:

$$x = f(t) = \frac{qt}{\omega}\left\{1 - \frac{a\alpha}{(\beta+1)\omega}t^{\beta+1} + \left(\frac{a\alpha}{(\beta+1)\omega}t^{\beta+1}\right)^2 - \left(\frac{a\alpha}{(\beta+1)\omega}t^{\beta+1}\right)^3 + \ldots\right\} \tag{33}$$

## Podsumowanie

W zależności od postaci przyjętych jąder otrzymano analityczne rozwiązanie określające funkcję dobiegania wody w nawadnianiu bruzdowym. Może być ono wykorzystane w praktyce.

## Literatura


DITKIN W.A., PRUDNIKOW A.P. 1965: Sprawocznik po operacjonnomu isczisleniju. Moskwa.

LAKTAJEW N.G. 1965: Projekt metodiczeskich ukazanij dla prowedenii polewych opytow po izuczeniju techniki borozdkogo poliwa, kameralnoj obrabotki rezultatow i obosnowanije etich ukazanij. Izd. Nauka, Taszkent.

TRICOMI F.G. 1957: Integral equations. Int. Pub. Inc., New York.


## Summary


**Calculation of the function of the front of the wave in the furrow strip irrigation.** Analytical solution for estimation of function in irrigation system in presented. Infiltration process was described using integral equation and depending on the infiltration function different solutions were obtained.



**Authors' address:**
Helena Kazieko, Lucyna Kazieko
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Zastosowań Matematyki
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

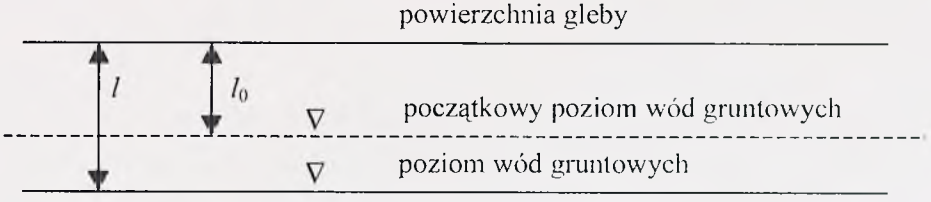
**Helena KAZIEKO**
**Lucyna KAZIEKO**
Katedra Zastosowań Matematyki SGGW
Department of Applied Mathematics WAU

# Dynamika zasolenia warstw gleby przy uwzględnieniu parowania*
# Dynamics of top soil salenization with consideration evaporation

**Słowa kluczowe:** zasolenie, parowanie
**Key words:** salenization, evaporation

## Wprowadzenie

Jeśli zmineralizowane wody gruntowe zalegają niezbyt głęboko, to w wyniku parowania z powierzchni gleby następuje jej wysychanie i podsiąk kapilarny ze strefy pełnego nasycenia, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu zasolenia gleby (rys. 1).




RYSUNEK 1/FIGURE 1

Sformułujemy model opisujący dynamikę zasolenia górnych warstw gleby przy uwzględnieniu parowania.

Intensywność zasilania powierzchni gleby, zależną od wielkości parowania, rodzaju gleby i od głębokości zalegania wód gruntowych ($l$), możemy wyrazić zależnością (Fedorow i Tiszenko 1960):

* Z uwagi na rozbudowane wzory artykuł złożono jednołamowo.

$$l_0 = l - \frac{Wt}{n_0} \tag{1}$$

gdzie:

$l_0$ – początkowa głębokość wód gruntowych,
$l$ – aktualna głębokość wód gruntowych,
W – wydatek wody na jednostkę powierzchni w jednostce czasu,
$n_0$ – uśredniona porowatość gruntu,
t – czas.

## Sformułowanie zagadnienia

Przyjmujemy, że rozpatrywane grunty charakteryzują się jednorodnym zasoleniem i koncentracją ($k_n$) w roztworze glebowym przy nasyceniu gruntu wodą. Proces migracji soli, uwzględniający rozpuszczalność soli w glebie, opisać można następującym równaniem (Werigin 1963):

$$-v\frac{\partial k}{\partial y} + Dn_0\frac{\partial^2 k}{\partial y^2} - \gamma(k_n - k) = n_0\frac{\partial k}{\partial t} \tag{2}$$

gdzie:

k(y,t) – koncentracja soli w wodzie glebowej w punkcie o współrzędnej y w momencie czasu t,
D – współczynnik dyfuzji soli w wodzie glebowej,
$\gamma$ – współczynnik charakteryzujący zmienność zasolenia,
$n_0$ – porowatość gruntu,
v – prędkość filtracji wody.

Prędkość filtracji wody zależy od głębokości i czasu.
W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że

$$v = \varepsilon = \text{const}$$

gdzie $\varepsilon$ – intensywność parowania wody z powierzchni gleby.

Ponadto przyjmujemy, że w początkowym momencie czasu, gdy $t = 0$, $l = l_0$, koncentracja soli w wodzie glebowej jest równa $k_0$, czyli:

$$k(y,0) = k_0 \tag{3}$$

Na powierzchni gleby, tzn. gdy y = 0, przyjmujemy warunek podany przez Brennera (Werigin 1963):

$$vk(0,t) = Dn_0 \frac{\partial k(0,t)}{\partial y} \tag{4}$$

Warunek ten opisuje bilans soli na powierzchni gleby.
Przyjmujemy, że koncentracja soli w wodzie glebowej na głębokości $y = l$ jest znana i równa $k_2$, tzn.:

$$k(l,t) = k_2 \tag{5}$$

## Rozwiązanie zagadnienia

Oznaczmy:

$$u(y,t) = k(y,t) - k_n \tag{6}$$

Wówczas równanie (2) oraz warunki (3), (4), (5) przyjmą postać:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - 2v_1 \frac{\partial u}{\partial y} - \gamma_1 u = \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \tag{7}$$

$$u(y,0) = k_0 - k_n = a \tag{8}$$

$$u(0,t) + k_n = \frac{1}{2v_1} \cdot \frac{\partial u(0,t)}{\partial y} \tag{9}$$

$$u(l,t) = k_2 - k_n = b \tag{10}$$

przy czym

$$2v_1 = \frac{v}{Dn_0}, \quad \gamma_1 = \frac{\gamma}{Dn_0}$$

W celu rozwiązania równania (7) z warunkami (8)–(10) zastosujemy transformatę Laplace'a:

$$\overline{u} = \int_0^\infty u e^{-pt} dt \tag{11}$$

Przekształcone równanie oraz warunki graniczne przyjmą postać:

$$\frac{d^2\bar{u}}{dy^2} - 2v_1\frac{d\bar{u}}{dy} - \left(\gamma - \frac{p}{D}\right)\bar{u} = -\frac{a}{D} \tag{12}$$

$$\bar{u}(0,p) + \frac{k_n}{p} = \frac{1}{2v_1}\cdot\frac{\partial\bar{u}(0,p)}{\partial y} \tag{13}$$

$$\bar{u}(l,p) = \frac{b}{p} \tag{14}$$

Ogólne rozwiązanie równania (12) można przedstawić następująco:

$$\bar{u} = e^{v_1 y}\left[A\cosh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}y + B\sinh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}y\right] + \frac{a}{p + \frac{\gamma}{n_0}} \tag{15}$$

gdzie

$$\alpha = v_1^2 + \gamma_1 = \frac{v^2}{An_0^2D^2} + \frac{\gamma}{Dn_0}$$

Uwzględniając warunki graniczne (13) i (14), obliczamy stale A i B. Otrzymujemy:

$$A = \frac{\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}\left(\frac{b}{p} - \frac{a}{p + \frac{\gamma}{n_0}}\right)e^{-v_1 l} - 2v_1\left(\frac{a}{p + \frac{\gamma}{n_0}} - \frac{k_n}{p}\right)\sinh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}l}{\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}l + v_1\cosh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}l}$$

$$B = \frac{v_1\left(\frac{b}{p} - \frac{a}{p + \frac{\gamma}{n_0}}\right)e^{-v_1 l} - 2v_1\frac{a}{p + \frac{\gamma}{n_0}}\cosh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}l}{\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}l + v_1\sinh\sqrt{\alpha + \frac{p}{D}}l}$$

Podstawiając powyższe wartości A i B do równania (15), otrzymujemy:

$$\bar{u} = e^{v_1 y}\left\{\left(\frac{b}{a} - \frac{a}{p+\frac{r}{n_0}}\right) e^{-v_1 l} \frac{\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,y + v_1 \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,y}{\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l + v_1 \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l} - \right.$$

$$\left. -2v_1\left(\frac{a}{p+\frac{\gamma}{n_0}} - \frac{k_n}{p}\right) \frac{\sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,(l-y)}{\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l + v_1 \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l}\right\} + \frac{a}{p+\frac{\gamma}{n_0}} \tag{16}$$

Przy powrocie do oryginału posługujemy się wzorem określającym stosunek dwóch całkowitych transcendentnych funkcji (Cossar i Erde'lyi 1966]

$$\frac{P(p)}{F(p)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\phi_1(p)+\phi_2(p)}{F(p)} e^{p_n t} \tag{17}$$

gdzie:

$$\begin{cases} \phi_1(p) = \sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,y + v_1 \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,y \\ \phi_2(p) = \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,(l-y) \\ F(p) = \sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l + v_1 \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l \end{cases} \tag{18}$$

$p_n$ – pierwiastki równania,

$$\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\cosh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l + v_1 \sinh\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l = 0 \tag{19}$$

lub

$$\operatorname{tg h}\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l = -\frac{\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}}{v_1}$$

Kładąc

$$\sqrt{\alpha+\frac{p}{D}}\,l=\beta_n$$

znajdujemy

$$p_n=-\frac{D}{l^2}\left(\alpha l^2-\beta_n^2\right),\qquad n=0,1,2,\ldots \tag{20}$$

Pierwiastki równania

$$\operatorname{tg}\beta_n=-\frac{\beta_n}{\beta_l};\qquad p_l=\frac{vl}{2Dn_0}$$

można znaleźć w pracy Doetscha (1970).
Oprócz pierwiastków (20), mianowniki w równaniu (16) mają jeszcze pierwiastki:

$$p=0,\qquad p=-\frac{\gamma}{n_0} \tag{21}$$

Rozkładając równanie (16) na ułamki proste, otrzymujemy:

$$\begin{aligned}u=e^{v_1 y}\Bigg\{&e^{-v_1 l}b\left[\frac{A}{p}+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n e^{-p_n t}}{p-p_n}\right]-e^{-\gamma l}a\left[\frac{Be^{-\frac{\gamma}{n_0}t}}{p+\frac{\gamma}{n_0}}+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n e^{-p_n t}}{p-p_n}\right]+\\&+2v_1\left[k_n\left(\frac{D}{p}+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{D_n e^{-p_n t}}{p-p_n}\right)+a\left(\frac{Ee^{-\frac{\gamma}{n_0}t}}{p+\frac{\gamma}{n_0}}+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{E_n e^{-p_n t}}{p-p_n}\right)\right]\Bigg\}+ae^{-\frac{\gamma}{n_0}t}\end{aligned} \tag{22}$$

Znajdujemy współczynniki rozkładu na ułamki proste:

$$A=\left.\frac{p\phi_1(p)}{F(p)}\right|_{p=0}=\frac{\sqrt{p_c^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_c^2+p_\tau}\,\bar{y}+p_c\sinh\sqrt{p_c^2+p_\tau}\,\bar{y}}{\sqrt{p_c^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_c^2+p_\tau}+p_c\sinh\sqrt{p_c^2+p_\tau}}$$

$$A_n=\left.\frac{\phi_1(p)}{pF(p)}\right|_{p=p_n}=-\frac{2\beta_n}{p_c^2+p_\tau+\beta_n^2}\,\frac{\beta_n\cos\beta_n\bar{y}+p_c\sin\beta_n\bar{y}}{(1-p_c)\cos\beta_n+\beta_n\sin\beta_n}$$

$$B = \left.\frac{\left(p+\frac{\gamma}{n_0}\right)\phi_1(p)}{F(p)}\right|_{p=-\frac{\gamma}{n_0}} = \frac{\cosh p_e \bar{y} + \sinh p_e \bar{y}}{\cosh p_e + \sinh p_e}$$

$$B_n = \left.\frac{\phi_1(p)}{\left(p+\frac{\gamma}{n_0}\right)F(p)}\right|_{p=p_n} = \frac{-2\beta_n}{p_e^2+\beta_n^2}\,\frac{\beta_n \cos\beta_n y + p\sin\beta_n \bar{y}}{(1+p_e)\cos\beta_n + \beta_n \sin\beta_n}$$

$$D = \left.\frac{\phi_2(p)}{pF(p)}\right|_{p=0} = \frac{l\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,(1-\bar{y})}{\sqrt{p_e^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_e^2+p_\tau}+p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}}$$

$$D_n = \left.\frac{\phi_2(p)}{pF(p)}\right|_{p=p_n} = -\frac{2\beta_n l}{p_e^2+p_\tau+\beta_n^2}\,\frac{\sin\beta_n(1-y)}{(1+p_e)\cos\beta_n+\beta_n\sin\beta_n}$$

$$E = \left.\frac{\left(p+\frac{\gamma}{n_0}\right)\phi_2(p)}{F(p)}\right|_{p=-\frac{\gamma}{n_0}} = \frac{l\sinh p_e(1-\bar{y})}{v(\cosh p_e+\sinh p_e)}$$

$$E_n = \left.\frac{\phi_2(p)}{\left(p+\frac{\gamma}{n_0}\right)F(p)}\right|_{p=p_n} = -\frac{2\beta_n l}{p_e^2\beta_n^2}\,\frac{\sin\beta_n(1-\bar{y})}{(1+p_e)\cos\beta_n+\beta_n\sin\beta_n}$$

gdzie:

$$p_e = \frac{vl}{2Dn_0}$$

$$p_\tau = \frac{rl^2}{2Dn_0}$$

$$F_0 = \frac{Dn_0(l_0 - l)}{Wl^2} = \frac{Dt}{l^2}$$

$$\bar{y} = \frac{y}{l}$$

Podstawiając do równania (22) wartości znalezionych współczynników i dokonując prostych przekształceń, otrzymujemy:

$$\bar{k} = e^{p_e\bar{y}}\left\{\frac{\left(\sqrt{p_e^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,\bar{y} + p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,\bar{y}\right)\bar{b}e^{-p_e} + 2p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,(1-\bar{y})}{\sqrt{p_e^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_e^2+p_\tau} + p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}} + \right.$$

$$- \frac{(\cosh p_e\bar{y} + \sinh p_e\bar{y})e^{-p_e} - 2\sinh p_e(1-\bar{y})}{\cosh p_e + \sinh p_e}\bar{a}e^{-\bar{\gamma}} +$$

$$- 2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\beta_n}{p_e^2+p_\tau+\beta_n^2}\,\frac{\bar{b}e^{-p_e}(\beta_n\cos\beta_n\bar{y} + p_e\sin\beta_n\bar{y})e^{-(p_e^2+p_\tau+\beta_n^2)F_0} - 2p_e\sin\beta_n(1-\bar{y})e^{-(p_e^2+\beta_n^2)F_0}}{\cosh p_e + \sinh p_e} +$$

$$\left. + 2\bar{a}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\beta_n^2}{p_e^2+\beta_n^2}e^{-p_e}\,\frac{(\beta_n\cos\beta_n\bar{y} + p_e\sin\beta_n\bar{y})e^{-(p_e^2+\beta_n^2)F_0} - 2p_e\sin\beta_n(1-\bar{y})e^{-(p_e^2+\beta_n^2)F_0}}{(1+p_e)\cos\beta_n + \beta_n\sin\beta_n}\right\} - ae^{-\bar{\gamma}} \tag{23}$$

gdzie: $\bar{k} = \frac{k-k_n}{k_n}$, $\bar{a} = \frac{k_0-k_n}{k_n}$, $\bar{b} = \frac{k_2-k_n}{k_n}$, $\bar{\gamma} = \frac{\gamma t}{n_0} = \frac{\gamma(l-l_0)}{W}$

Przyjmiemy, że migracja soli w górnych warstwach jest ustalona ($F_0 \to \infty$ i $\gamma \to \infty$). Wówczas dynamikę roztworów solnych w wodzie glebowej można określić następująco:

$$\bar{k} = \bar{a} + \left[\frac{\left(\sqrt{p_e^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,\bar{y} + p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,\bar{y}\right)\bar{b}e^{-p_e} + 2p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}\,(1-\bar{y})}{\sqrt{p_e^2+p_\tau}\cosh\sqrt{p_e^2+p_\tau} + p_e\sinh\sqrt{p_e^2+p_\tau}}\right]e^{p_e\bar{y}} \tag{24}$$

Kładąc $p_\tau = 0$, tzn. przyjmując, że sole w wodzie glebowej są w pełni rozpuszczone ($\gamma = 0$), otrzymujemy:

$$\bar{k} = \bar{a} + \frac{(\cosh p_e\bar{y} + \sinh p_e\bar{y})\bar{b}e^{-p_e} + 2\sinh p_e(1-\bar{y})}{\cosh p_e + \sinh p_e}e^{p_e\bar{y}} \tag{25}$$

## Dyskusja wyników

Wzory (23), (24), (25) określają koncentrację soli w wodzie glebowej w różnych momentach czasu t.

Jeśli przyjmiemy, że sole w wodzie glebowej w pełni rozpuściły się, to kładąc $\bar{\gamma} = 0$, $p_\tau = 0$, wzór (23) przyjmie postać:

$$\bar{k} = e^{p_e \bar{y}} \left\{ \frac{\cosh p_e \bar{y} + \sinh p_e \bar{y}(\bar{b} - \bar{a}) e^{-p_e} + 2(\bar{a} + p_e)\sinh p_e (1 - \bar{y})}{\cosh p_e + \sinh p_e} + \right.$$

$$\left. - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n}{p_e^2 + \beta_n^2} \cdot \frac{(\beta_n \cos \beta_n \bar{y} + p_e \sin \beta_n \bar{y})(\bar{b} - \bar{a}) e^{-p_e} - 2p_e (1 - \bar{a}) \sin \beta_n (1 - \bar{y}) e^{-(p_e^2 + \beta_n^2) F_0}}{\cosh p_e + \sinh p_e} \right\} + \bar{a} \tag{26}$$

Wzór (26) pozwala określić mineralizację wody glebowej w różnych momentach czasu t. Przyjmując, że migracja soli jest ustalona ($F_0 \to \infty$) ze wzoru (26), mamy:

$$\bar{k} = e^{p_e \bar{y}} \frac{(\cosh p_e \bar{y} + \sinh p_e \bar{y})(\bar{b} - \bar{a}) e^{-p_e} + 2(\bar{a} + p_e)\sinh p_e (1 - \bar{y})}{\cosh p_e + \sinh p_e} \tag{27}$$

Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane do obliczeń melioracyjnych.

## Literatura


COSSAR J., ERDE'LYI A. 1966: Dictionary of Laplace transforms. London.

DOETSCH G. 1970: Handbuch der Laplace-Transformation. Band 1. Barel.

FEDOROW B.W., TISZENKO G.A. 1960: K woprosu o peredwiżenii wlagi i solej k drenam w usłowijach woschodiaszczego napornogo dwiżenija gruntowych wod. Uzd. AN USRT.

WERIGIN N.N. 1963: Nekotoryje woprosy chimiczeskoj gidrodinamiki. Uzd. AN SSSR.


## Summary


**Dynamics of top soil salenization with consideration evaporation.** Analytical model of top soil salenization with taken into account evaporation is proposed. Mathematical solution of this problem allow to determine an sald concentration in soil water.



**Authors' address:**
Helena Kazicko, Lucyna Kazicko
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Zastosowań Matematyki
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

**Janusz KUBRAK**[1], **Michał SZYDŁOWSKI**[2]

[1]Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU
[2]Katedra Hydrauliki i Hydrologii Politechniki Gdańskiej
Department of Hydraulics and Hydrology Technical University of Gdańsk

# Zastosowanie parametrycznych modeli do określenia parametrów wyrwy w zaporze ziemnej
# Parametric models application for prediction of earth dam breach parameters

**Słowa kluczowe:** prognozowanie parametrów wyrwy w zaporze
**Key words:** predicting dam breach parameters

## Wprowadzenie

Zasadniczym elementem prognozy hydraulicznych skutków awarii zapory jest określenie najbardziej prawdopodobnej przyczyny uszkodzenia zapory ziemnej, wywołującej niekontrolowane opróżnianie zbiornika. W praktyce oznacza to poprzedzenie takich prognoz opisem procesu powstawania wyrwy, tzn. jej początkowego kształtu, głębokości oraz czasu tworzenia się wyrwy. Znajomość tych elementów jest niezbędna do powiązania przebiegu opróżniania zbiornika z procesem formowania się wyrwy. Wymienione parametry wyrwy powstałej w zaporze ziemnej wpływają także na warunki przejścia fali spiętrzenia w dolinie poniżej zapory. W czasie tworzenia się wyrwy gwałtownie rośnie natężenie wypływu przez wyrwę. Przemieszczanie się fali spiętrzenia w dolinie charakteryzuje się czasem dojścia fali, zmiennością natężenia przepływu i odpowiadających im stanów w czasie trwania opróżniania zbiornika. Charakterystyki fali spiętrzenia w dolinie poniżej zapory określa się, rozwiązując najczęściej jedno- lub dwuwymiarowe równania nieustalonego przepływu wody dla zadanego hydrogramu wypływu ze zbiornika (Kubrak 1989, Szydłowski 1998).

W literaturze opisywane są różne metody prognozy parametrów wyrwy tworzącej się w zaporze ziemnej, czasu jej tworzenia się i hydrogramów wypływu przez wyrwę. Biuro Inżynierów Amerykańskich – U.S. Bureau of Reclamation (1988) – wyróżnia cztery metody opisu tworzenia się wyrwy w zaporach ziemnych:

1. Metody deterministyczne, które opisują proces tworzenia się wyrwy w zaporze na podstawie hydrauliki przepływu wody i rumowiska oraz mechaniki gruntów. Bliższe omó-

wienie modeli matematycznych stosowanych do prognozowania rozmywania zapory znaleźć można w pracy Wurbsa (1987), Kubraka (1989), Wahla (1998).

2. Metody parametryczne, które wykorzystują udokumentowane informacje ze studiów dotychczasowych awarii zapór ziemnych. Na ich podstawie wyprowadza się ogólne zależności statystyczne dla szerokości wyrwy i czasu jej tworzenia się. Obliczenia natężenia wypływu przez wyrwę prowadzi się dalej zgodnie z zasadami hydrauliki, wykorzystując określone rozmiary wyrwy, czas jej tworzenia się i założenie o liniowym wzroście wyrwy w czasie.
3. Zależności prognostyczne, które rezygnują z określenia parametrów wyrwy, lecz umożliwiają wyznaczenie maksymalnego natężenia wypływu przez wyrwę na podstawie zależności wyprowadzonych dla udokumentowanych opisów zaistniałych katastrof oraz odtworzonych hydrogramów wypływu.
4. Analizy porównawcze, w których niezbędne parametry wyrwy i maksymalne natężenie wypływu przez wyrwę są wyznaczane na podstawie analizy porównawczej informacji z katastrofy zapory o konstrukcji zbliżonej do rozważanej.

Trzy ostanie metody są stosunkowo proste, lecz zakres ich stosowania jest wciąż ograniczony ze względu na stosunkowo niewielką liczebność zbioru dostatecznie dobrze udokumentowanych przypadków katastrof. W zasadzie istnieje zaledwie kilka przypadków opisanych katastrof wysokich zapór o dużej objętości zbiorników (Wahl 1998). Z tego względu nie jest możliwe stosowanie w szerokim zakresie zależności prognostycznych czy analizy porównawczej do prognozy hydrogramów wypływu ze zbiornika. Dlatego też stosunkowo często wykorzystuje się parametryczne metody opisu wyrwy i czasu jej tworzenia się, traktując podawane zależności jako uniwersalne.

Czas liczony od zaistnienia takiego wypływu wody przez zaporę, którego żadne przedsięwzięcia nie są w stanie powstrzymać, do chwili uformowania się ostatecznego kształtu wyrwy jest parametrem krytycznym, wpływającym na kształt i wartości hydrogramu wypływu przez wyrwę. W tym czasie gwałtownie rośnie natężenie wypływu przez wyrwę. Spośród przedsięwzięć takich, jak właściwe przygotowanie planów ewakuacji czy zaprojektowania systemów ostrzegania, jako najistotniejsze wymienia się poprawne oszacowanie czasu formowania się wyrwy (Wahl 1998), gdyż wpływa on bezpośrednio na liczbę ofiar każdej katastrofy zapory. Z tego względu szczególnego znaczenia nabiera określenie całkowitego czasu formowania się wyrwy. W pracy porównano wartości szerokości i czas tworzenia się wyrw wyznaczone z zależności parametrycznych podawanych w literaturze.

## Parametryczne metody opisu

Obszerny przegląd zależności stosowanych w parametrycznych metodach opisu wyrw w zaporach ziemnych podał Wahl (1998). W tabeli 1 zestawiono zależności do określania parametrów wyrw w zaporach ziemnych wyprowadzone z udokumentowanych katastrof zapór.

TABELA 1. Zależności opisujące parametry wyrw w zaporach ziemnych
TABLE 1. Relations estimated earth dam breach parameters

| Autor<br>Author | Szerokość wyrwy [m]<br>Breach width | Czas tworzenia się wyrwy [h]<br>Failure time |
|---|---|---|
| USBR (1988) | $B = 3h_w$ | $t_f = 0{,}11B$ |
| MacDonald i Langridge-Monopolis (1984) | szerokość obliczana na podstawie objętości wyerodowanego z wyrwy materiału ($V_{er}$)<br>$V_{er} = 0{,}0261(V_w h_w)^{0{,}769}$<br>(grunty sypkie)<br>$V_{er} = 0{,}00348(V_w h_w)^{0{,}852}$<br>(grunty niesypkie) | $t_f = 0{,}0179 V_{er}^{0{,}364}$ |
| von Thun i Gillette (1990) | $B = 2{,}5h_w + C$<br>$C$ – parametr określany w funkcji pojemności zbiornika | $t_f = 0{,}015h_w$ (I)<br>wysoka podatność zapory na erozję<br>$t_f = 0{,}020h_w + 0{,}25$<br>odporność zapory na erozję |
| | | $t_f = B/(4h_w)$ (II)<br>wysoka podatność zapory na erozję<br>$t_f = B/(4h_w + 61)$<br>odporność zapory na erozję |
| Froehlich (1995) | $B = 0{,}1803 K V_w^{0{,}32} h_b^{0{,}19}$<br>$K = 1{,}4$ dla przelania wody nad koroną zapory,<br>$K = 1{,}0$ dla przebicia hydraulicznego. | $t_f = 0{,}00254 V_w^{0{,}53} h_b^{-0{,}9}$ |

Objaśnienia/Explanations:
$B$ – szerokość wyrwy/average breach width,
$C$ – współczynnik zmieniający swą wartość w granicach od 6.1 m do 54.9 m w zależności od pojemności zbiornika/offset factor in the Von Thun and Gillette breach equation, varies from 6.1 m to 54.9 m as a function of reservoir storage,
$h_w$ – wzniesienie zwierciadła wody nad poziomem posadowienia w chwili awarii/depth of water above breach invert at time of failure,
$V_w$ – objętość wody zgromadzonej w zbiorniku w chwili awarii/volume of water above breach invert at time of failure.

Wartości parametru $C$ w funkcji pojemności zbiornika zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Wartości parametru $C$ w funkcji pojemności zbiornika
TABLE 2. Values of $C$ parameter as a function of reservoir storage

| Pojemność zbiornika [m$^3$]<br>Reservoir storage | Wartości $C$ [m]<br>Values of $C$ |
|---|---|
| $< 1{,}23 \cdot 10^6$ | 6,1 |
| $1{,}23 \cdot 10^6 - 6{,}17 \cdot 10^6$ | 18,3 |
| $6{,}17 \cdot 10^6 - 1{,}23 \cdot 10^7$ | 42,7 |
| $> 1{,}23 \cdot 10^7$ | 54,9 |

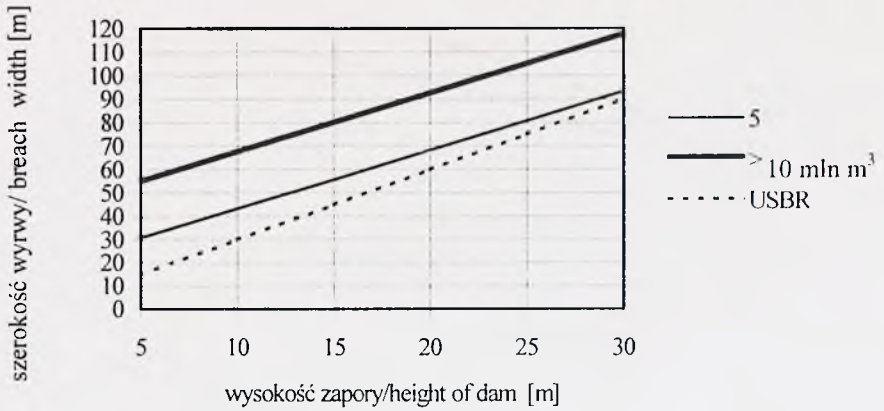
## Oszacowane wartości parametrów wyrwy

Obliczenia wartości parametrów wyrwy przeprowadzono, zakładając pojemność zbiornika równą 5, 10, 15, 20 i 25 mln $m^3$ oraz wysokość zapory odpowiednio równą 5, 10, 15, 20, 25 i 30 m. Przyjęto, że wskutek przelania się wody nad koroną zapory z gruntów sypkich utworzy się wyrwa sięgająca poziomu posadowienia zapory.

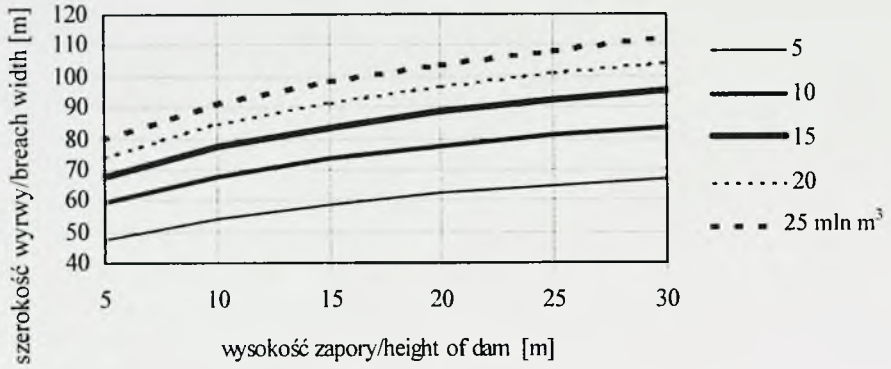
Na rysunku 1 pokazano średnie szerokości wyrwy obliczone z zależności podanej przez von Thun i Gillette (1990) i USBR (1988) dla zapór o pojemności zbiornika 5 mln $m^3$ i większej od 10 mln $m^3$, a na rysunku 2 wartości obliczone z zależności podanej przez Froehlicha (1995).

Szerokości wyrwy obliczane z zależności Froehlicha (1995) są zdecydowanie większe od obliczonych z zależności von Thun i Gillette (1990) dla niskich zapór. Różnice obliczonych szerokości wyrwy zmniejszają się wraz ze wzrostem wysokości zapory. Najmniejsze wartości szerokości wyrwy otrzymuje się z zależności USBR (1988). Zrezygnowano z wykorzystania zależności MacDonalda i Langridge-Monopolisa (1984) do prognozowania szerokości wyrwy w zaporze, ze względu na konieczność określenia przekroju poprzecznego zapory, a więc szerokości korony i nachylenia skarp. Wykorzystano tę zależność bezpośrednio do oszacowania czasu tworzenia się wyrwy.

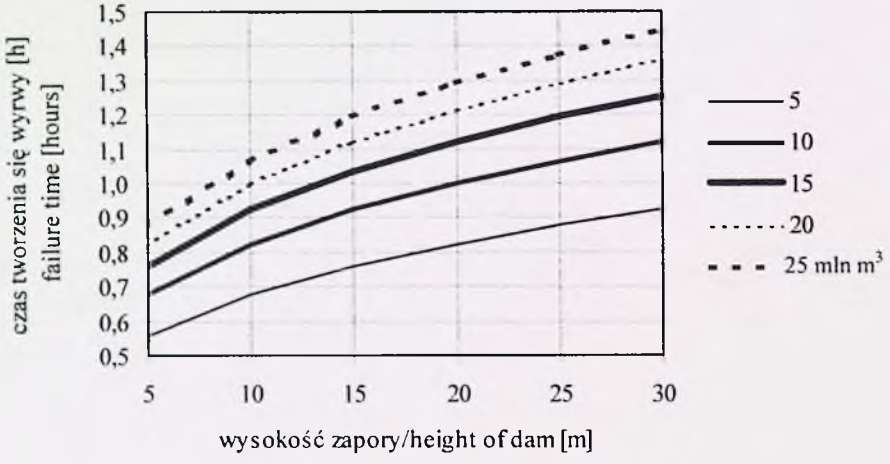
Na rysunku 3 pokazano wyznaczony czas tworzenia się wyrwy w zaporach ziemnych z gruntów sypkich wyznaczony z zależności MacDonalda i Langridge-Monopolisa (1984). Na rysunku 4 przedstawiono obliczony czas tworzenia się wyrwy w zaporach ziemnych z zależności Froehlicha (1995), a na rysunku 5 z zależności USBR (1988)



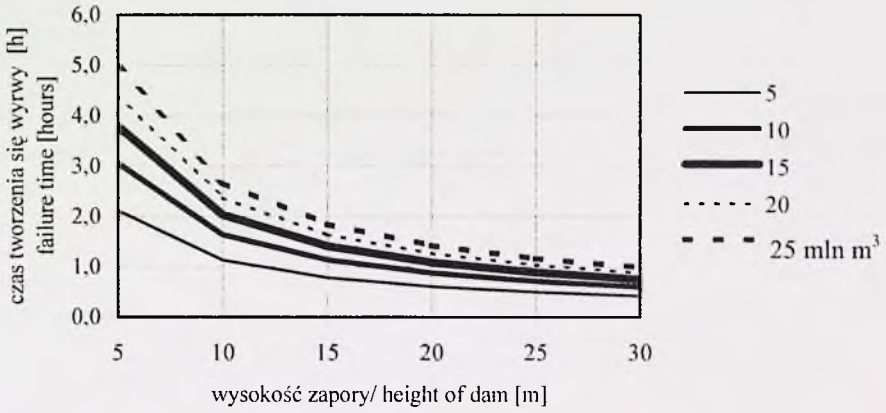

RYSUNEK 1. Wpływ wysokości zapory i objętości zbiornika na szerokość wyrwy obliczanej z zależności podanych przez von Thun i Gillette (1990) oraz USBR (1988)
FIGURE 1. Predicted breach width using von Thun i Gillette (1990) and USBR (1988) relations as a function of height of dam and reservoir storage



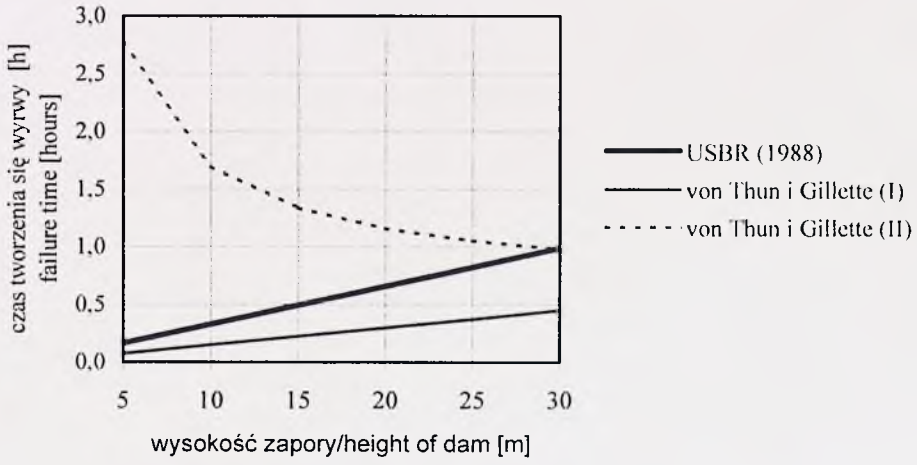

RYSUNEK 2. Wpływ wysokości zapory i objętości zbiornika na szerokość wyrwy obliczanej z zależności podanej przez Froehlicha (1995)
FIGURE 2. Predicted breach width using Froehlicha (1995) relation as a function of height of dam and reservoir storage




RYSUNEK 3. Wpływ wysokości zapory ziemnej i objętości zbiornika na czas tworzenia się wyrwy obliczany z zależności MacDonalda i Langridge-Monopolis (1984)
FIGURE 3. Predicted time failures using MacDonalda i Langridge-Monopolis (1984) relation as a function of height of dam and reservoir storage




RYSUNEK 4. Wpływ wysokości zapory ziemnej i objętości zbiornika na czas tworzenia się wyrwy obliczany z zależności Froehlicha (1995)
FIGURE 4. Predicted time failures using Froehlicha (1995) relation as a function of height of earth dam and reservoir storage




RYSUNEK 5. Wpływ wysokości zapory ziemnej i objętości zbiornika na czas tworzenia się wyrwy obliczany z zależności USBR (1988) oraz von Thun Gillette (1990)
FIGURE 5. Predicted time failures using USBR (1988) and von Thun Gillette (1990) relations as a function of height of dam and reservoir storage

oraz z zależności von Thun i Gillette (1990). Jak wynika z rysunku 3, czas tworzenia się wyrwy w zaporze ziemnej wydłuża się razem z objętością zbiornika i wzrostem wysokości zapory. Natomiast według zależności Froehlicha, czas tworzenia się wyrwy w zaporze ziemnej wydłuża się wraz ze wzrostem pojemności zbiornika, lecz skraca się ze wzrostem wysokości zapory. Podobny charakter zmian wykazuje czas tworzenia się wyrwy obliczany z zależności (II) von Thun i Gillette (1990). Z kolei czas tworzenia się wyrwy obliczany z zależności USBR (1988) i zależności (I) podanej przez von Thun i Gillette (1990) wyraża charakter zmian, jak na rysunku 3.

## Hydrogramy wypływu przez wyrwę

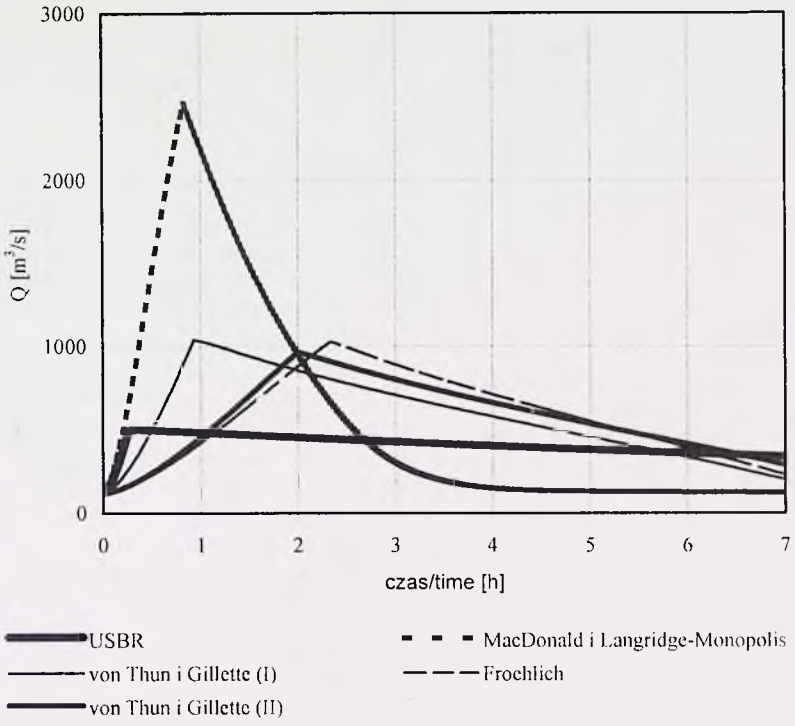
W celu zilustrowania, jak wyznaczone metodą parametryczną wielkości wyrwy wpływają na hydrogramy opróżniania zbiornika, dokonano przykładowych obliczeń dla zbiornika o pojemności 13 mln $m^3$. Założono: wysokość zapory z gruntów sypkich 8 m, pochylenie skarpy odwodnej 1 : 1,5 oraz pochylenie skarpy odpowietrznej 1 : 2. Szerokość korony zapory wynosiła 12 metrów. Wyrwa powstała wskutek przelania się wody nad koroną zapory. Obliczone parametry wyrwy i czasu jej tworzenia się przedstawiono w tabeli 3.

W celu wyznaczenia hydrogramów wypływu przez wyrwę rozwiązywano w obszarze zbiornika jednowymiarowe równania nieustalonego przepływu w założeniu liniowego obniżania się wyrwy w czasie (Kubrak 1989). Zbiornik opisano 8 przekrojami poprzecznymi. Obliczone w ten sposób hydrogramy wypływu ze zbiornika pokazano na rysunku 6.

Jak wynika z rysunku 6, bardzo zbliżone hydrogramy wypływu ze zbiornika otrzymano, stosując zależność Froehlicha oraz von Thun i Gillette (II). Z kolei z zależności MacDonalda i Langridge-Monopolisa oraz von Thun i Gillette (I) otrzymano bardzo zbliżony czas tworzenia się wyrwy, lecz istotnie różniące się szerokości wyrwy. Najkrótszy czas tworzenia się wyrwy otrzymano z zależności USBR.

TABELA 3. Parametry wyrwy w zaporze ziemnej obliczone metodą parametryczną
TABLE 3. The predicted earth dam breach parameters after parametric models

| Autor<br>Author | Szerokość wyrwy<br>Breach width | Czas tworzenia się wyrwy<br>Failure time |
|---|---|---|
| USBR (1988) | $B = 8$ m | $t_f = 0{,}26$ h |
| MacDonald i Langridge-Monopolis (1984) | $V_{er} = 39\,036$ $m^3$ (grunty sypkie)<br>$B = 212$ m | $t_f = 0{,}84$ h |
| von Thun i Gillette (1990) | $B = 62{,}7$ m | $t_f = 0{,}94$ h (I)<br>wysoka podatność zapory na erozję |
| | | $t_f = 1{,}96$ h (II)<br>wysoka podatność zapory na erozję |
| Froehlich (1995) | $B = 71{,}5$ m<br>(dla przelania wody nad koroną zapory) | $t_f = 2{,}34$ h |




RYSUNEK 6. Obliczone hydrogramy wypływu ze zbiornika dla parametrów wyrw oszacowanych metodą parametryczną
FIGURE 6. The predicted hydrograph for dam breach outflow obtained for breach and the filure time calculated after parametric models

## Podsumowanie

Charakterystyki wyrw w zaporach ziemnych otrzymywane z zależności parametrycznych różnią się istotnie między sobą. Różnice te są szczególnie widoczne po przeprowadzeniu obliczeń prognostycznych hydrogramu opróżniania zbiornika. Jak wynika z rysunku 6, fale spiętrzenia w dolinie poniżej zapór, wyznaczone dla parametrów wyrw obliczonych zależnościami Froehlicha oraz von Thun i Gillette (I), (II), będą miały zbliżone wartości ekstremalne stanów i przepływów. Różnice będą dotyczyły czasu ich wystąpienia oraz czasu dojścia fali. Najszybciej pojawi się czoło fali spiętrzenia w dolinie przy obliczeniach opartych na parametrach wyrwy określonych zależnością USBR. Zdecydowanie największe wartości rzędnych wody fali spiętrzenia i natężeń przepływu wystąpią przy wykorzystaniu zależności MacDonalda i Langridge-Monopolisa do wyznaczania parametrów wyrwy.

**Adnotacje**

Artykuł powstał w ramach projektu badawczego 6P06S 041 21 finansowanego przez KBN.

## Literatura

FROEHLICH D.C., 1995: Embankment Dam Breach Parameters Revisited. Water Resources Engineering, ASCE Conference, San Antonio, Texas.

KUBRAK J. 1989: Modele numeryczne rozprzestrzeniania się fali wypływającej przez wyrwę w zaporze. Rozprawy Naukowe i Monografie SGGW, Warszawa.

MacDONALD T.C., LANGRIDGE-MONOPOLIS J. 1984: Breaching Characteristics of Dam Failures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 5: 567–586.

SZYDŁOWSKI M. 1998: Numeryczna symulacja przepływu wody ze swobodną powierzchnią w warunkach ruchu szybkozmiennego z nieciągłościami. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska.

U.S. Bureau of Reclamation, 1988: Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11 Assistant Commissioner-Engineering and Research, Denver.

Von THUN J.L., GILLETTE D.R. 1990: Guidance on Breach Parameters. U.S. Bureau of Reclamation, Denver.

WAHL T.L. 1998: Prediction of Embankment Dam Breach Parameters: Literature Review and Needs Assessment. U.S. Bureau of Reclamation Dam Safety Report DSO-98-004.

WURBS R.A. 1987: Dam-Breach Flood Wave Models. *Journal of Hydraulic Engineering* 113, 1: 29–46.

## Summary

**Parametric models application for prediction of earth dam breach parameters.** The earth dams breach erosion is analyzed using width and failure time given by parametric models. The obtained dam breach parameters after parametric models are used for prediction breach outflow hydrograph. The one-dimensional unsteady flow model in reservoir was applied for prediction breach outflow hydrograph. The outflow hydrographs for dam breach obtained using Froehlich and Von Thun Gillette (II) relation show good agreement.

**Authors' addresses:**
Janusz Kubrak
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, Nowoursynowska 166
Michał Szydłowski
Politechnika Gdańska
Katedra Hydrauliki i Hydrologii
Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska
80-950 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12
Poland

**Danuta WOCHOWSKA**
**Jerzy JEZNACH**
Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Improvement WAU

# Ocena skuteczności doczyszczania wód z miejskiej oczyszczalni ścieków
# The estimation of the effectiveness of the process of extra-purifying water from domestic sewage treatment

**Słowa kluczowe:** doczyszczanie ścieków, poletka doświadczalne, redukcja zanieczyszczeń
**Key words:** process of extra-purifynig water, experimental plant, pollutant reduction

## Wprowadzenie

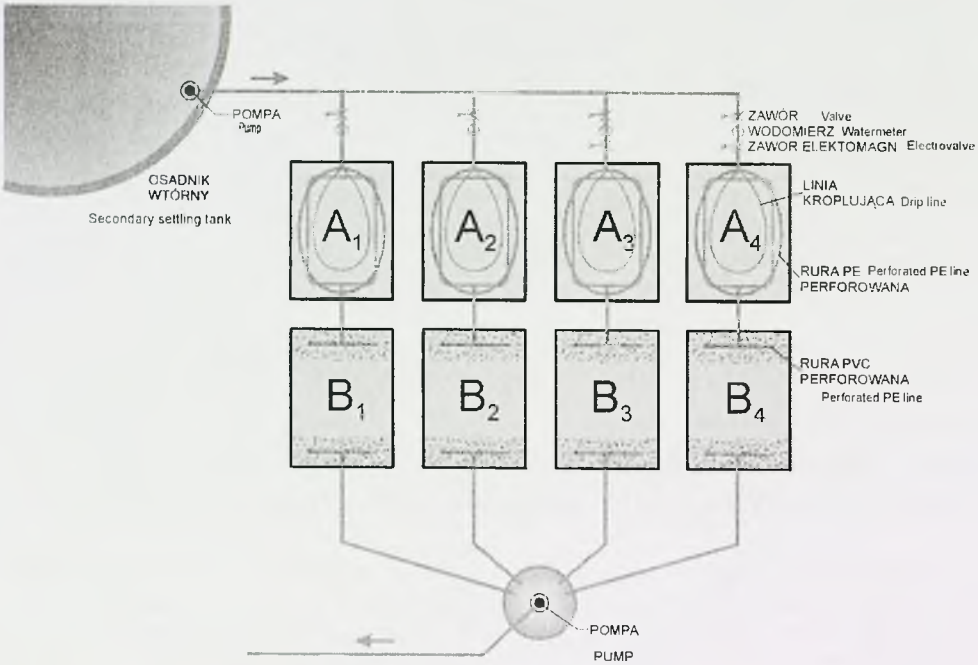
Mechanizm usuwania zanieczyszczeń przez ekosystemy bagienne opiera się na łącznym oddziaływaniu procesów fizykochemicznych i mikrobiologicznych. Większość gatunków hydrofitów i helofitów występujących często w Polsce może być wykorzystana w jednym lub kilku etapach oczyszczania ścieków. Sposób ten umożliwia eliminację substancji organicznych i związków biogennych, a ze względu na walory ekonomiczne i eksploatacyjne jest rozwiązaniem bardzo korzystnym (Trybuszewski 1992, Kalisz i Salbut 1993).

W Polsce funkcjonuje już wiele obiektów realizujących koncepcję opartą na wprowadzaniu specjalnych plantacji roślinnych na podtopionych lub zalewanych filtrach gruntowych (Kowalik i Obarska-Pempkowiak 1990 i 1994, Łomotowski i Szpindor 1999). Brak jednak badań oceny funkcjonowania tych oczyszczalni w procesach doczyszczania wód wypływających z małych oczyszczalni miejskich lub wiejskich.

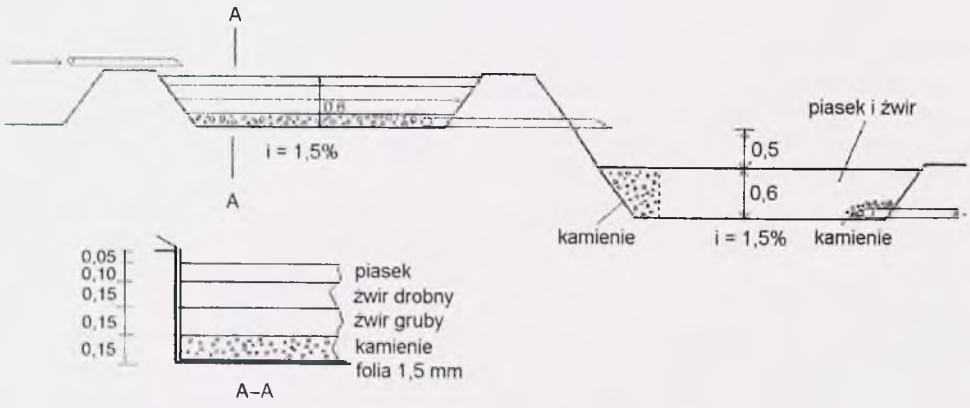
W Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu podjęto próbę zastosowania metody podtopionych filtrów gruntowych porośniętych trzciną w celu określenia efektywności doczyszczania wód w warunkach zmienności jakościowej i ilościowej dopływu ścieków browarniczych. Obecnie ścieki po oczyszczalni nie spełniają aktualnych i projektowanych norm, dlatego niezbędne jest podwyższenie efektywności pracy oczyszczalni. Zastosowanie hydrofitowych metod doczyszczania wydaje się więc celowe w tych specyficznych warunkach funkcjonowania oczyszczalni.

## Materiał i metoda

Badania wykonano na specjalnie do tego celu wybudowanych poletkach doświadczalnych (rys. 1 i 2).




RYSUNEK 1. Schemat poletek doświadczalnych
FIGURE 1. Scheme of the experimental plants




RYSUNEK 2. Schemat poletek doświadczalnych – przekrój poprzeczny
FIGURE 2. The transversal scheme of the experimental plants

Zaprojektowano system z podpowierzchniowym przepływem wody zbudowany z ośmiu poletek o wymiarach 1,5 × 2 m, usytuowanych szeregowo w dwóch rzędach. Poletka o głębokości 0,6 m wypełniono materiałem filtracyjnym (warstwy kamieni, żwiru i piasku) oraz wyłożono nieprzepuszczalną folią.

W czterech poletkach usytuowanych na wyższym poziomie (oznaczonych jako A1, A2, A3, A4) doczyszczane ścieki przepływają w układzie pionowym, a w czterech dolnych (B1, B2, B3, B4) – poziomym. Na poletkach posadzono trzcinę pospolitą. Do poletek doprowadzone są ścieki z osadnika radialnego po wcześniejszym trzystopniowym oczyszczaniu mechaniczno-biologiczno-chemicznym. Zasilanie poletek górnych następuje dzięki zastosowaniu perforowanego przewodu nawadniającego ułożonego równomiernie na całej powierzchni.

Na dnie poletek ułożono rury drenarskie, dzięki którym dalej ścieki grawitacyjnie przepływają do czterech dolnych poletek, z których odprowadzane są do studzienki kontrolno-pomiarowej.

Na dwóch górnych poletkach zainstalowano zawory elektromagnetyczne, dzięki którym zastosowano technologię cyklicznego podawania doczyszczanych wód.

Zastosowano odpowiedni dla tego typu ekosystemu bagiennego stan nasycenia gleby wodami ściekowymi tak, by ich poziom utrzymywał się powyżej poziomu terenu.

## Wyniki badań

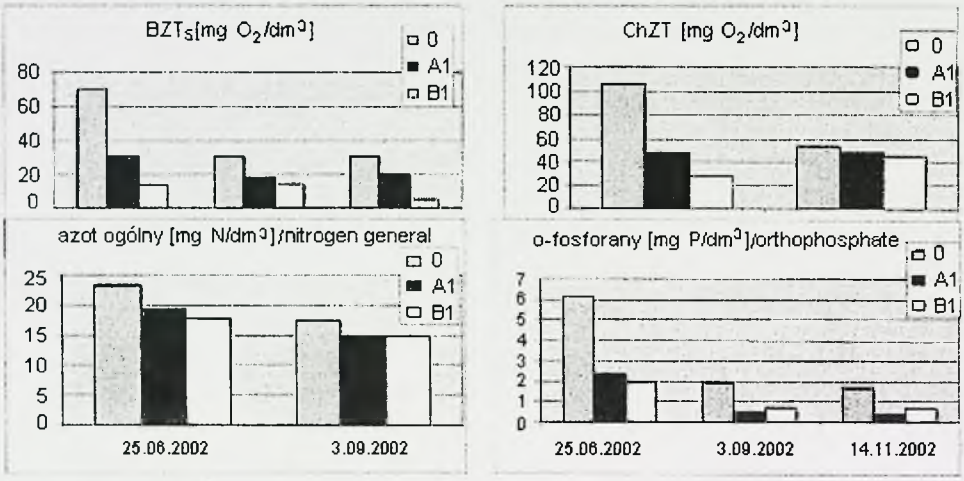
Badania analityczne doczyszczanych wód przeprowadzono kilka dni po rozruchu (koniec czerwca 2002 roku), w okresie ukorzeniania trzciny w złożu gruntowym (lipiec – sierpień) oraz po dwóch i czterech miesiącach pracy poletka (wrzesień i listopad 2002 roku).

Badania obejmowały m.in.:

- analizy stężeń głównych wskaźników zanieczyszczeń ścieków dopływających i odpływających z poletek (tab. 1),
- eliminację stężeń zanieczyszczeń na wybranych poletkach (rys. 3),
- skuteczność usuwania zanieczyszczeń na wybranych poletkach (tab. 2).

TABELA 1. Stężenia wybranych parametrów zanieczyszczeń na wybranych poletkach
TABLE 1. The concentration of the chosen parameters of pollution on the chosen plants

| Parametr<br>Parameter | Jednostka<br>Unit | Analizy/Analysis<br>26.06.2002 | | | Analizy/Analysis<br>03.09.2002 | | | Analizy/Analysis<br>14.11.2002 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | A1 | B1 | 0 | A1 | B1 | 0 | A1 | B1 |
| $BZT_5$<br>$BZT_5$ | $MgO_2/dm^3$ | 70 | 31 | 13 | 31 | 18 | 14 | 31 | 20 | 5 |
| Fosfor ogólny<br>Phosphorus general | $MgP/dm^3$ | 1,98 | 0,8 | 0,61 | 0,35 | 0,16 | 0,22 | 0,55 | 0,13 | 0,23 |
| Azot ogólny<br>Nitrogen general | $MgN/dm^3$ | 23,3 | 19,4 | 17,7 | 17,5 | 15 | 15 | – | – | – |
| Zawiesina<br>Suspension | $mg/dm^3$ | 38,8 | 32,4 | 18 | 14,8 | 5,2 | 20,8 | 18 | 14 | 10,4 |




RYSUNEK 3. Eliminacja stężeń zanieczyszczeń na wybranych poletkach
FIGURE 3. The elimination of pollution concentration on the chosen plants

TABELA 3. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń na wybranych poletkach (w %)
TABLE 3. The effectiveness of pollution reduction on the chosen plants (in %)

| Parametr<br>Parameter | Analizy/Analysis 25.06.2002 | | | Analizy/Analysis 3.09.2002 | | | Analizy/Analysis 14.11.2002 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0/A1 | A1/B1 | 0/B1 | 0/A1 | A1/B1 | 0/B1 | 0/A1 | A1/B1 | 0/B1 |
| $BZT_5$<br>$BZT_5$ | 55,71 | 58,06 | 81,43 | 41,94 | 22,22 | 54,84 | 35,48 | 75 | 83,87 |
| ChZT<br>ChZT | 55,66 | 38,3 | 72,64 | 9,26 | 8,16 | 16,67 | | | |
| Fosfor ogólny<br>Phosphorus general | 59,6 | 23,75 | 69,2 | 54,29 | –37,5 | 37,14 | 76,47 | –75 | 58,18 |
| Azot ogólny<br>Nitrogen general | 16,64 | 8,76 | 24,03 | 14,29 | 0 | 14,28 | | | |
| Zawiesina<br>Suspension | 16,49 | 44,44 | 53,61 | 64,86 | –300 | –40,5 | 22,22 | 25,71 | 42,22 |

## Podsumowanie i wnioski

Analiza wyników badań wykazała wysoką efektywność doczyszczania ścieków. Stwierdzono kilkukrotny spadek wielkości $BZT_5$, $ChZT_{Cr}$, fosforu całkowitego oraz fosforanów na odpływie w stosunku do stężeń tych wskaźników w ściekach dopływających do poletek.

Zaobserwowano wysoką średnią skuteczność usuwania substancji orga-

nicznej wyrażonej w $BZT_5$ we wszystkich analizowanych próbach. Dla poletek o przepływie pionowym wyniosła ona 54%, a o przepływie poziomym – 56,75%. Eliminacja fosforu ogólnego była znaczna – średnio 52% na poletkach o przepływie pionowym oraz 41,6% na poletkach o przepływie poziomym.

Dominującą rolę w usuwaniu substancji organicznej mają złoża o przepływie pionowym.

Wstępna ocena prowadzonego eksperymentu jest pozytywna. Pierwszy etap badań wskazuje, że eksperymentalne złoża trzcinowe zapewniają stosunkowo wysoki stopień eliminacji substancji organicznej oraz w miarę zadowalający związków biogennych. Współdziałanie procesów: oczyszczania mechanicznego, wytrącania chemicznego i rozkładu biologicznego gwarantuje efektywne doczyszczanie ścieków. Stężenia zanieczyszczeń w odpływie z poletek mieszczą się w poziomie I klasy czystości wód.

## Literatura


KALISZ L., SALBUT J. 1993: Wykorzystanie makrofitów do oczyszczania ścieków. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 5.

KOWALIK P., OBARSKA-PEMPKOWIAK H. 1990: Zasady oczyszczania ścieków przy udziale roślin w ekosystemie bagiennym, (maszynopis) Politechnika Gdańska, Gdańsk.

KOWALIK P., OBARSKA-PEMPKOWIAK H. 1994: Zasady pracy małych hydrobotanicznych oczyszczalni ścieków. Falenty, IMUZ.

ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A. 1999: Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. ARKADY, Warszawa.

TRYBUSZEWSKI P. 1992: System oczyszczania korzeniowego w warunkach duńskich. Materiały konferencji „Ochrona wód", Rybnik – Ustroń – Jaszowiec.


## Summary


**The estimation of the effectiveness of the process of extra-purifying water from domestic sewage treatment.** The paper presents examination and analyses of the effectiveness of the process of pollutant removal in the reed beds (filters) with the vertical and horizontal direction of flow. We built the sewage plant in the form of eight reed filters of the 1,2 $m^3$ daily efficiecy. The filters was supplied with the mechanically-biologically-chemical treared sewage.

We perfomed the cycle of thorought study in the experimental plant. What we did was mainly the laboratory analysis of sewage samples before and after filtration and the measurement of sewage discharge and supply.

In the future we are planning the laboratory study which will refer to the material used as the reed filter filler.



**Authors' address:**
Danuta Wochowska, Jerzy Jeznach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland
e-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

**Danuta WOCHOWSKA**[1]
**Jerzy JEZNACH**[1]
**Waldemar LIS**[2]

[1]Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Improvement WAU
[2]Miejska Oczyszczalnia Ścieków w Sierpcu
Town Sewage-Treatment in Sierpc

# Analiza parametrów techniczno-eksploatacyjnych Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu
# Analysis of technical-operation parameters of the town sewage treatment in Sierpc

**Słowa kluczowe:** oczyszczalnia ścieków, parametry techniczno-eksploatacyjne, redukcja zanieczyszczeń
**Key words:** sewage-treatment, technical-operation parameters, pollutant reduction

## Wprowadzenie

Oczyszczalnia Ścieków w Sierpcu należy do oczyszczalni średniej wielkości. Została oddana do eksploatacji w 1975 roku w związku z budową browaru. W następnych latach była rozbudowywana, m.in. powiększano jej przepustowość hydrauliczną i zdolność do przyjmowania większych ładunków zanieczyszczeń.

Obecnie liczba mieszkańców Sierpca wynosi 20 000, a równoważna liczba liczona z $BZT_5$ – 91 908. Aktualnie tylko 65% mieszkańców korzysta z sieci kanalizacji sanitarnej. W najbliższych latach zostaną skanalizowane kolejne osiedla.

Ścieki socjalno-bytowe oraz przemysłowe z terenu miasta dopływają do oczyszczalni za pomocą grawitacyjnego systemu kanalizacyjnego, współpracującego z dwiema pompowniami ścieków.

## Materiał i metoda

Technologia oczyszczania ścieków w oczyszczalni miejskiej oparta jest na oczyszczaniu (Dokumentacja techniczna...):

- mechanicznym (kraty, piaskowniki, osadniki wstępne Imhoffa),
- chemicznym (siarczan żelazowy, polielektrolit),
- biologicznym (złoża biologiczne, osadniki wtórne pionowe, osadnik wtórny radialny).

Od wielu lat prowadzone są systematyczne badania ilości doprowadzanych ścieków oraz stężeń podstawo-

wych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni.

Szczegółowa analiza tych danych za okres 1999–2002 obejmowała m.in.:

- przepływ ścieków,
- stężenia oraz ładunki: $BZT_5$, ChZT, azotu, fosforu i zawiesiny,
- skuteczność eliminacji stężeń oraz ładunków ww. parametrów zanieczyszczeń.

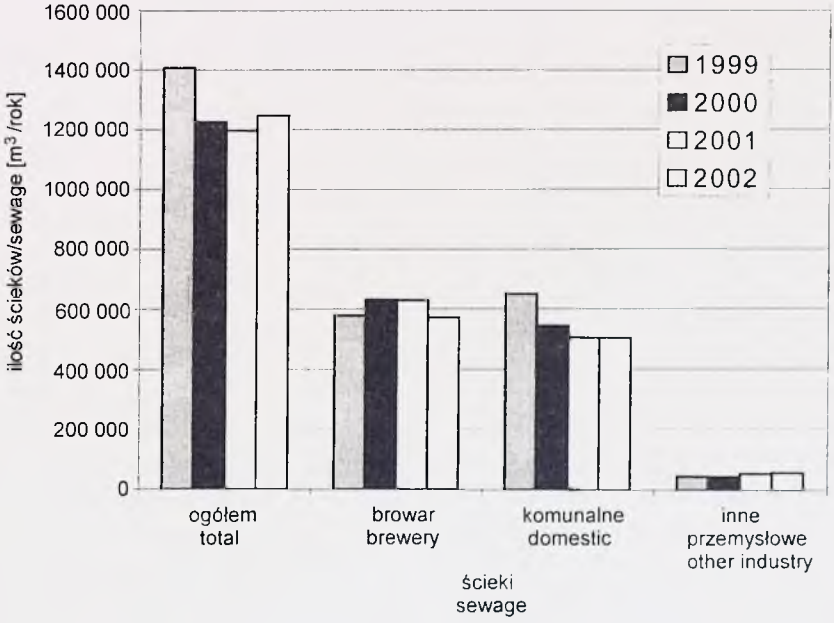
## Wyniki analiz

W 2002 roku do Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu dopływało średnio 3425 $m^3$ ścieków na dobę (rys. 1). Stężenia wszystkich wskaźników w ściekach surowych były kilkakrotnie wyższe od przeciętnych w innych miastach, zamieszkałych przez porównywalną liczbę mieszkańców. Ponad 50% ilości oraz 60% całkowitego ładunku zanieczyszczeń w Sierpcu stanowiły ścieki z browaru.

Średnie stężenia podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych przedstawia tabela 1.

Średnie stężenia podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w latach 1999–2002 przedstawia tabela 2.

Skuteczność eliminacji poszczególnych wskaźników jest dosyć duża. Nie zapewnia jednak wymogów dotyczących jakości ścieków na odpływie (tab. 3).




RYSUNEK 1. Dynamika zmienności przepływu ścieków w latach 1999–2002
FIGURE 1. Dynamics of sewage flow in 1999–2002

TABELA 1. Średnie stężenia głównych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych w latach 1999–2002
TABLE 1. Average concentrations of main parameters of pollution in raw sewage in 1999–2002

| Parametr/Parameter | Jednostka Unit | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|---|---|---|---|---|---|
| $BZT_5$ | mg $O_2/dm^3$ | 1251,6 | 1442,1 | 1345 | 1174,1 |
| ChZT | mg $O_2/dm^3$ | 2033 | 2042,5 | 1886,75 | 1787,1 |
| Fosfor ogólny/Phosphorus gen. | mg P/ $dm^3$ | 26,6 | 23 | 17,62 | 17,5 |
| Azot ogólny/Nitrogen gen. | mg N/ $dm^3$ | 56,68 | 65,83 | 86,3 | 68,1 |
| Zawiesina/Suspension | mg/ $dm^3$ | 459,3 | 552,5 | 602,2 | 550,9 |

TABELA 2. Średnie stężenia głównych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w latach 1999–2002
TABLE 2. Average concentrations of main index of pollution in treated sewage in 1999–2002

| Parametr/Parameter | Jednostka Unit | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | Norma Norm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $BZT_5$ | mg $O_2/dm^3$ | 46 | 64 | 40,45 | 45,18 | 15 |
| ChZT | mg $O_2/dm^3$ | 91,8 | 92,9 | 78,2 | 90,95 | 130 |
| Fosfor ogólny/Phosphorus gen. | mg $P/dm^3$ | 1,54 | 2,36 | 1,52 | 1,23 | 2 |
| Azot ogólny/Nitrogen gen. | mg $N/dm^3$ | 21,54 | 22 | 20,1 | 24,03 | 15 |
| Zawiesina/Suspension | mg/$dm^3$ | 25,88 | 25,16 | 28,4 | 28,6 | 40 |

TABELA 3. Średnia skuteczność eliminacji podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w latach 1999–2002 (w %)
TABLE 3. Average reduction of basics parameters of pollution in 1999–2002 (%)

| Parametr/Parameter | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|---|---|---|---|---|
| $BZT_{5\ 5}$ | 95,95 | 95,34 | 96,91 | 96,15 |
| ChZT | 94,9 | 95,26 | 95,77 | 94,91 |
| Fosfor ogólny/Phosphorus gen. | 93,76 | 88,54 | 90,82 | 92,99 |
| Azot ogólny/Nitrogen gen. | 60,96 | 64,33 | 75,65 | 64,74 |
| Zawiesina/Suspension | 93,23 | 95,24 | 94,56 | 94,80 |

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, oczyszczalnia ścieków w Sierpcu mieści się w przedziale od 15 000 do 99 999 RLM. W związku z tym dopuszczalne wielkości stężeń substancji i wskaźników w ściekach oczyszczonych i minimalna skuteczność usuwania zanieczyszczeń wynoszą odpowiednio: azotu ogólnego – do 15 mg $N/dm^3$ lub 80%, fosforu ogólnego – do 2 mg/$dm^3$ lub 85%, a $BZT_5$ – do 15 mg $O_2/dm^3$ lub 90%. W przyszłości oczyszczalnia musi zapewnić bardzo

wysoki stopień oczyszczania ścieków i usuwania zanieczyszczeń, by sprostać wymaganiom zarówno krajowym, jak i ustawodawstwa Unii Europejskiej.

Oczyszczalnia ścieków w obecnym kształcie nie zapewnia aktualnie obowiązujących parametrów oczyszczania. Największym problemem jest uzyskanie właściwego stężenia $BZT_5$, azotu i fosforu ogólnego. W związku z planowaną rozbudową browaru oraz rozwojem sieci kanalizacyjnej w mieście ilość ścieków i wielkość ładunku dopływającego do oczyszczalni ulegnie dalszemu zwiększeniu. Konieczna jest zatem modernizacja i rozbudowa oczyszczalni.

Koncepcja modernizacji oczyszczalni w Sierpcu (Zieliński 2000) polegać będzie na dwustopniowym biologicznym oczyszczaniu ścieków: złoża biologiczne – pierwszy stopień oczyszczania komory osadu czynnego, napowietrzane z unieruchomioną biomasą – drugi stopień oczyszczania. W koncepcji przewidziano ponadto rozwiązanie, zapewniające usuwanie związków azotu w procesie denitryfikacji. Natomiast redukcja związków fosforu odbywać się będzie według procesów chemicznych. Proponowane rozwiązanie cechuje duża niezawodność oraz elastyczność na okresowe zmiany przepływu i ładunku ścieków.

## Wnioski

Wyniki analiz upoważniają do przedstawienie następujących wniosków:

1. Browar jest głównym źródłem ścieków i zanieczyszczeń doprowadzanych do oczyszczalni.
2. Stwierdzono bardzo duże wartości stężeń, szczególnie dla $BZT_5$ i ChZT oraz zawiesiny w ściekach dopływających w okresach szczytu produkcyjnego browaru.
3. Wartości stężeń niektórych parametrów w miesiącach szczytu produkcyjnego browaru znacznie przekraczają przyjęte normy dla ścieków odpływających (szczególnie $BZT_5$ i fosforu ogólnego).
4. Skuteczność eliminacji poszczególnych wskaźników jest dosyć duża, a jednak nie udaje się oczyszczalni spełnić wymogów dotyczących jakości ścieków na odpływie.
5. W celu uzyskania wymaganego w przyszłości stężenia $BZT_5$ na odpływie potrzebna jest skuteczność usuwania tego wskaźnika w wysokości co najmniej 99% (obecnie średnio 96%), a wydaje się to możliwe tylko po zmodernizowaniu oczyszczalni i zastosowaniu odpowiednich metod doczyszczania.

## Literatura

Dokumentacja techniczna Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu.

ZIELIŃSKI K. 2000: Rozbudowa i modernizacja Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu – koncepcja programowo-przestrzenna. GEA – consulting, Warszawa.

## Summary

**Analysis of technical-operation parameters of the town sewage-treatment in Sierpc.** The paper presents the characteristic of the sewage – treatment plant in Sierpc. We performed the cycle of thorough study in the sewage treatment plant: the flow of

sewage in 1999–2002, concentrations and load parameters: BZT5, ChZT, nitrogen, phosphorus and suspension contained in sewage discharge and supply, reduction of concentration and reduction of load of all the parameters.

**Authors' addresses:**
Danuta Wochowska, Jerzy Jeznach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
e-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

Waldemar Lis
Miejska Oczyszczalnia Ścieków
09-200 Sierpc, ul. Bojanowska 1
Poland

**Jerzy JEZNACH**
Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Improvement WAU

# Syntetyczna ocena stanu infrastruktury technicznej na obszarach niezurbanizowanych
# A synthetic estimation of technical infrastructure in the rural areas

**Słowa kluczowe:** infrastruktura techniczna, ocena stanu, miary rozwoju, obszary wiejskie
**Key words:** technical infrastructure, estimation, development measure, rural areas

## Wprowadzenie

Infrastrukturę z jednej strony traktuje się jako element gospodarki narodowej, a z drugiej jako integralny składnik struktury przestrzennej określonego obszaru. Infrastruktura stanowi więc podstawę, bazę nieodłącznie związaną z danym obszarem i ulega zmianom w czasie i przestrzeni wraz z przekształceniami tego obszaru.

Infrastruktura techniczna jest jednym z podstawowych elementów w układzie społeczno-gospodarczym i przestrzennym danego regionu, który warunkuje jego rozwój. Wszelkie przemiany, procesy w regionie ściśle uzależnione są od stanu infrastruktury (Jeznach 2000).

Elementy infrastruktury technicznej są bardzo zróżnicowane. Z tego względu trudno jest jednoznacznie ocenić jej stan w poszczególnych województwach, powiatach czy gminach. Do tego celu można zastosować m.in. metody taksonomiczne i techniki wielowymiarowej analizy porównawczej, które umożliwiają syntetyczne normalizowanie poszczególnych elementów infrastruktury według „miary rozwoju" (Hellwig 1968). Otrzymana w wyniku obliczeń syntetyczna miara rozwoju przybiera wartości od 0 do 1. Dana jednostka terytorialna ma tym większy rozwój, im bardziej wartość miary rozwoju zbliża się do jedności.

## Materiał i metoda badań

Ocenę stanu infrastruktury technicznej na obszarach wiejskich przeprowadzono według informacji uzyskanych z Ministerstwa Rolnictwa i Obszarów Wiejskich (Informacje... 1998). Na ich podstawie przygotowano bazę danych, która składała się z dowolnej liczby zbiorów definiowanych jako cechy (ich kolejność oraz jednostki, w jakich są wyrażone nie mają wpływu na wynik) oraz zbioru obiektów zawierają-

cego dowolną ich liczbę. Wybrane cechy mogą pobudzać wzrost rozwoju gospodarczego lub go hamować. Pierwsze z wyżej wymienionych nazywają się symulantami, a drugie desymulantami. Cechami były poszczególne elementy infrastruktury technicznej wsi i są to wyłącznie symulanty. Jako zbiór obiektów przyjęto 49 województw, według dawnego podziału administracyjnego.

Cechami były poszczególne elementy infrastruktury technicznej wsi:

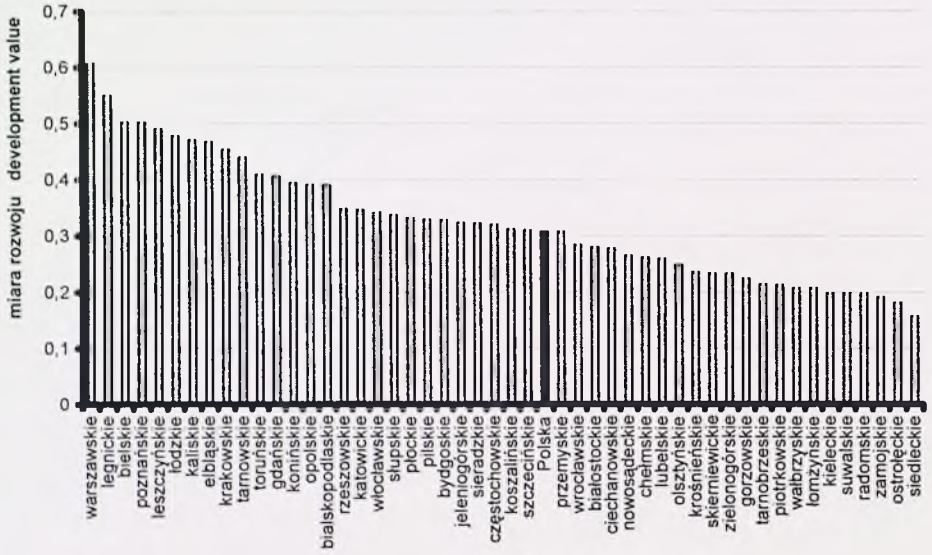
1) drogi gminne – wskaźnik km/100 $km^2$,
2) stopień gazyfikacji gospodarstw domowych na wsi – %,
3) kanalizacja – procent gospodarstw podłączonych do sieci,
4) powierzchnia zmeliorowana – wskaźnik tys. ha/$km^2$,
5) gęstość telefoniczna na wsi – abonamenci/100 $km^2$,
6) wodociągi – procent gospodarstw podłączonych do sieci.

## Wyniki badań

Wyniki obliczeń stanu infrastruktury technicznej przedstawiono w formie miar rozwoju w poszczególnych województwach oraz średnio dla kraju (rys. 1).

Cechy, które są najbardziej rozwinięte we wszystkich województwach, to stopień gazyfikacji wsi, a następnie powierzchnia zmeliorowana. Rozwój dróg gminnych, wodociągów oraz gęstości telefonicznej jest na takim samym poziomie. Najniższą pozycję zajmuje kanalizacja.

W województwach Polski Centralnej najwyższy stopień rozwoju posiada cecha 4. – powierzchnia zmeliorowana, a najniższy 2. – gazyfikacja gospo-




RYSUNEK 1. Stan infrastruktury technicznej obszarów wiejskich (1997 r.)
FIGURE 1. Technical infrastructure in the rural areas (1997)

darstw domowych na wsi. Rejon południowo-wschodni kraju charakteryzuje się wysokim rozwojem gazyfikacji, a niskim: cecha 4. – powierzchnia zmeliorowana. W południowo-zachodniej części Polski występuje duży poziom ze względu na gazyfikację gospodarstw domowych, a mały ze względu na drogi.

W województwach Polski Północno-Zachodniej dominuje rozwój wodociągów, natomiast niski jest poziom dróg gminnych. Rejon Północno-Wschodni charakteryzuje wysoki stan kanalizacji i niski gazyfikacji.

Spośród 49 województw sześć ma miarę rozwoju gospodarczego w przedziale od 0 do 0,2; piętnaście – 0,2 do 0,3; szesnaście – 0,3 do 0,4; osiem – od 0,4 do 0,5; trzy – od 0,5 do 0,6, a jedno powyżej 0,6. Najwyższą miarą charakteryzuje się województwo stołeczne, warszawskie. Jest ono na pierwszym miejscu ze względu na rozwój gęstości telefonicznej, ale dopiero na trzydziestym pod względem stopnia powierzchni zmeliorowanej.

Najniższą miarę rozwoju posiada województwo siedleckie. Jest ono na ostatniej pozycji ze względu na kanalizację oraz gęstość telefoniczną na wsi.

Stan infrastruktury technicznej Polski oceniany miarą rozwoju wynosi 0,308. Poniżej tej wartości znajdują się 22 województwa.

Różne nieprawidłowości w rozwoju infrastruktury na obszarach wiejskich w Polsce, nawarstwiające się w czasie i przestrzeni, doprowadziły do sytuacji, w której są one barierą dla procesów wzrostu, rozwoju społeczno-gospodarczego i pożądanych przekształceń przestrzeni wiejskiej.

## Wpływ poszczególnych cech na ocenę stanu infrastruktury technicznej

Przy ocenie stanu infrastruktury technicznej należy zwrócić uwagę na uwzględnione cechy, tzn. elementy infrastruktury, ponieważ każda z nich ma swój indywidualny wpływ na rozwój danego obszaru. Jakikolwiek inny układ spowodować może otrzymanie odmiennych wyników.

Aby zobrazować wpływ użytych cech na stan infrastruktury technicznej kolejno eliminowano poszczególne cechy (Bąk i Borowy 2000):

1) eliminacja cechy 3. – kanalizacje, powoduje zwiększenie miary rozwoju województwa stołecznego warszawskiego do wartości 0,7 oraz podwyższenie miar do 0,6 w następujących województwach: poznańskim, leszczyńskim, łódzkim, kaliskim oraz krakowskim; na ostatniej pozycji w tym układzie znalazło się województwo ostrołęckie, które przy uwzględnieniu kanalizacji zajmowało nieco wyższą pozycję;
2) po eliminacji kanalizacji i wodociągów tylko województwo stołeczne utrzymało swoją wysoką lokalizację (0,7), w pozostałych województwach miara rozwoju znacznie się obniżyła w stosunku do stanu wyjściowego; ostatnią pozycję zajęło tym razem województwo gorzowskie, natomiast województwo siedleckie, które do tej pory zajmowało ostatnie miejsce, obecnie znalazło się na pozycji 45;
3) eliminacja cechy 2. – stopień gazyfikacji gospodarstw domowych, nie

przyniosła większych zmian, które wymagałyby interpretacji;

4) eliminacja cechy 5. – gęstość telefoniczna wsi, spowodowała ogólne obniżenie miary rozwoju stanu infrastruktury technicznej w kraju; granicę 0,5 przekroczyło 5 województw: legnickie, elbląskie, bielskie, poznańskie i kaliskie; cecha ta jest bardzo dobrze rozwinięta w województwie warszawskim i jej eliminacja wpłynęła na spadek tego województwa na 10 pozycję w klasyfikacji; dla województwa suwalskiego eliminacja tej cechy powoduje zajęcie przez nie ostatniego miejsca, co świadczy o zadowalającym stanie telefonizacji na tym obszarze;
5) po eliminacji cechy 1. – drogi gminne, okazało się, że w porównaniu z pierwotnym wykresem tylko województwo warszawskie i legnickie zachowało podobną miarę – 0,6, natomiast reszta spadła poniżej 0,4, czyli eliminacja tej cech powoduje ogólne obniżenie stanu infrastruktury technicznej;
6) eliminacja cechy 4. – powierzchnia zmeliorowana, nie przyniosła większych zmian, które wymagałyby interpretacji.

## Podsumowanie

Bardzo dobry stan infrastruktury technicznej (miara rozwoju powyżej 0,6) charakteryzuje tylko jedno z 49 województw. Poziom dobry i dostateczny mają województwa znajdujące się w pasie od Pojezierza Pomorskiego, przez Wielkopolskę, aż po Śląsk. Bardzo zła sytuacja panuje głównie na terenach wschodnich kraju.

Różne nieprawidłowości w rozwoju infrastruktury na obszarach wiejskich w Polsce, nawarstwiające się w czasie i przestrzeni, doprowadziły do sytuacji, w której jest ona barierą dla procesów wzrostu, rozwoju społeczno-gospo-darczego i pożądanych przekształceń przestrzeni wiejskiej.

Do syntetycznej oceny stanu infrastruktury technicznej mogą być wykorzystane metody taksonomiczne, które powinny być przedmiotem szczegółowych badań.

## Literatura


BĄK K., BOROWY D. 2000: Ocena stanu i kierunków rozwoju infrastruktury technicznej obszarów wiejskich. Maszynopis Katedry Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.

HELLWIG Z. 1968: Zastosowanie metody taksonomicznej do typologii podziału kraju ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr. *Przegląd Statystyczny* 4.

Informacje o stanie infrastruktury technicznej wsi w 1997 roku. MRiGŻ. 1998.

JEZNACH J. 2000: Wpływ infrastruktury technicznej na aktywizację obszarów wiejskich. *AGRIKOLA*. SGGW, Warszawa.


## Summary


**A synthetic estimation of technical infrastructure in the rural areas.** Infrastructure may be treated as an element of the country's economy, as well as an integral constituent of the spatial structure of a given area. Infrastructure therefore constitutes the basis, the base, inseparably connected with a given area. It undergoes trans-

formations in time and space as the area transforms.

Technical infrastructure elements are diverse. That is why it is difficult to assess its state in a given administrative unit. Taxonomic methods and multi – dimensional comparative analysis techniques, which make a synthetic normalization of given infrastructure elements possible, can be applied; according to a „development measure". Received as a result of these calculations, the synthetic development measure value varies from 0 to 1. The more developed a given administrative unit, the closer it is to 1.

**Author's address:**
Jerzy Jeznach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland
e-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

**Jerzy JEZNACH**
Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Improvement WAU
**Maria JEZNACH**
Katedra Organizacji i Ekonomiki Konsumpcji SGGW
Department of Organization and Economics of Consumption WAU

# Infrastruktura wsi na terenach chronionych gmin kampinoskich
# Rural infrastructure on the Kampinos National Park

**Słowa kluczowe:** infrastruktura techniczna, Kampinoski Park Narodowy, obszary wiejskie
**Key words:** rural infrastructure, Kampinos National Park, rural areas

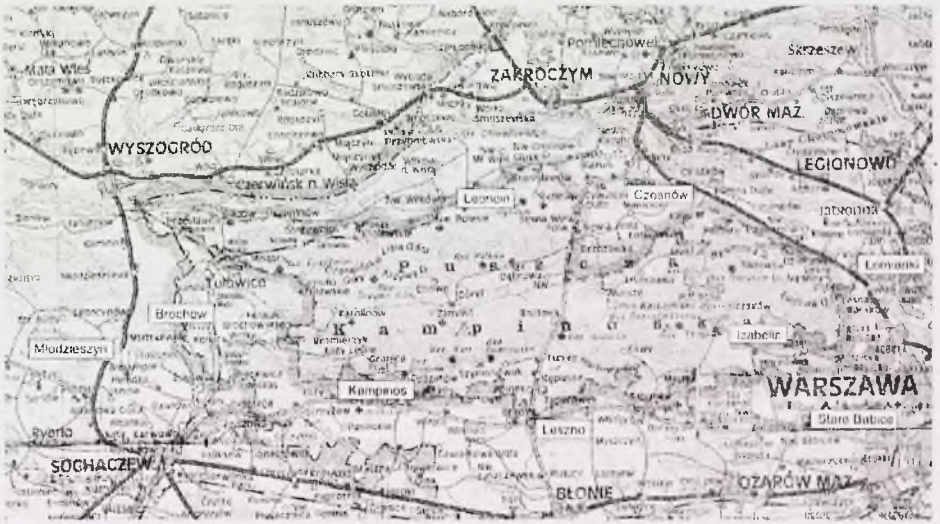
## Wprowadzenie

Przeszłość i teraźniejszość Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN), obecność wielu zabytków architektury oraz bardzo bogata fauna i flora powodują, że jest on atrakcyjnym miejscem wypoczynku coraz większej liczby turystów. Czyste powietrze, ładne widoki, dużo zieleni, szlaki turystyczne (piesze i rowerowe), a przy okazji możliwość zobaczenia ciekawych zabytków stwarzają dogodne warunki do rozwoju turystyki na tym terenie. Niezbędnym elementem tych działań jest jednak posiadanie lub budowa infrastruktury technicznej, gospodarczej i turystycznej.

Celem pracy jest prezentacja syntetycznych uwag wynikających z analizy warunków infrastrukturalnych gmin rejonu kampinoskiego oraz oceny możliwości rozwoju turystyki w tym rejonie, przy zachowaniu zasad zrównoważonego rozwoju. Wynikają one z własnych studiów przeprowadzonych w tym zakresie (Jeznach 1999) oraz doświadczeń z dyskusji odbytych podczas seminariów, z udziałem zarządów gmin kampinoskich, i wizytacji gmin w okresie listopad 1999 – luty 2000.

## Charakterystyka gmin kampinoskich

Rejon kampinoski, obejmujący 9 gmin: Brochów, Czosnów Izabelin, Kampinos, Młodzieszyn, Leoncin, Leszno, Łomianki i Stare Babice (rys. 1), położonych na zachód od Warszawy, zajmuje obszar 780 km$^2$ (co stanowi 2,2% powierzchni województwa mazowieckiego), zamieszkiwany przez ponad 70 tys. mieszkańców, w tym około 60 tys. mieszkańców na terenach wiejskich (ok. 3% ludności wsi województwa). W gminach typowo rolniczych wskaź-




RYSUNEK 1. Rejon gmin kampinoskich
FIGURE 1. Region of Kampinos National Park

nik bezrobocia, mimo bliskości warszawskiego rynku pracy jest wysoki i wynosi średnio 17%. Przy słabej jakości gleb w rejonie, nie pozwalającej na rozwój intensywnej produkcji rolniczej, tworzenie alternatywnych miejsc pracy, w opinii uczestników procesu tworzenia strategii, stanowić może jedyną alternatywę rozwoju rejonu kampinoskiego.

W badanych gminach dominują gospodarstwa o niewielkiej powierzchni, co rzutuje m.in. na niską racjonalność i opłacalność produkcji i świadczy o konieczności pozyskiwania przez ludność użytkującą te gospodarstwa dochodów z pozarolniczych form działalności. W strukturze użytkowania gruntów dominują użytki rolne (uprawa zbożowych i okopowych) oraz lasy i grunty leśne (własność KPN). Do gmin o największym udziale lasów należą: Leoncin, Leszno i Brochów. Specyfika omawianych gmin związana jest z uprawą warzyw (wielu ich gatunków) i z wieloletnią tradycją, przez co jakość ich jest wysoka. Ta cecha decyduje o ich przydatności dla przemysłu przetwórczego na tym terenie oraz o możliwości zbytu na pobliskim rynku warszawskim. Ten kierunek wykorzystania gruntów należy uznać za pożądany ze względu na tradycje w uprawie oraz bliskość rynku zbytu. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że uprawy warzywnicze wymagają dużego nakładu pracy, a jest w tym rejonie wolna siła robocza, która mogłaby być wykorzystana do rozwoju tego rodzaju upraw. Specyfika rejonu wymusza hodowlę bydła (ze względu na znaczny udział łąk i pastwisk). Gminy: Brochów, Kampinos, Młodzieszyn i Leoncin przodują w liczbie zwierząt. Na uwagę zasługuje również utrzymywanie koni, choć z wyraźną tendencją zniżkową ich pogłowia. Zwiększa się natomiast pogłowie kóz (największe w gminie Czosnów).

## Infrastruktura techniczna

Stan infrastruktury technicznej dla całego rejonu Kampinosu oceniono w sposób globalny. Ten stan szacunkowo można ująć następująco (Założenia... 1999; Jeznach 2000):

- zaopatrzenie ludności w wodę do picia z wodociągów sieciowych – 65%,
- inne sposoby zaopatrzenia w wodę – 35%,
- odbiór ścieków przez zbiorowe systemy sieci kanalizacyjnych – 5%,
- inne sposoby odbioru ścieków – 95%,
- ścieki oczyszczane w oczyszczalniach zbiorowych – 25% i ścieki odprowadzane do gruntu ze zbiorników gnilnych lub wód powierzchniowych – 75%,
- prawidłowy sposób magazynowania obornika, tj. płyta gnojowa ze zbiornikiem na gnojówkę i wody gnojowe – 5%,
- stan sieci komunikacyjnej: kolej szynowa – brak; drogi państwowe, powiatowe gminne na ogół w stanie wymagającym renowacji i modernizacji – 90%; drogi rolnicze wymagające konserwacji – 90%,
- stan melioracji wodnych – wymagana jest systematyczna konserwacja urządzeń technicznych, sieci rowów i kanałów, co dotyczy 100% urządzeń.

## Infrastruktura gospodarcza

Lokalne przetwórstwo spożywcze w gminach wiejskich stanowi sposób aktywizacji tych rejonów, zaopatrzenia lokalnego, ale też zaopatrzenia turystów oraz obsługi ruchu turystycznego – gastronomii i hoteli.

Spośród dwudziestu branż (sektorów) przetwórstwa spożywczego sklasyfikowanych przez GUS w badanych 11 gminach sąsiadujących z KPN występuje tylko dziewięć. Najpowszechniejsza w badanym regionie jest działalność związana z kierunkami przetwórstwa wytwarzającymi produkty nietrwałe na potrzeby lokalne i potrzeby ruchu turystycznego. Największą liczbę jednostek gospodarczych grupują przemysły: cukierniczy (29%) i piekarski (22%), mięsny (25%) i żywności „wygodnej" (9%). Z pozostałych funkcjonuje też przetwórstwo owocowo-warzywne, zbożowe (kasza gryczana), produkcja wód mineralnych, tłuszczy specjalnych oraz barwników spożywczych i serów Mozzarella (po 3%). Ponadto w analizowanych gminach funkcjonują zakłady hodowlane brojlerów (6%) oraz ubojnia zwierząt rzeźnych (3%) (Studium... 1999).

W badanych gminach funkcjonuje 35 zakładów przemysłu spożywczego, tj. średnio około 3,5 zakładu przetwórczego w jednej gminie, przy zróżnicowaniu: 9 zakładów w gminie Łomianki, 7 w gminie Stare Babice, 7 w gminie Czosnów, 3 w gminie Leszno oraz 3 w gminie Izabelin, po 2 w gminach Leoncin i Brochów, 1 zakład w gminie Kampinos. W gminie Młodzieszyn nie odnotowano żadnej działalności przetwórczej, a w gminie Leoncin odnotowano jeden punkt skupu mleka.

Na terenie poszczególnych gmin położonych w sąsiedztwie KPN brakuje jednak wielu kierunków przetwórstwa spożywczego, związanych głównie

z produkcją żywności „wygodnej" przeznaczonej dla turystów i małej gastronomii, pracującej na potrzeby ruchu turystycznego. Należą do nich zakłady wytwarzające: soki i napoje bezalkoholowe, przetwory warzywne, przetwory owocowe, przetwory mączne, ziemniaczane (mrożone i suszone), przetwórstwo mięsa (głównie drobiowego) i przetwory mleczarskie. Wydaje się celowe uruchomienie zakładów przetwórczych wytwarzających te produkty oraz inne produkty regionalne.

## Infrastruktura społeczna

Do infrastruktury społecznej zalicza się: ochronę zdrowia, kulturę, oświatę i wychowanie, sport, rekreację.

Za syntetyczny miernik znaczenia infrastruktury społecznej w badanych gminach posłużył wskaźnik wydatków na poszczególne jej elementy. Wszystkie gminy największą część własnych wydatków (około 30–40%) przeznaczały na oświatę i wychowanie. Procent ten był niższy jedynie w miejsko-wiejskiej gminie Łomianki (17%), co wynikało z większego budżetu (podobnie na opiekę społeczną i kulturę).

Stan infrastruktury społecznej gmin jest w znacznym stopniu uzależniony od wysokości budżetu, jakim dysponują. Przy niewielkich środkach finansowych gmina jest zmuszona dzielić je według najpilniejszych, bieżących potrzeb. Sytuacja taka nie sprzyja planowaniu rozwoju gminy, a często zdarza się, że wymusza posunięcia dla niej niekorzystne (np. zamykanie części szkół). Istnieje zatem konieczność poszukiwania alternatywnego źródła dochodów, którym w przypadku gmin kampinoskich może stać się rekreacja i turystyka.

## Infrastruktura turystyczna

Pod pojęciem infrastruktury turystycznej rozumie się najczęściej ogół instytucji i urządzeń udostępniających dobra turystyczne i wytwarzających określone produkty turystyczne. Produktami tymi mogą być zarówno pojedyncze usługi (noclegowe, żywieniowe, transportowe, przewodnicze, logistyczne itp.), jak i całe pakiety usługowe (wycieczki, wczasy, kolonie, kongresy i inne). W zależności od charakteru tych usług można wydzielić obiekty *stricte* turystyczne w odróżnieniu od obiektów paraturystycznych, które stanowią infrastrukturę ogólną miejscowości odwiedzanej.

Instytucje i urządzenia *stricte* turystyczne są przeznaczone w zasadzie specjalnie dla turystów. Najczęściej tworzą je: obiekty noclegowe (hotele, motele, campingi, pensjonaty), urządzenia gastronomiczne (restauracje, bary, kawiarnie, stołówki, jadłodajnie), urządzenia sportowo-rekreacyjne oraz infrastruktura o charakterze komplementarnym i uzupełniającym (zakłady przetwórcze żywności i obiekty przechowalnicze) urządzenia i obiekty handlowe.

Turystyka w rejonie dużych aglomeracji miejskich rozgrywa się w dwóch różnych kierunkach i sferach przestrzennych. Z jednej strony interesujące są podróże do wielkich miast, z ich atrakcjami turystycznymi, historycznymi i kulturalnymi. Odmiennym kierunkiem, zwłaszcza dla mieszkańców aglomeracji, są z kolei otwarte

tereny wiejskie i okolice tych miast jako oazy natury i tradycyjnej kultury. Stanowić to może duże zagrożenie dla zachowania zasobów przyrody i środowiska naturalnego wobec słabego rozwoju infrastruktury technicznej na obszarach wiejskich oraz ciągle niskiej świadomości ekologicznej przeciętnego turysty.

Wymaga to tworzenia warunków dla rozwoju zrównoważonego turystyki, tzn. kształtowania takiej liczby turystów, która nie naruszałaby pojemności środowiska rejonu turystycznego i budowy takiej infrastruktury turystyki oraz infrastruktury techniczno-ekonomicznej, która chroniłaby najcenniejsze zasoby turystyczne przed zużyciem i zniszczeniem. Dlatego ochrona i zachowanie zasobów środowiska musi być traktowana priorytetowo, podobnie jak ochrona zabytków.

Gastronomia jest ważnym czynnikiem stymulującym rozwój turystyki. Wywiera ona wpływ zarówno na wielkość ruchu turystycznego, jak i na jakość jego obsługi. Może go zarówno przyspieszyć, jak i hamować.

Analizując strukturę zakładów gastronomicznych w badanych gminach kampinoskich, można zauważyć, że najpopularniejszym rodzajem są bary, które stanowią około 50% całkowitej liczby zakładów gastronomicznych. Restauracje stanowią średnio około 22% całkowitej liczby placówek gastronomicznych. Stołówki działają tylko w dwóch gminach.

Gminy, na których obszarze znajduje się KPN, analizowane pod względem stanu usług gastronomicznych, można podzielić na dwie charakterystyczne grupy. Do pierwszej zaliczają się tzw. gminy podmiejskie, położone blisko Warszawy – Łomianki, Stare Babice, Izabelin, Czosnów. Duże znaczenie dla rozwoju tych gmin ma fakt, że znajdują się w bezpośredniej strefie wpływów stolicy oraz przy głównych szlakach komunikacyjnych. Wszystko to powoduje, że mogą one pełnić funkcję obsługi ruchu turystyczno-rekreacyjnego (głównie sobotnio-niedzielnego). Gminy te powinny promować swoje walory krajobrazowe szczególnie wśród mieszkańców Warszawy, dla których mogą być atrakcyjnym miejscem wypoczynku i turystyki indywidualnej.

Do grupy drugiej, tzw. wiejskiej, można zaliczyć gminy: Leszno, Leoncin, Kampinos, Brochów, Młodzieszyn, które nie znajdują się tak blisko Warszawy i nie są położone przy głównych szlakach komunikacyjnych (wyjątek stanowi Leszno). Walory przyrodnicze związane z obecnością KPN są niewątpliwą zaletą tych gmin i dlatego mają szansę stać się atrakcyjnym miejscem wypoczynku dla turystów. Jednym z warunków rozwoju turystyki jest dostosowanie usług gastronomicznych do oczekiwań klientów, ale niestety infrastruktura gastronomiczna tych gmin znajduje się na dość niskim poziomie.

Duże znaczenie dla rozwoju tych gmin ma fakt, że znajdują się w bezpośredniej strefie wpływów stolicy oraz przy głównych szlakach komunikacyjnych. Wszystko to powoduje, że mogą one pełnić funkcję obsługi ruchu turystyczno-rekreacyjnego (głównie sobotnio-niedzielnego). Gminy te powinny promować swoje walory krajobrazowe szczególnie wśród mieszkańców Warszawy, dla których mogą być atrakcyj-

nym miejscem wypoczynku i turystyki indywidualnej.

Analiza stanu bazy noclegowej rejonu kampinoskiego wskazuje na dość ubogie zasoby w tym zakresie. W badanych gminach funkcjonuje kilka gospodarstw agroturystycznych (Izabelin, Leszno, Leoncin, Czosnów – po 1; Kampinos – 4) jednak ich usługi nie są promowane w sposób właściwy, ponadto poziom usług, jaki świadczą, znacznie odbiega od tego, czego oczekiwaliby turyści. Podobna sytuacja dotyczy usług hotelarskich, które oferowane są jedynie w gminach: Izabelin, Młodzieszyn, Czosnów (po 1 hotelu), Łomianki (hotel i motel), Leszno (2 hotele).

Wskazany byłby rozwój agroturystyki, zwłaszcza gospodarstw wyspecjalizowanych w konkretnej dziedzinie, np. w agroekoturystyce, organizowaniu szkoleń grupowych i zielonych szkół, organizowaniu tzw. wczasów w siodle.

## Wnioski

1. Wpływ poziomu infrastruktury technicznej na poziom życia i aktywizację obszarów wiejskich jest korzystny, nie podlegający wątpliwości. Zasoby infrastruktury stanowią jeden z najistotniejszych czynników rozwoju gospodarczego gmin.
2. Poziom infrastruktury decyduje o warunkach życia ludności, atrakcyjności i nowoczesności regionu, szansach i barierach rozwoju, efektywności produkcji rolniczej, procesie przeobrażeń i unowocześnieniu wsi, rozwoju działalności pozarolniczej, dynamice ludności i ochronie środowiska naturalnego.
3. Interpretując zależność między poziomem rozwoju infrastruktury i poziomem życia na wsi w kategoriach przyczynowo-skutkowych, mamy tu do czynienia z systemem sprzężeń zwrotnych. Infrastruktura techniczna znacznie częściej występuje w roli pierwotnego bodźca niż zwrotnej reakcji na poprawę warunków życia. Po pierwsze, sama jest bardzo istotnym elementem poprawy, po drugie, nieodzownym warunkiem możliwości zwiększenia dochodów.

## Literatura

JEZNACH J. 2000: Wpływ infrastruktury technicznej na aktywizację obszarów wiejskich. *Agricola*. SGGW, Warszawa.

Studium do strategii rozwoju agroturystyki i rekreacji w rejonie Kampinoskim 1999, (red.) M. Jeznach. SKP, Warszawa.

Założenia do strategii wybranych problemów z infrastruktury Gmin Kampinoskich 1999, (red.) K. Wierzbicki. IBMER, Warszawa.

## Summary

**Rural infrastructure on the Kampinos National Park.** The impact of technical infrastructure on the level of life and the economic activity in the rural areas is undoubtedly beneficial. Infrastructure constitutes one of the most important economic development constituents in a given administrative unit.

Its level is crucial for the conditions of life, attractiveness and modernity of a given region, chances and barriers of development, effectiveness of agricultural production, process of transformation and modernizing the countryside, development of

other types of activity, population dynamics and environmental protection.

Interpreting the relationship between the level of infrastructure development and the conditions of life in the countryside in terms of causal relationships, we are dealing here with a system of back couplings. Technical infrastructure constitutes the primary stimulus, rather than a feedback to better conditions of life. First of all, it is itself a very important element of the improvement, secondly, an indispensable condition for increasing the income.

**Authors' addresses:**
Jerzy Jeznach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
e-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

Maria Jeznach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka
i Konsumpcji
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
e-mail: jeznachm@alpha.sggw.waw.pl

**Zbigniew SZWEJKOWSKI[1] , Tomasz Paweł KUROWSKI[2],**

[1]Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Department of Meteorology and Climatology, Warmia and Mazury Uniwersity in Olsztyn
[2]Katedra Fitopatologii i Entomologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Department of Phytopathology and Entomology Warmia and Mazury Uniwersity in Olsztyn

# Badania wpływu czynników pogodowych na stopień inwazyjności patogenów grzybowych w środowisku na przykładzie pszenicy ozimej
# The investigations on impact of weather conditions on the fungi diseases infestation in environment on the example of winter wheat

**Słowa kluczowe:** choroby grzybowe, pszenica ozima, warunki pogodowe
**Key words:** fungi diseases, winter wheat, weather conditions

## Wprowadzenie

Patogeny grzybowe należą do groźnych czynników wywołujących choroby w środowisku. W sprzyjających warunkach porażenie nimi dochodzić może do 60% powierzchni roślin. Straty wynikające z ekstremalnych sytuacji infekcyjnych na poszczególnych plantacjach wynoszą od 30% (mączniak prawdziwy) do nawet 60% (rdza brunatna). W skali kraju coroczny ubytek plonu pszenicy, wynikający z silnego porażenia przez patogeny, dochodzi do około 25% (Smagacz 2000). Choroby te, oprócz obniżenia plonu, wpływają także wyraźnie na jego jakość poprzez zmianę składu chemicznego ziarna (Bac i Chrzanowska 1999, Kąkol i in. 1997). W większości przypadków nasilenie występowania chorób grzybowych wiąże się ze specyficznym przebiegiem warunków pogodowych. Dotyczy to głównie wilgotności powietrza w trakcie wegetacji, sumy opadów, a także temperatury w czasie rozwoju pszenicy, a nawet w okresie zimowym, gdy grzybnia i zarodniki mogą przetrwać lub zginąć (Eyal i Zir 1974). W przypadku łamliwości źdźbła zbóż i zgorzeli podstawy źdźbła bardzo duży wpływ na nasilenie ich występowania wywiera płodozmian; duży udział zbóż oraz jęczmień jary jako przedplon to czynniki podwyższające ryzyko infekcji (Ardell i in. 1999). Nie bez znaczenia są także czynniki technologii uprawy. Mączniak prawdziwy nasila swoje występowanie w warunkach zbyt gęstych

siewów. Ponadto rozwojowi tego grzyba sprzyja duża wilgotność panująca w łanie i stosunkowo niska temperatura w zakresie 10–15°C (Butler i in. 1999).

Celem podjętych badań było ustalenie zależności statystycznych między nasileniem występowania najważniejszych chorób grzybowych pszenicy w zależności od układu warunków pogodowych w trakcie wegetacji, łącznie z okresem zimowania. Zależności te z jednej strony będą mogły być traktowane jako wyjaśnienie bądź potwierdzenie związków w układzie pogoda – infekcja grzybowa, z drugiej zaś zaświadczą o możliwościach wykorzystania danych meteorologicznych do prognozowania stopnia porażenia pszenicy przez najważniejsze patogeny grzybowe.

## Materiały i metody

Badania wykonano na podstawie danych zebranych z wieloletnich doświadczeń polowych, które przeprowadzono w latach 1979–2002, w stacjach doświadczalnych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Porażenie roślin pszenicy ozimej przedstawiono w postaci indeksu porażenia (Łacicowa 1970). Obserwacjami objęto następujące gatunki patogentów grzybowych: mączniak prawdziwy zbóż i traw (*Erysiphe graminis*), septorioza liści (*Mycosphaerella graminicola* st. kon. *Septoria tritici*), septorioza plew (*Phaeosphaeria nodorum* st. kon. *Stagnospora nodorum*, syn. *Septoria nodorum*), rdza brunatna pszenicy (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*), łamliwość źdźbła zbóż (*Pseudocercosporella herpotrichoides*), zgorzel podstawy źdźbła (*Fusarium* spp. i inne). Wykonano analizę statystyczną regresji wielokrotnej, w której zmienną zależną pozostawał indeks porażenia, a zmiennymi niezależnymi zespół czynników pogodowych wyrażony pod postacią średniej temperatury dobowej i sumy opadów w okresie od września do lipca roku następnego. Wielkości te dotyczyły poszczególnych miesięcy (za okres od kwietnia do lipca wzięto do obliczeń wartości reprezentujące poszczególne dekady). Ogółem, każdorazowo występowało 38 zmiennych tego typu, przy od 40 do 56 obserwacjach. Wykonano analizę regresji krokowej, wykorzystując do tego celu pakiet STATISTICA*, po wstępnym wyeliminowaniu czynników wykazujących wzajemne związki korelacyjne.

## Wyniki

Analiza regresji dowiodła istnienia wielu związków międzykorelacyjnych między przebiegiem pogody a stopniem porażenia roślin przez patogeny grzybowe.

W przypadku łamliwości źdźbła zbóż jako istotne zmienne wyliczonych równań regresji okazały się warunki opadowe późnej jesieni i początku wiosny (tab. 1). Opady żadnego z późniejszych, wyróżnionych okresów dekadowych nie korelowały ze stopniem porażenia roślin. Średni błąd estymacji (SBE) tak zbudowanego modelu wyniósł 6,53 punktu procentowego.

* StatSoft, Inc. (1997). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, email: info@statsoftinc.com, WEB: http://www.statsoft.com

TABELA 1. Zależność indeksu porażenia pszenicy przez łamliwość źdźbła zbóż od warunków pogodowych
TABLE 1. Relationship between index of infestation of winter wheat by eyespot and meteorological data

| Zmienne niezależne<br>Independent variables | BETA | B | t | Poziom *p*<br>*p* level |
|---|---|---|---|---|
| Wyraz wolny/Intercept | – | –11,604 | –1,002 | 0,321 |
| Suma opadów w miesiącach i dekadach<br>Total of precipitations in months and decades | | | | |
| XI | 0,511 | 0,125 | 3,780 | 0,006 |
| III | –0,312 | –0,194 | –1,433 | 0,012 |
| IV.1 | 0,431 | 0,198 | 3,129 | 0,020 |
| IV.2 | 0,739 | 0,416 | 4,091 | 0,011 |
| Średnia temperatury miesięcy i dekad<br>Average air temperature in months and decades<br>XI | –0,198 | –1,182 | –2,345 | 0,025 |
| VI.3 | 0,912 | 1,290 | 2,463 | 0,049 |

$R = 0,816$, $R^2 = 0,665$, $R^2$ skorygowany = 0,477.
SBE: 6,533.

W odniesieniu do zgorzeli podstawy źdźbła jako istotne zmienne w równaniu regresji wystąpiły przede wszystkim sumy opadowe miesięcy wiosennych, niemal od początku ruszenia wegetacji do okresu początkowej dojrzałości (tab. 2). Jako istotne, towarzyszące warunki termiczne okazały się średnie z temperatury marca oraz pierwszej dekady kwietnia i trzeciej dekady maja. Równanie to charakteryzuje wprawdzie większa wartość skorygowanego współczynnika determinacji, w porównaniu do omawianego wcześniej, jednak większy okazał się też błąd estymacji. Według Korbasa i in. (2001) zgorzeli podstawy źdźbła sprzyja ciepła i wilgotna wiosna oraz gorące i suche lato. *Fusarium avenaceum* dobrze rozwija się w lata chłodne i wilgotne (rzadko u nas dominuje), natomiast *F. culmorum*, dominujący na naszym terenie, częściej jest izolowany w lata ciepłe z przelotnymi opadami.

Porażenie pszenicy przez mączniaka prawdziwego zbóż i traw, pod względem liczebności zmiennych tworzących postać uzyskanego równania, okazało się w niemal równym stopniu zależne zarówno od warunków opadowych, jak i termicznych (tab. 3). Przy tym równanie to charakteryzuje duża wartość wyrazu wolnego, co oznacza, że na obniżenie stopnia porażenia wpływ mają te zmienne, których współczynniki mają wartość ujemną. Okazały się nimi głównie warunki termiczne okresu wiosennego. Równanie to jednak charakteryzuje wartość skorygowanego współczynnika $R^2$ na poziomie jedynie 56% i jednocześnie stosunkowo wysoki błąd estymacji.

TABELA 2. Zależność indeksu porażenia pszenicy przez zgorzel podstawy źdźbła od warunków pogodowych
TABLE 2. Relationship between index of infestation of winter wheat by foot rot and meteorological data

| Zmienne niezależne<br>Independent variables | BETA | B | t | Poziom *p*<br>*p* level |
|---|---|---|---|---|
| Wyraz wolny/Intercept | – | 17,451 | 1,098 | 0,046 |
| Suma opadów w miesiącach i dekadach<br>Total of precipitations in months and decades | | | | |
| IV.1 | 0,534 | 0,345 | 2,946 | 0,031 |
| IV.2 | –0,333 | –0,276 | –2,962 | 0,038 |
| IV.3 | 0,421 | 0,640 | 1,928 | 0,049 |
| VI.1 | 0,543 | 0,628 | 1,987 | 0,035 |
| VI.2 | 0,422 | 0,432 | 2,402 | 0,014 |
| Średnia temperatura miesięcy i dekad<br>Average air temperature in months and decades | | | | |
| III | 0,311 | 3,780 | 2,998 | 0,024 |
| IV.1 | 0,651 | 2,144 | 3,432 | 0,035 |
| V.3 | –0,282 | –2,860 | –3,203 | 0,015 |

R = 0,833, $R^2$ = 0,693, $R^2$ skorygowany = 0,645.
SBE: 9,28.

TABELA 3. Zależność indeksu porażenia pszenicy przez mączniaka prawdziwego zbóż i traw od warunków pogodowych
TABLE 3. Relationship between index of infestation of winter wheat by powdery mildew and meteorological data

| Zmienne niezależne<br>Independent variables | BETA | B | T | Poziom *p*<br>*p* level |
|---|---|---|---|---|
| Wyraz wolny/Intercept | – | 79,863 | 3,193 | 0,024 |
| Suma opadów w miesiącach i dekadach<br>Total of precipitations in months and decades | | | | |
| XII | 0,498 | 0,377 | 2,558 | 0,016 |
| IV.3 | 0,705 | 1,275 | 4,392 | 0,017 |
| V.1 | –0,420 | –0,590 | –2,843 | 0,007 |
| VI.1 | 0,760 | 0,645 | 4,957 | 0,043 |
| VI.3 | 0,535 | 0,401 | 3,749 | 0,027 |
| VII.2 | 0,423 | 0,551 | 3,146 | 0,034 |
| Średnia temperatura miesięcy i dekad<br>Average air temperature in months and decades | | | | |
| IX | –0,711 | –6,788 | –4,222 | 0,013 |
| IV.1 | –0,548 | –5,245 | –1,980 | 0,017 |
| IV.3 | –0,823 | –6,233 | 3,144 | 0,031 |
| V.1 | –0,734 | –6,345 | –4,278 | 0,002 |
| V.3 | 0,228 | 3,211 | 3,287 | 0,045 |

R = 0,831, $R^2$ = 0,690, $R^2$ skorygowany = 0,569.
SBE: 11,27.

TABELA 4. Zależność indeksu porażenia pszenicy przez septoriozę plew od warunków pogodowych
TABLE 4. Relationship between index of infestation of winter wheat by glume blotch and meteorological data

| Zmienne niezależne<br>Independent variables | BETA | B | t | Poziom *p*<br>*p* level |
|---|---|---|---|---|
| Wyraz wolny/Intercept | | 97,714 | 2,19 | 0,02 |
| Suma opadów w miesiącach i dekadach<br>Total of precipitations in months and decades<br>IV.3 | 0,345 | 0,890 | 4,789 | 0,007 |
| Średnia temperatura miesięcy i dekad<br>Average air temperature in months and decades<br>XI | 0,511 | 4,123 | 1,234 | 0,041 |
| IV.1 | –0490 | –7,281 | –3,566 | 0,013 |
| IV.2 | –0,481 | –8,432 | –6,289 | 0,003 |
| VI.2 | –0,534 | –3,444 | –2,345 | 0,012 |

$R = 0,892$, $R^2 = 0,796$, $R^2$ skorygowany = 0,622.
SBE: 9,989.

Zupełnie odmiennie reagowały na warunki opadowe septoriozy. Porażenie septoriozą plew okazało się być zależne głównie od temperatury – dodatnio skorelowane w okresie przed zimowaniem i zdecydowanie ujemnie wiosną (tab. 4). W tym ostatnim przypadku, jak wykazała statystyka, korzystniejsze były okresy chłodnych początków wiosny i chłodnej połowy czerwca. Czynnik opadowy, jako znaczący, wystąpił tylko w okresie ostatniej dekady kwietnia. Wartość predykcyjna tego równania może wydawać się stosunkowo duża z powodu współczynnika skorygowanego determinacji, wynoszącego 0,622, co oznacza, że wyróżnione zmienne w ponad 60% (przy niższym od 10 punktów procentowych SBE) objaśniają zmienność porażenia pszenicy przez septoriozę plew. Obserwacje na doświadczeniach, nie poparte jednak ścisłymi obliczeniami statystycznymi, nie są adekwatne do powyższego, gdyż septorioza plew, jak podaje Korbas (1999), występuje w większym nasileniu po łagodnej zimie i w wilgotnych latach, o zwiększonej ilości opadów. Infekcji sprzyja duża wilgotność utrzymująca się na liściach przez 4–6 godzin i temperatura 16–20°C.

Porażenie septoriozą liści (tab. 5) w większym stopniu było skorelowane z opadami okresu zimowego. Ujemne wartości współczynników tych zmiennych w równaniu sugerują, iż choroba ta może się pojawiać w sytuacji suchszej jesieni oraz początku wiosny. Pozostałe opadowe zmienne istotne w tym równaniu sugerują następnie, że korzystna dla wzrostu infekcji tego grzyba jest opadowa pogoda pierwszej połowy maja. Dane z obserwacji potwierdzają, że septoriozie liści sprzyja duża wilgotność – przynajmniej 20 godzin zwilżenia liści (Korbas 1999).

Temperatura, jako czynnik kształtowania porażenia przez septoriozę liści, objawiła się jako ujemnie skorelowana wczesną jesienią oraz wiosną, dodatnio zaś w dwóch pierwszych

TABELA 5. Zależność indeksu porażenia pszenicy przez septoriozę liści od warunków pogodowych
TABLE 5. Relationship between index of infestation of winter wheat by septoria blotch and meteorological data

| Zmienne niezależne<br>Independent variables | BETA | B | t | Poziom *p*<br>*p* level |
|---|---|---|---|---|
| Wyraz wolny/Intercept | – | –12,967 | –1,831 | 0,026 |
| Suma opadów w miesiącach i dekadach<br>Total of precipitations in months and decades | | | | |
| X | –0,789 | –0,234 | –2,870 | 0,027 |
| XI | –0,346 | –0,123 | –3,411 | 0,023 |
| XII | –0,122 | –0,237 | –2,987 | 0,011 |
| IV.1 | –0,231 | –0,234 | 1,097 | 0,020 |
| V.1 | 2,098 | 0,905 | 2,234 | 0,011 |
| V.2 | 0,567 | 0,998 | 0,508 | 0,028 |
| Średnia temperatura miesięcy i dekad<br>Average air temperature in months and decades | | | | |
| X | –0,788 | –3,045 | –2,876 | 0,034 |
| III | –0,188 | 2,782 | –4,277 | 0,017 |
| VI.1 | 0,022 | 4,432 | 2,987 | 0,006 |
| VI.2 | 0,921 | 4,231 | 6,777 | 0,005 |

$R = 0,891$, $R^2 = 0,793$, $R^2$ skorygowany = 0,712.
SBE: 9,91.

dekadach czerwca. Czynnik weryfikacyjny równań, tj. skorygowana wartość $R^2 = 0,712$, klasyfikuje niniejszy model na najwyższym poziomie wartości predykcji spośród wszystkich analizowanych.

Równanie opisujące intensywność porażenia pszenicy przez rdzę brunatną (tab. 6) zawiera istotne zmienne, których współczynniki mając wartość dodatnią, wyraźnie wskazują na wpływ opadów atmosferycznych od końca kwietnia aż do połowy maja. Czynnik termiczny nie objawił się tu tak wyraźnie, a ponadto istotne zmienne termiczne pojawiły się w różnych przedziałach okresu wegetacji. Weryfikacja równania wartością skorygowanego współczynnika determinacji wykazała, iż zmienne istotne objaśniają wariancję indeksu porażenia tylko w około 45% ($R^2$ skorygowany = 0,445), jednak dyspersja wartości obserwowanych wokół linii regresji (średni błąd estymacji) była tu najmniejsza.

Reasumując wyniki analiz korelacyjnych, należy stwierdzić, że wpływ czynników pogodowo-temperaturowych na porażenie pszenicy przez patogeny grzybowe okazał się ściśle sezonowy, to znaczy, iż oddziaływały one tylko w określonym okresie kalendarzowym. Jak można przypuszczać, sumy opadów oraz przeciętny poziom temperatury atmosfery stymulują pojawy chorób zarówno bezpośrednio, o czym świadczą istotne korelacje w okresach pełni wegetacji, jak i pośrednio poprzez wpływ na formy przetrwalnikowe patogenów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można wnioskować, iż uzyskane równania mogą mieć praktyczne znaczenie dla prognozowania zagrożenia plantacji pszenicy ozimej przez patogeny grzybowe.

TABELA 6. Zależność indeksu porażenia pszenicy przez rdzę brunatną od warunków pogodowych
TABLE 6. Relationship between index of infestation of winter wheat by Brown rust and meteorological data

| Zmienne niezależne<br>Independent variables | BETA | B | t | Poziom *p*<br>*p* level |
|---|---|---|---|---|
| Wyraz wolny/Intercept | – | 3,289 | 1,141 | 0,063 |
| Suma opadów w miesiącach i dekadach<br>Total of precipitations in months and decades | | | | |
| IV.3 | 0,890 | 0,892 | 1,024 | 0,005 |
| V.1 | 0,971 | 0,479 | 2,984 | 0,018 |
| V.2 | 0,067 | 0,127 | 1,675 | 0,017 |
| VII.1 | 1,989 | 0,671 | 1,345 | 0,042 |
| VII.2 | –0,038 | –0,391 | –4,256 | 0,034 |
| Średnia temperatura miesięcy i dekad<br>Average air temperature in months and decades | | | | |
| X | 0,456 | 2,456 | 1,789 | 0,045 |
| III | 0,789 | 4,122 | 3,087 | 0,048 |
| V.2 | 0,498 | 1,710 | 6,234 | 0,037 |

$R = 0,798$, $R^2 = 0,636$, $R^2$ skorygowany = 0,445.
SBE: 8,38.

## Wnioski

1. Współczynniki determinacji (poprawione) równań regresji wielokrotnej między badanymi zmiennymi, będącymi uśrednionymi wartościami elementów meteorologicznych, a indeksem porażenia pszenicy ozimej przez patogeny grzybowe wahały się od 0,445 do 0,712. W większości przypadków zmienne istotne uzyskanych równań regresji decydowały o poziomie infekcji grzybowych na plantacjach pszenicy ozimej w skali powyżej 50%.
2. W największym stopniu obserwowana zmienność porażenia była objaśniana zmiennymi pogodowymi w przypadku septoriozy liści (około 71%), w najniższym zaś w odniesieniu do łamliwości źdźbła zbóż. W tym ostatnim przypadku większy wpływ wywierały prawdopodobnie czynniki technologii uprawy pszenicy.
3. Rozpatrując ilość istotnych zmiennych opisujących stopień porażenia roślin przez grzyby chorobotwórcze, stwierdzono większy udział warunków opadowych w stosunku do termicznych (za wyjątkiem septoriozy plew). Przy tym wzrost ilości opadów w danym okresie wpływał zarówno dodatnio, jak i ujemnie na indeks porażenia.
4. Największy udział istotnych zmiennych opadowych w równaniach regresji wystąpił w przypadku mączniaka prawdziwego zbóż i traw oraz septoriozy liści i dotyczyło to głównie okresu pełnej wegetacji.

## Literatura

ARDELL D., HALVORSON A.L., BLACK J.M., KRUPINSKY S.D., MERRILL D. 1999: Dryland Winter Wheat Response to Tillage and Nitrogen within an Annual Cropping System. *Agron. J.* 91: 702–707.

BAC S., CHRZANOWSKA B. 1999: Wpływ warunków pogodowych na plonowanie oraz jakość plonu i zdrowotność pszenicy. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 202: 15–22.

BUCHELI E., SHYKOF F. 1999: The influence of plant spacing on density-dependent versus frequency-dependent spore transmission. *Oecologia* 119, 1: 55–62.

BUTLER M.D., FARRIS N.A, BURR R.J. 1999: Evaluation of fungicides for powdery mildew and stripe rust control in kentucky bluegrass in central Oregon, 1998 seed production research at oregon state university USDA-ARS cooperating Ext/crs 112, 4.

EYAL Z., ZIR O. 1974: The relationship between epidemics of septoria leaf blotch and yeald losses in wheat. *Phytopatol.* 64: 1385–1389.

KĄKOL E., STANKIEWICZ Cz., STEC E. 1997: Wpływ infekcji pszenicy ozimej mączniakiem i rdzą brunatną na skład chemiczny liścia flagowego i wybrane fizyczne oraz chemiczne parametry ziarna. *Fragm. Agronom.* 1: 79–89.

KORBAS M. 1999: Choroby i szkodniki zbóż. Wydaw. Multum, Poznań.

KORBAS M., MARTYNIUK S., ROZBICKI J., BEALE R. 2001: Zgorzel podstawy źdźbła oraz inne choroby podsuszkowe zbóż. Fundacja „Rozwój SGGW", Warszawa.

LACICOWA B. 1970: Badanie szczepów *Helminthosporium sorokinianum* (=*H. sativum*) oraz odporności odmian jęczmienia jarego na ten czynnik chorobotwórczy. *Acta Mycol.* 6 (2): 184–248.

SMAGACZ J. 2000: Porażenie przez choroby podstawy źdźbła oraz plonowanie rodów i odmian pszenżyta. *Fragm. Agronom.* 1: 71–78.

## Summary

**The investigations on impact of weather conditions on the fungi diseases infestation in environment on the example of winter wheat.** Fungi diseases are the most serious threat to winter wheat crops in Poland causing losses of yield of up to 25%. Weather factors affect the types and intensity of disease outbreaks. The paper contains analysis of the impact of pre-onset as well as contemporaneous weather conditions such as temperature (both average and max/min), rainfall, and relative humidity on the frequency of infections caused by following pathogens: powdery mildew (*Erysiphe graminis*), septoria blotch (*Mycosphaerella graminicola* st. kon. *Septoria tritici*), glume blotch (*Phaeosphaeria nodorum* st. kon. *Stagnospora nodorum*, syn. *Septoria nodorum*), brown rust (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*), eyespot (*Pseudocercosporella herpotrichoides*), foot rot (*Fusarium* spp. and other). Several multiple stepwise (Backward Removal Method) regression models were estimated using linear functional form to examine how weather factors impact the wheat crop vulnerability to those pathogens. The results of this study contribute to our ability to forecast the magnitude and characteristics of disease outbreaks in the future based on observed meteorological data, thus enabling us to take optimal protective measures.

**Autor's address:**
Zbigniew Szwejkowski
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Katedra Meteorologii i Klimatologii
10-718 Olsztyn, ul. Prawocheńskiego 21
Poland

**Barbara BANASZKIEWICZ, Monika PANFIL**

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Department of Meteorology and Climatology, Warmia and Mazury University in Olsztyn

# Zmienność temperatury powietrza w północnej Polsce
# Variability of air temperature in northern Poland

**Słowa kluczowe:** zmienność temperatury, tendencje, okresowość
**Keywords:** variability of temperature, tendency, periodicity

## Wprowadzenie

Obszar Polski Północnej wykazuje zarówno cechy regionalnej odrębności zmienności klimatycznej, jak i cechy zmienności charakterystyczne dla całej Polski (Żmudzka 1995). W badaniach dotyczących tego obszaru wielokrotnie opierano się na serii „koszalińskiej", należącej do nielicznych w Polsce długoletnich serii obserwacyjnych; m.in. Miętus (1996) wyznaczył okresowość średniej rocznej temperatury wynoszącą 7,75 i 12,99 lat w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego Lorenc zaś (1994) stwierdziła cykliczność średniej rocznej temperatury powietrza w Koszalinie w latach 1901–1990 o 7,7-letnim okresie. Seria średniej miesięcznej i rocznej wartości temperatury powietrza w Koszalinie z lat 1848–1990 niedawno została uznana za homogeniczną (po wprowadzeniu poprawek) oraz uzupełniona, stanowiąc tym cenniejszy materiał do analiz (Miętus 2002). Zmienność poszczególnych elementów klimatu jest od kilkudziesięciu lat wciąż aktualnym problemem badawczym. W pracy podjęta została próba zbadania zmienności temperatury powietrza w północnej Polsce. Opracowanie obejmuje badanie długookresowych (140-letnich) i krótkookresowych (40-letnich) zmian temperatury powietrza w północnej Polsce; zawiera porównanie wartości średnich w wieloleciach, analizę tendencji czasowych i okresowości.

## Materiały i metody

Materiały źródłowe stanowiły miesięczne i roczne wartości temperatury powietrza w Szczecinie, Szczecinku, Kościerzynie, Olsztynie i Suwałkach, z lat 1951–1990, uzyskane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, oraz wartości miesięcznej i rocznej temperatury powietrza z lat 1851–1990 w Koszalinie przedstawione w publikacji Miętusa (2002). Porównanie wartości średnich miesięcznych temperatury

z lat 1951–1990 ze średnimi z lat 1881–1930 i 1931–1960 (Klimakunde des Deutschen Reiches 1939, Hohendorf 1956, Atlas klimatyczny Polski 1979) przeprowadzono za pomocą statystyki:

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}_o}{S}\sqrt{n-1} \qquad (1)$$

gdzie:

$\bar{y}$ – wartość średnia elementów meteorologicznych z lat 1951–1990,

$\bar{x}_o$ – wartość średnia odpowiadających danych z porównywanego wielolecia,

$n$ – liczba lat,

S – odchylenie standardowe.

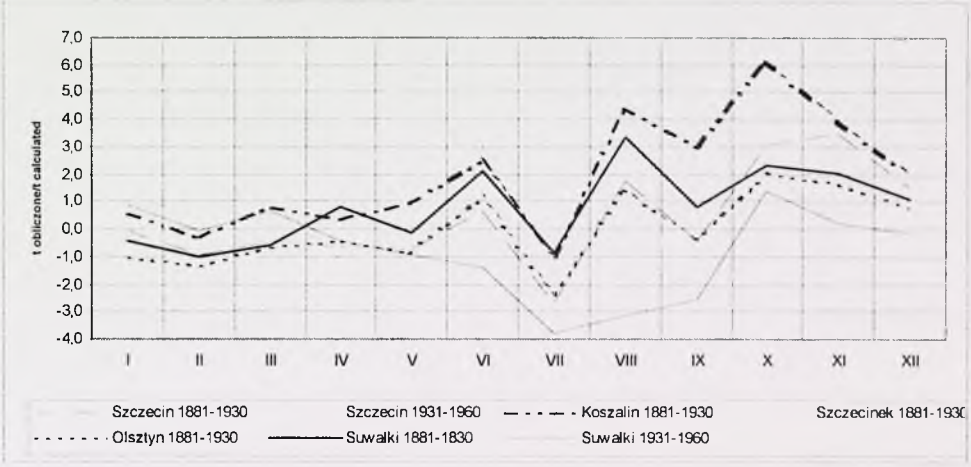
Statystyka ta ma rozkład t-Studenta z $n - 1$ stopniami swobody (Greń 1976).

Dla zbadania tendencji czasowych zmian analizowanych elementów meteorologicznych obliczono liniowe równania regresji. Za pomocą statystyki t-Studenta testowano istotność współczynników regresji na poziomach $\alpha = 0{,}05$, $\alpha = 0{,}01$, $\alpha = 0{,}001$. Dla całości wyznaczonych równań obliczono również wartość statystyki F oraz błąd standardowy estymacji.

Badania struktury harmonicznej szeregu czasowego wykonano metodą analizy pojedynczego widma Fouriera. Badano okresowość średniej rocznej temperatury powietrza wielolecia 1851–1990 w Koszalinie. Analizę przeprowadzono dla szeregów przefiltrowanych (Filtr 4253H), bez średniej i trendu liniowego dla okna Hamminga (5) (Statistica 1995). Istotność okresowości badano testami Kołmogorowa-Smirnowa, d'Bartletta dla jednej próbki oraz testem Fishera Kappa (podającym wartości przewyższenia maksymalnego periodogramu powyżej średniej periodogramu). Istotność okresowości badano również poprzez dopasowanie rozkładu wykładniczego – testując rozkład wartości periodogramu względem rozkładu wykładniczego, można sprawdzić, czy szereg wejściowy różni się od białego szumu. Obliczono wartości średniej rocznej temperatury powietrza dla Koszalina w latach 1851–2030, przyjmując kolejno parametry czterech pierwszych składowych periodogramu.

## Wyniki

Porównanie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza z lat 1951–1990 w północnej Polsce i odpowiednich wartości średnich z lat 1881–1930 i 1931–1960 wykazało występowanie niewielkich i nieistotnych różnic ich wartości w miesiącach od stycznia do maja (rys. 1). W badanych miejscowościach wartości średniej miesięcznej temperatury z lat 1951–1990 są większe w czerwcu oraz w miesiącach od października do grudnia; tylko w Suwałkach średnia miesięczna temperatura grudnia z okresu 1931–1960 była wyższa. Najbardziej i przeważnie istotnie wzrosła średnia miesięczna temperatura października, natomiast wartości średniej miesięcznej temperatury lipca są mniejsze od wartości średnich miesięcznych z wieloleci 1881–1930 i 1931–1960. Obserwowane zmiany średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w badanych miejscowościach północnej Polski są w przeważających przypadkach zgodne (co do wartości i znaku) ze zmianami obserwowanymi w Koszalinie.




Objaśnienia/Explanations:
Wartość t obliczona według wzoru (1)/t-value calculated according to formula (1).

RYSUNEK 1. Porównanie wartości średniej miesięcznej temperatury z lat 1951–1990 i 1881–1930 oraz 1931–1960
FIGURE 1. The comparison monthly mean values of air temperature of the year 1951–1990 and 1891–1930 as well as 1930–1960

Wyniki uzyskane z analizy trendu liniowego średniej miesięcznej temperatury powietrza w wieloleciu 1851–1990 w Koszalinie wskazują na niewielkie ocieplenie występujące we wszystkich miesiącach z wyjątkiem lipca. Średnia roczna temperatura tego okresu wykazuje również dodatni, istotny na poziomie $\alpha = 0{,}001$, wzrost temperatury o wartość 0,0077 °C/rok.

Średnia miesięczna temperatura powietrza w okresie 40-lecia 1951–1990 (rys. 2) wykazała tendencje wzrostowe, głównie w miesiącach zimowych i wiosennych we wszystkich badanych miejscowościach Polski Północnej. W miesiącach letnich, w zachodniej części badanego regionu, tendencje spadkowe temperatury występują tylko w czerwcu i wrześniu, natomiast we wschodniej Polsce spadkowe tendencje temperatury obejmują cały okres od czerwca do września w Olsztynie i od czerwca do października w Suwałkach.

Zestawienie wyników analizy widmowej dokonanej metodą pojedynczego widma Fouriera dotyczące pięciu najsilniejszych wahań cyklicznych wartości średniej rocznej temperatury w Koszalinie w latach 1851–1990 zawiera tabela 1. Badanie rozkładu wartości periodogramów względem rozkładu wykładniczego wykazało, że szeregi wyjściowe różnią się od białego szumu na poziomie $\alpha = 0{,}001$.

Średnia roczna temperatura powietrza w latach 1851–1990 w Koszalinie wahała się od 4,9°C (minimum w 1972 roku) do 9,5°C (maksimum w 1989 roku). Dominującym cyklem średniej rocznej temperatury w Koszalinie w badanych latach jest 7,78-letni oraz kolejno 10,77-, 12,73-, 17,50- i 20,00-letnie. Średnia roczna temperatura powietrza w Koszalinie, opisana wypadkową krzywą według czterech pierwszych najsilniejszych cykli (rys. 4), zawiera w sumie 39% całkowitej wartości periodogramu.

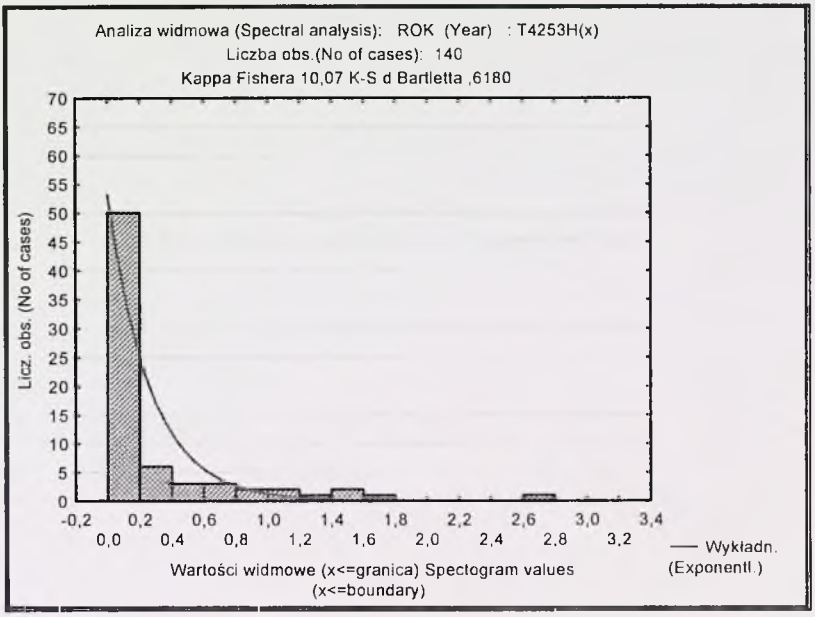
Objaśnienia/Explanations:
°C/rok – wartości współczynników regresji równań trendu czasowego.
°C/year – values of coefficients of regression of time trend.

RYSUNEK 2. Tendencje zmian średniej miesięcznej temperatury powietrza w latach 1951–1990
FIGURE 2. Coefficients of regression of time trend of the monthly air temperature of the 1951–1990 period

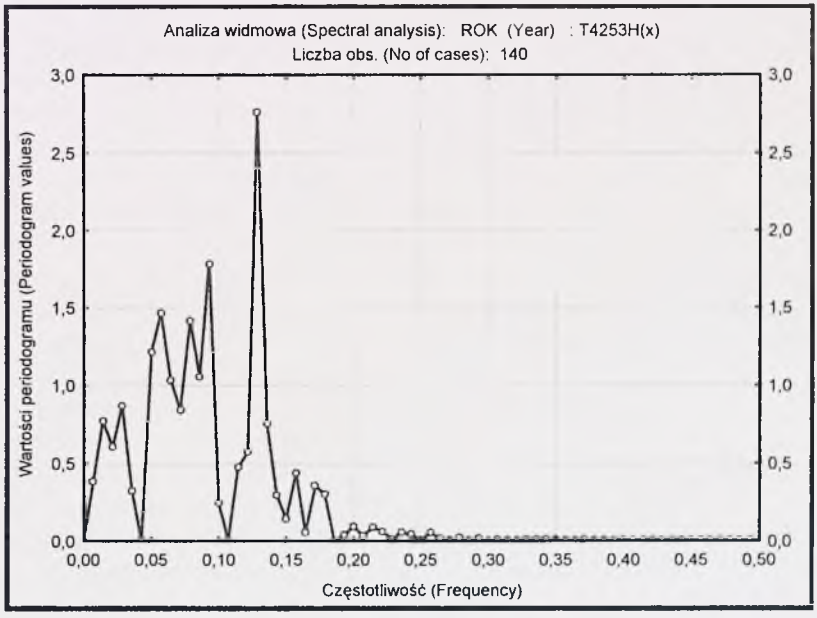
TABELA 1. Wyniki analizy widmowej średniej rocznej temperatury powietrza w Koszalinie w latach 1851–1990, największe wartości periodogramu
TABLE 1. The spectral analysis results of mean annual air temperature in Koszalin in the years 1851–1990, largest values of periodogram

| Element meteorologiczny Meteorological element | Częstotliwości Frequency | Okres [lata] Period [year] | Współczynnik przy cos Cosine coeffs | Współczynnik przy sin Sine coeffs | Periodogramy Periodograms | Gęstość Density | Procent ogólnej wartości periodogramów % sum of all periodograms values |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Średnia roczna temperatura powietrza | 0,1286 | 7,78 | 0,1596 | –0,1183 | 2,7615 | 1,5798 | 14,6 |
| | 0,0929 | 10,77 | 0,1452 | –0,0662 | 1,7835 | 1,1612 | 9,4 |
| Mean annual air temperature Koszalin (1851–1990) | 0,0571 | 17,50 | 0,0045 | –0,1447 | 1,4661 | 1,2268 | 7,7 |
| | 0,0786 | 12,73 | –0,0543 | –0,1315 | 1,4172 | 1,1914 | 7,5 |
| | 0,0500 | 20,00 | 0,1317 | 0,0033 | 1,2153 | 0,9463 | 6,4 |

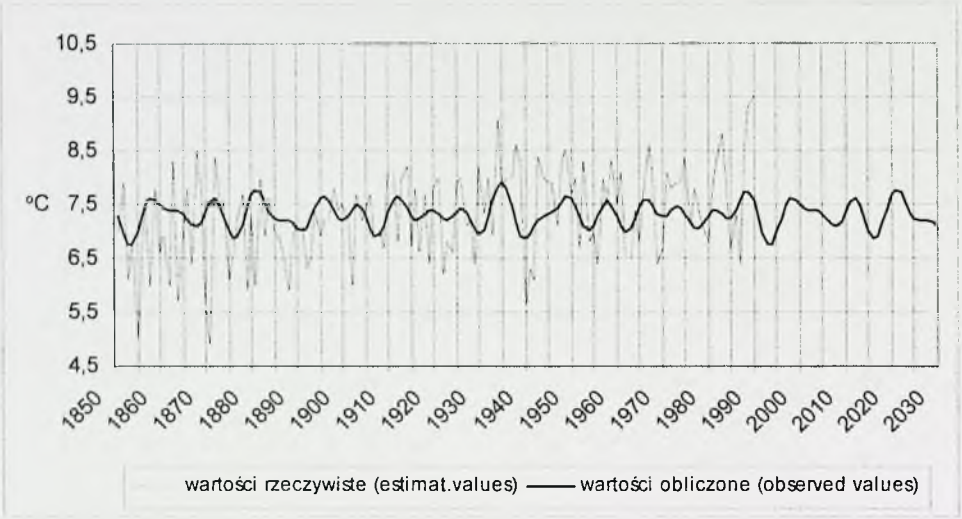
a




b




RYSUNEK 3. Histogram wartości periodogramu (a) i periodogram średniej rocznej temperatury powietrza w Koszalinie (b) w latach 1851–1990
FIGURE 3. Histogram of periodogram values (a) and periodogram values of mean annual air temperature in Koszalin (b) of the period 1851–1990




RYSUNEK 4. Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Koszalinie
FIGURE 4. The course of mean annual air temperature in Koszalin

W latach 1851–2030 waha się od minimum o wartości 6,8°C – występującego w 1953 roku, do maksimum wynoszącego 7,9°C w 1935 roku. Maksima drugorzędne średniej rocznej temperatury o nieco mniejszej wartości, wynoszącej 7,8°C, występują w latach 1881 i 2021, dalszego rzędu o wartości 7,7 °C w latach 1896, 1912 i 1989. Minima drugorzędne, o wartości 6,9°C, występują w latach 1876, 1907, 1940 i 2016.

## Wnioski

1. Porównanie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza z lat 1951–1990 w północnej Polsce i odpowiednich wartości średnich z lat 1881–1930 i 1931–1960 wykazało, że wartości średniej miesięcznej temperatury z lat 1951–1990 na całym badanym obszarze są większe w czerwcu oraz w miesiącach od października do grudnia (tylko w Suwałkach średnia miesięczna temperatura grudnia z okresu 1931–1960 była wyższa). Najbardziej i przeważnie istotnie wzrosła średnia miesięczna temperatura października.
2. Średnia miesięczna temperatura powietrza z lat 1951–1990 w północnej Polsce wykazała tendencję wzrostową w miesiącach zimowych, natomiast tendencja spadkowa temperatury wystąpiła generalnie od czerwca do września.
3. Obserwowane zmiany średniej miesięcznej temperatury powietrza w Koszalinie są w większości przypadków reprezentatywne dla obszaru północnej Polski.
4. Średnia roczna temperatura w wieloleciu 1851–1990 w Koszalinie wykazuje dodatni, istotny na poziomie $\alpha = 0{,}001$ wzrost temperatury o wartość 0,0077 °C/rok.

5. Analiza widmowa szeregów czasowych średniej rocznej temperatury powietrza w Koszalinie z lat 1851–1990 wykazała występowanie 7,78-, 10,77-, 12,73-, 17,50- i 20,00-letniej istotnej okresowości. Kolejność okresów uszeregowana jest według malejących wartości periodogramu.

## Literatura


Atlas klimatyczny Polski. Część tabelaryczna 1979: Zeszyt 2a. Temperatura powietrza. IMGW, Wydawn. Komunikacji i Łączności, Warszawa.

GREŃ J. 1976: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN, Warszawa.

HOHENDORF E. 1956: Klimat Pojezierza Mazurskiego. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej w Olsztynie* 1.

Klimakunde des Deutschen Reiches 1939. Berlin.

LORENC H. 1994: Symptomy zmian klimatu w strefach ograniczonych wpływów antropogenicznych. Materiały Badawcze IMGW. Seria: *Meteorologia* 19.

MIĘTUS M. 1996: Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030. Materiały Badawcze IMGW. Seria: *Meteorologia* 26.

MIĘTUS M. 2002: O ciągłości i jednorodności wieloletnich serii klimatycznych na przykładzie rezultatów w Koszalinie. Działalność naukowa Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja. Sympozjum klimatologiczne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, 16–17 IX 1993, Toruń.

Statistica 1995, Statsoft.

ŻMUDZKA E. 1995: Tendencje i cykle zmian temperatury powietrza w Polsce w latach 1951–1990. *Przegl. Geof.* 40, 2: 129–139.


## Summary


**Variability of air temperature in northern Poland.** The paper presents analysis results of variability of air temperature in northern Poland. The comparison monthly mean values of air temperature of the 1951–1990 period with adequate values of 1881–1930 and 1931–1960 revealed that values of the 1951–1990 years are higher on the all investigated area in June and also generally in period from October to December (Figure 1). Monthly mean air temperature in the years of 1951–1990 revealed often increasing tendency in winter months, March and May; however descending trend of air temperature occurred generally from June to September (Figure 2). The observed changes of mean values of monthly air temperature in Koszalin are in prevailing cases representative for all area of northern Poland. The spectral (Fourier) analysis of mean annual air temperature in Koszalin of the period 1851–1990 was done also. The data were filtered (it was used the 42351l filter), the linear trend and means values were removed from the series before the analysis. The periodogram values was computed using Hamming window (5). Four dominant cycles found in Fourier analysis were used to predict the temperature for the 1851–2030 period (Figure 4).



**Autors' address:**
Barbara Banaszkiewicz, Monika Panfil
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Katedra Melioracji i Klimatologii
10-718 Olsztyn, ul. Prawocheńskiego 21
Poland

**Katarzyna ROZBICKA, Małgorzata KLENIEWSKA, Wiesława PRZEWOŹNICZUK**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Zakład Meteorologii i Klimatologii
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU
Division of Meteorology and Climatology

# Charakterystyka zapylenia na Ursynowie-SGGW w 2002 roku
# Particulate matter characteristic in Ursynów-WAU in the year 2002

**Słowa kluczowe:** atmosfera, zapylenie
**Key words:** atmosphere, particulate matter

## Wprowadzenie

Problemem zapylenia powietrza zajmowano się od dawna, pierwszą książkę omawiającą szkodliwe działanie pyłów napisał w 1524 roku Georgius Agricola – „De re metalica". Współczesne przyrządy i metody pomiarowe pozwalają na szczegółową analizę ilościową i jakościową zapylenia powietrza. Pyły w odróżnieniu od gazów nie są zanieczyszczeniami jednorodnymi, a na stopień ich szkodliwości wpływa skład chemiczny i mineralogiczny oraz rozmiary ziaren. Zdefiniowanie pojęcia „pył" stwarza trudności. W uproszczeniu można powiedzieć, że pyłem nazywamy mieszaninę małych cząstek stałych zawieszonych w powietrzu (faza rozproszona układu dwufazowego ciało stałe – gaz). Obecnie, ze względu na rozmiary cząstek stosuje się następujący podział pyłów (Juda-Rezler 2000):

- całkowity pył zawieszony TSP (ang. Total suspended particulates) – oznacza całkowitą zawartość pyłu w powietrzu,
- pył drobny PM10 (ang. Particulate matter) – oznacza frakcję pyłu zawieszonego, której cząstki mają średnice mniejsze od 10 μm,
- pył bardzo drobny PM2.5 – jest to frakcja pyłu zawieszonego, o rozdrobnieniu koloidalnym, w której cząstki mają średnice mniejsze od 2,5 μm.

W raportach Inspekcji Ochrony Środowiska stosowany jest podział na:

- pył, którego stężenia mierzy się metodą reflektometryczną (oznaczany symbolem BS, od ang. Black smoke),
- pył zawieszony o średnicy równoważnej ziaren do 10 μm (PM10),

- pył zawieszony ogółem, którego stężenie mierzy się metodą wagową lub automatyczną, bez separacji frakcji poniżej 10 μm (TSP).

Podział ten wynika z metod stosowanych w pomiarach stężeń pyłu w Polsce (równocześnie wyniki pomiarów prowadzonych stosowanymi obecnie metodami są nieporównywalne i wymagają odrębnych ocen i analiz) oraz z przepisów w sprawie dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w powietrzu, które wprowadzają odrębne normy dla pyłu PM10 i pyłu TSP.

Głównymi naturalnymi źródłami pyłów są materiały osadowe, aerozole morskie, roślinne i zwierzęce, wybuchy wulkanów, pożary lasów. Antropogenicznymi źródłami pyłów w powietrzu są właściwie wszystkie procesy produkcyjne i procesy spalania paliw (zwłaszcza paliw stałych). Szczególnie dużo pyłów emitowanych jest z energetyki, przemysłu chemicznego, wydobywczego, metalurgicznego oraz budowlanego (zwłaszcza produkcja cementu). W Polsce pyły emitowane są w bardzo zbliżonych proporcjach z sektorów: energetyki, przemysłu i komunalno-bytowego. Emisja całkowita pyłów jest bardzo duża i mimo znacznej jej redukcji, w ostatnich latach, Polska pozostaje nadal jednym z głównych emitorów pyłów w Europie. Również wskaźniki emisji w odniesieniu zarówno do jednego mieszkańca i 1 $km^2$ powierzchni kraju, jak i do produktu krajowego brutto należą do najwyższych na naszym kontynencie. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest dominująca rola węgla jako nośnika energii, wysoka energochłonność gospodarki oraz duży udział przemysłu wydobywczego i metalurgicznego w gospodarce.

Pyły oddziałują szkodliwie przede wszystkim na zdrowie ludzkie, a także na roślinność, gleby, wody i materiały oraz ograniczają widzialność. Wspólnie z dwutlenkiem siarki i innymi związkami przyczyniają się do powstawania zjawiska czarnego smogu oraz mają osłabiający wpływ na efekt cieplarniany.

Zanieczyszczenia pyłowe przedostają się do organizmu człowieka przede wszystkim przez drogi oddechowe lub pośrednio przez układ pokarmowy, kiedy spożywana jest skażona żywność (szczególnie dotyczy to metali ciężkich). Największą szkodliwość mają pyły najmniejsze PM2.5, które przenikają do najgłębszych partii płuc, gdzie są akumulowane. Pyły PM10 przenikają do płuc, ale się tam nie akumulują; mogą się akumulować w górnych odcinkach dróg oddechowych. Powodują one wiele bardzo poważnych skutków zdrowotnych, m.in. przedwczesną śmierć, nasilenie astmy, ostre reakcje układu oddechowego. Toksyczność pyłów zależy od rozmiaru ziaren oraz od składu chemicznego i mineralogicznego. Do pyłów szczególnie toksycznych należą te zawierające związki metali ciężkich (przede wszystkim arsenu, ołowiu kadmu, niklu i rtęci), z których niektóre mają właściwości mutagenne i/lub kancerogenne.

W Polsce obowiązują aktualnie ustalone normy dopuszczalne stężenia pyłów, które będą w przyszłości porównywalne z normami obowiązującymi w Europie, ustalonymi przez Unię Europejską.

Pyły oddziałują w zasadzie mniej szkodliwie na roślinność lądową niż gazy. Ich szkodliwe oddziaływanie polega głównie na pokrywaniu liści

warstwą izolującą, ograniczającą działanie promieniowania słonecznego. Powodują zatykanie aparatów szparkowych liści, co może prowadzić do zakłóceń w procesie fotosyntezy i w przebiegu innych funkcji metabolicznych wewnątrz liści. Pochłaniają i rozpraszają także większą część promieniowania ultrafioletowego, które ma duże znaczenie biologiczne. Zmniejszenie jego intensywności powoduje wzrost ilości bakterii w powietrzu i hamuje rozwój roślinności. W rejonach o dużym zapyleniu zaobserwowano spadek wydajności plonów.

Oddziaływanie pyłów na wody powierzchniowe i podziemne uwarunkowane jest zawartością w pyle kationów zasadowych, które mogą przeciwdziałać ich zakwaszeniu. Najbardziej szkodliwe są, tak jak dla innych elementów środowiska, pyły zawierające metale ciężkie. W wodach powierzchniowych metale ciężkie zawarte w pyłach osiadają na dnie i łączą się z osadami dennymi oraz są akumulowane w organizmach roślinnych i zwierzęcych. Część metali ciężkich zdeponowanych w glebie jest wymywana do wód podziemnych, stwarzając poważne zagrożenie dla ich czystości (Juda-Rezler 2000).

## Materiał i metoda

Zapylenie powietrza jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących stopień zanieczyszczenia atmosfery. Można je rozpatrywać w trzech wyraźnie wydzielonych fazach: emisji, rozprzestrzeniania się oraz osiadania (sedymentacji).

Technika pomiarów obejmuje wszystkie wymienione fazy, z tym jednak, że w każdej z nich ma do spełnienia inne zadania i operuje innymi metodami (Juda i Chróściel 1974).

Systemy poboru do pomiarów zanieczyszczeń pyłowych są bardziej skomplikowane od systemów poboru zanieczyszczeń gazowych, gdyż:

- średnice cząstek pyłu są większe od średnic molekuł gazowych (np. $N_2$, $O_2$) i w związku z tym w powietrzu zachowują się inaczej,
- dla zanieczyszczeń gazowych określa się jedynie masę jako jego stężenie, natomiast dla pyłu, oprócz stężenia, należy określić rozmiary cząstek i skład chemiczny.

Zanieczyszczenia pyłowe charakteryzuje się trzema parametrami:

- stężeniem zanieczyszczenia wyrażonym jako masa tego zanieczyszczenia (w μg) przypadająca na jednostkę objętości powietrza (w $m^3$),
- składem granulometrycznym, czyli wielkością cząstek pyłu,
- składem chemicznym.

Do określenia stężenia należy wszystkie cząstki materii stałej oddzielić od znanej objętości powietrza i zmierzyć ich całkowitą masę. Jedną z metod polegającą na rozdzieleniu frakcji pyłu z przepływającego strumienia powietrza jest filtracja. Pomiaru masy dokonuje się poprzez ważenie filtrów przed zainstalowaniem ich w analizatorze i po okresie pracy tych filtrów. Rozmiar cząstek pyłu może być określany na podstawie: średnicy aerodynamicznej, podatności na działanie elektrostatyczne lub właściwości rozpraszania światła (Stern i in. 1994). Te same cząstki można poddać analizie chemicznej i określić

skład chemiczny każdej z frakcji. Informacje te są przydatne do określania źródeł pochodzenia pyłu i zrozumienia procesów zachodzących między cząstkami materii stałej w powietrzu.

Całkowitą zawartość pyłów w atmosferze można oznaczać dwiema metodami (Kulig i in 1984):

- sedymentacyjną – ilość pyłu opadająca na jednostkę powierzchni w jednostce czasu,
- aspiracyjną – ilość pyłu zawieszonego w jednostce objętości powietrza.

Na stacji Ursynów-SGGW pomiary zapylenia powietrza wykonywane są od stycznia 2002 roku za pomocą pobornika próbek pyłu 8-kanałowego typ MVS 6D. Jest on przeznaczony do określania stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu (PM10) metodą aspiracyjną (za Kuligiem i in.. 1984). Zaprogramowany jest na pracę periodyczną, tzn. kolejno przełącza przepływ powietrza na filtry, od 1 do 8, i bez wyłączania przechodzi do następnego cyklu, od filtra 1 do 8. Próbka powietrza zasysana jest pompą próżniową i przepływ powietrza mierzony jest między filtrem a pompą przy użyciu przepływomierza różnicowego. Próbka powietrza, po przejściu przez filtr usuwający drobiny węgla pochodzące z łopatek pompy, wyprowadzana jest na zewnątrz pobornika. Przystosowany jest on do filtrów o średnicy 50/47 mm. Pył zgromadzony na filtrze poddawany jest analizie ilościowej (Instrukcja obsługi 2000), tzn. dokonuje się pomiaru masy przez ważenie filtrów przed zainstalowaniem ich w pyłomierzu i po okresie pracy tych filtrów. Aby wyeliminować wpływ absorpcji pary wodnej przez cząstki pyłu, filtry są przechowywane i ważone zawsze w stałych, standardowych warunkach.

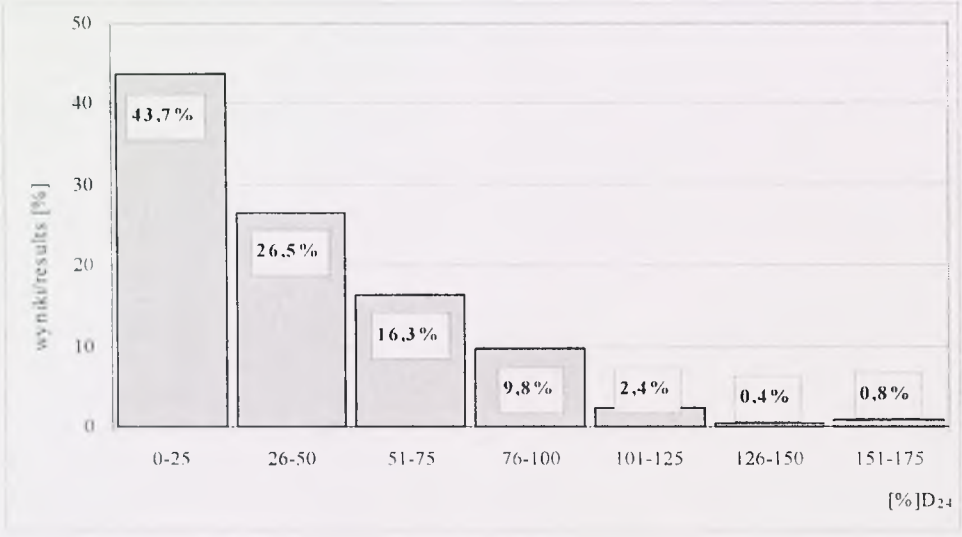
W niniejszym opracowaniu po raz pierwszy dla Ursynowa-SGGW podjęto próbę analizy wyników pomiarowych pyłu zawieszonego (PM10) dla 2002 roku (I–XII). Dla tego okresu obliczono średniodobowe stężenia pyłu zawieszonego (PM10) i porównano je z średniodobowymi wartościami dopuszczalnymi ($D_{24}$). Uzyskano 245 wartości. Obliczono średnie miesięczne i średnioroczne stężenia pyłu PM10 oraz stężenia dla półrocza ciepłego i chłodnego (tab. 1). Następnie dobowe stężenia pyłu wyrażono w procentach w stosunku do wartości dopuszczalnej $D_{24}$ (rys. 1). W celu powiązania zapylenia z warunkami meteorologicznymi wykonano analizę stężenia pyłu w zależności od kierunku wiatru. Na podstawie godzinnych wartości kierunku wiatru obliczono częstości występowania kierunku wiatru i każdej dobie przypisano najczęściej występujący kierunek. Na tej podstawie dla każdego miesiąca obliczono średnie stężenia pyłu dla 8-kierunkowej róży wiatrów (tab. 2).

## Wyniki

W badanym okresie stężenia średniodobowe wahały się od 5,1 do 215 $\mu g/m^3$, co stanowi odpowiednio od 4 do 172% średniodobowej wartości dopuszczalnej ($D_{24}$ = 125 $\mu g/m^3$) (Raport... 2001). Średniodobowa wartość dopuszczalna stężenia pyłu zawieszonego została przekroczona 8 razy w całym okresie pomiarowym (9 i 10 IV, 17 i 18 IV, 27 VIII, 29 VIII, 3 IX oraz 14 IX). Średnie miesięczne wartości stężenia

TABELA 1. Średnie miesięczne, okresowe i roczne wartości stężenia pyłu zawieszonego (w $\mu g/m^3$) na Ursynowie-SGGW w 2002 roku
TABLE 1. Mean monthly, mean periods and annual mean concentration values of particulate matter (in $\mu g/m^3$) in Ursynów-WAU in 2002

| Miesące Months | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stężenie pyłu Concentration of particulate matter | 41,2 | 17,9 | 47,1 | 82,9 | 53,6 | 42,9 | 41,3 | 69,3 | 63,9 | 27,4 | 39,3 | 57,7 |
| Średnia roczna Annual mean | 48,7 | | | | | | | | | | | |
| Półrocze Ciepłe Summer half-year period | 59,0 | | | | | | | | | | | |
| Półrocze chłodne Winter half-year period | 38,4 | | | | | | | | | | | |




RYSUNEK 1. Procentowy udział dobowych stężeń pyłu w określonych przedziałach wartości dopuszczalnej ($D_{24}$) na Ursynowie-SGGW
FIGURE 1. Frequency distributions of 24-hours particulate matter concentration in percentage of the permissible level ($D_{24}$) in Ursynów-WAU

TABELA 2. Wartości średnie stężenia pyłu zawieszonego (w $\mu g/m^3$) w zależności od kierunku wiatru w okresie od stycznia do grudnia 2002 roku na stacji Ursynów-SGGW
TABLE 2. Mean values of particulate matter concentration (in $\mu g/m^3$) response to wind direction since January to December 2002 in Ursynów-WAU

| Miesiąc Month | Kierunek wiatru / Wind direction | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| I | 113,9 | . | . | . | . | 24,9 | 33,2 | . |
| II | . | . | . | 19,9 | . | 18,1 | 14,5 | . |
| III | 25,7 | 39,9 | 70,6 | 92,3 | . | 60,1 | 38,2 | . |
| IV | 80,1 | . | 99,2 | . | . | 59,2 | 60,1 | 106,8 |
| V | 29,0 | . | 68,2 | . | . | 23,5 | 60,1 | . |
| VI | 106,8 | 43,4 | 60,2 | . | 21,7 | 16,9 | 37,8 | . |
| VII | . | 58,3 | 49,5 | . | 25,4 | 30,9 | 35,5 | . |
| VIII | 46,2 | 85,8 | 84,1 | . | . | 42,9 | 16,5 | . |
| IX | 74,5 | 34,9 | 61,6 | . | 25,5 | 68,2 | 67,2 | . |
| X | 40,7 | 8,9 | 25,5 | 14,4 | . | 33,4 | 23,8 | . |
| XI | 42,1 | 20,0 | 44,0 | 30,8 | 27,2 | 39,0 | 50,8 | . |
| XII | . | . | 57,7 | . | . | . | . | . |
| Średnia Mean | 62,1 | 41,6 | 62,1 | 39,3 | 24,9 | 37,9 | 39,8 | 106,8 |

pyłu zawieszonego w Ursynowie wynosiły od 17,9 $\mu g/m^3$ (w lutym) do 82,9 $\mu g/m^3$ (w kwietniu). Średnia wartość stężenia pyłu zawieszonego w półroczu ciepłym wynosiła 59,0 $\mu g/m^3$, natomiast w półroczu chłodnym 38,4 $\mu g/m^3$ (tab. 1).

Średnia roczna wartość z uzyskanych wyników wynosi 48,7 $\mu g/m^3$, co stanowi 97% średniej rocznej wartości dopuszczalnej ($D_a$ = 50 $\mu g/m^3$), natomiast średnioroczne stężenie pyłu zawieszonego (PM10) dla Warszawy Centrum (Al. Jerozolimskie) wyniosło 96,0 $\mu g/m^3$, co stanowiło 192,0% $D_a$, natomiast stężenie maksymalne 24-h wyniosło 247,0 $\mu g/m^3$ w 2000 roku (Raport... 2001); dane z 2001 i 2002 roku nie zostały jeszcze opublikowane.

Z ogólnej liczby pomiarów 70,2% stanowiły wartości mniejsze od 50% stężenia dopuszczalnego $D_{24}$, natomiast tylko 3,6% łącznej liczby wyników było większe od wartości dopuszczalnej $D_{24}$ (rys. 1). Wykonano również analizę stężenia pyłu zawieszonego w zależności od kierunku napływających mas powietrza (tab. 2). Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że największe wartości stężenia pyłu zawieszonego zanotowano przy napływie mas powietrza z kierunku północnego (N) i wschodniego (E), a więc napływających znad miasta. Średnie stężenie pyłu dla tych kierunków dla roku wyniosło 62,1 $\mu g/m^3$ i zmieniało się w znacznym zakresie: dla kierunku N od 25,7 $\mu g/m^3$ (w marcu) do 113,9 $\mu g/m^3$ (w styczniu), a dla kierunku E od 25,5 $\mu g/m^3$ (w październiku) do 99,2 $\mu g/m^3$ (w kwietniu). Natomiast najmniejsze wartości stężenia pyłu PM10 występowały przy napływie powietrza z kierunku południowego, czyli z obszarów niezurbanizowanych (średnie stężenie pyłu wyniosło 24,9 $\mu g/m^3$).

## Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników stężenia pyłu zawieszonego (PM10) dla Ursynowa-SGGW można stwierdzić, że:

1. Średnioroczne stężenie dla Ursynowa-SGGW w okresie I–XII 2002 roku wyniosło 48,7 $\mu g/m^3$ i było znacznie niższe od wartości stężenia średniorocznego dla Warszawy Centrum w 2000 roku.
2. Analiza wpływu kierunku napływu mas powietrza na stężenie pyłu zawieszonego (PM10) wykazała, że najwyższe stężenia występowały przy napływie powietrza z kierunku północnego i wschodniego.
3. Wykonano dotychczas serie pomiarowe obejmujące 1 rok. Pozwalają jednak ocenić aktualny stan zapylenia powietrza. Na tym etapie badań nie można jeszcze ocenić wpływu źródeł emisji na stan zapylenia powietrza na obszarze Ursynowa-SGGW i ich zasięgu oddziaływania na tereny przyległe.
4. Od 2001 roku wokół stacji prowadzone są prace budowlane, które niewątpliwie wywarły wpływ na uzyskane wyniki stężeń pyłu i mogły spowodować przekroczenie dopuszczalnych norm.

## Literatura


JUDA J., CHRÓŚCIEL S. 1974: Ochrona powietrza atmosferycznego. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

JUDA-REZLER K. 2000: Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

KULIG A. i in. 1984: Proste metody badania zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Ochrona atmosfery, *Zeszyt Problemowy* 7: 83–84.

STERN A.C. i in. 1994: Fundamentals of air pollution. Academic Press, San Diego. Instrukcja obsługi MVS6D 2000, Atmoservice, Poznań.

Raport Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Warszawie. Stan środowiska w województwie mazowieckim w roku 2000, 2001. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.


## Summary


**Particulate matter characteristic in Ursynów-WAU in the year 2002.** Modern methods allows accurately analysis of quality and quantity of particulate matter suspended in the air. Measurement particulate matter PM10 was done in Ursynów-WAU since January 2002 by the use of dust sampler. Analysis of the results shows permissible level $D_{24}$ was exceed 8 times in the period since January to December 2002. The most high concentrations was recorded during inflow northen and western air masses.



**Authors' address:**
Katarzyna Rozbicka, Małgorzata Kleniewska, Wiesława Przewoźniczuk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

**Katarzyna ROZBICKA**
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Zakład Meteorologii i Klimatologii
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU
Division of Meteorology and Climatology

# Charakterystyka stanów równowagi atmosfery w okresie IV–X 2002 roku dla Ursynowa-SGGW
# Characterisic of atmospheric stability in period IV–X 2002 for Ursynów-WAU

**Słowa kluczowe:** atmosfera, stany równowagi
**Key words:** atmosphere, stability conditions

## Wprowadzenie

O stanie równowagi atmosfery decyduje pionowy profil temperatury i wilgotności powietrza. Wszelkie zmiany tych profili mogą wywołać zmiany stanu równowagi. Przyczyny zmian stratyfikacji termicznej mogą mieć charakter dynamiczny, radiacyjny lub adiabatyczny. Przyczyny radiacyjne wywołują stabilizację równowagi, gdy powierzchnia ziemi i przyziemne warstwy powietrza tracą ciepło drogą wypromieniowania (np. w czasie bezchmurnych nocy) lub destabilizację, gdy występuje „podgrzewanie" powietrza od powierzchni Ziemi wskutek insolacji (zwłaszcza przy małym zachmurzeniu i dużych wysokościach Słońca). Adwekcja chłodnego powietrza nad ciepłe podłoże prowadzi do destabilizacji, adwekcja zaś ciepła – do stabilizacji równowagi. Intensywne mieszanie pionowe (np. silny wiatr nad urozmaiconym „szorstkim" podłożem) prowadzi do neutralizacji równowagi – w mieszającej się warstwie kształtuje się gradient adiabatyczny. Jeżeli pionowe gradienty temperatury są pierwotnie mniejsze od adiabatycznych, to na górnej i dolnej granicy mieszającej się warstwy powstają inwersje temperatury (inwersja mieszania) (Kożuchowski 1995).

Celem niniejszej pracy jest analiza występowania stanów równowagi w dwóch typach dni: słonecznych i pochmurnych, w okresie IV–X 2002 roku. Wyznaczenie stanów równowagi jest bardzo ważne przy ilościowej ocenie wymiany materii i energii między podłożem a atmosferą, np. pary wodnej, dwutlenku węgla, ciepła odczuwalnego, a szczególnie przydatne przy określaniu

rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu. Informacja o aktualnym stanie równowagi może być również potrzebna w sytuacjach zagrożeń smogowych, a także katastrof chemicznych.

Chwiejność równowagi wywołuje i rozwija prądy pionowe w atmosferze. Występuje często zachmurzenie konwekcyjne: chmury Cu i Cb, opady przelotne i burze. Równowaga chwiejna powstaje w ciepłej porze roku, w ciągu dnia lub przy napływie chłodnych mas na ciepłe podłoże. Ruchy powietrza chwiejnego mają charakter silnie turbulencyjny. Wiatry są porywiste, zmienne; jest to zjawisko korzystne ze względu na możliwość rozpraszania zanieczyszczeń. Podczas równowagi chwiejnej zanieczyszczenia powietrza osiągają w przyziemnej warstwie maksymalną wartość w stosunku do niedużej odległości od źródła emisji, bowiem następuje wtedy szybkie ich rozprzestrzenianie się ku dołowi i ku górze.

Przy równowadze stałej brak jest warunków do termicznej konwekcji: tworzą się chmury typu warstwowego (St), mgły lub brak jest zachmurzenia. W przyziemnej warstwie powietrza podczas równowagi stałej częściej występują cisze lub wiatry bardzo słabe. W powietrzu stabilnym ruchy poziome (wiatr) są prawie laminarne. Równowaga stała oznacza zanikanie turbulencji i małe współczynniki dyfuzji atmosferycznej – rozpraszanie zanieczyszczeń jest więc utrudnione. Wybitnie stała równowaga to warstwy inwersyjne i izotermiczne – są one warstwami hamującymi rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Pod inwersją gromadzi się para wodna i pył (Kożuchowski 1995). Podczas równowagi stałej, szczególnie silnie zaznaczonej, zanieczyszczenia przemysłowe po dostaniu się do atmosfery powoli przedostają się ku dołowi, osiągając zatem maksymalne stężenia w tym większej odległości od źródła emisji, im silniej zaznaczona jest równowaga stała. Poszczególne rodzaje pionowej równowagi powietrza wywierają na zanieczyszczenia przemysłowe różny wpływ w zależności od tego, czy mamy do czynienia z niskimi, czy też wysokimi źródłami emisji oraz tego, jak są usytuowane termiczne warstwy hamujące w stosunku do źródeł emisji (Parczewski 1977).

## Materiał i metoda

Analiza oparta jest na materiale pochodzącym ze stacji meteorologicznej Ursynów-SGGW od IV do X 2002 roku. Wykorzystane zostały godzinne wartości temperatury powietrza z wysokości 0,05 m i 1 m n.p.g., prędkości wiatru 1 m n.p.g. oraz zachmurzenie dobowe (8 terminów pomiarowych 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 CSE) pochodzące z Warszawy Okęcia. W niniejszym opracowaniu wyznaczono stany równowagi dla warstwy od powierzchni ziemi do 1 m n.p.g. W każdym dniu dla okresów godzinnych obliczono liczbę Richardsona (Ri), która charakteryzuje stan równowagi w warstwie powietrza:

$$\mathrm{Ri} = \frac{g}{T_s} \cdot \frac{\dfrac{\Delta T}{\Delta z}}{\left(\dfrac{\Delta u}{\Delta z}\right)^2}$$

gdzie:
g – przyspieszenie ziemskie; g = 9,81 $m \cdot s^{-2}$,
$T_s$ – średnia wartość temperatury powietrza w profilu [K],
$\frac{\Delta T}{\Delta z}$ – pionowy gradient temperatury powietrza,
$\frac{\Delta u}{\Delta z}$ – pionowy gradient prędkości wiatru.

Następnie wartości te uśredniono dla każdego miesiąca i ich przebieg przedstawiono na rysunku 1. Cały materiał podzielono na dwa typy dni: słoneczne (N < 2 w skali 11-stopniowej) i pochmurne (N > 8). Okres doby podzielono, na podstawie godzin wschodu i zachodu Słońca, na okres dnia i nocy. Dla każdej doby słonecznej i pochmurnej przypisano odpowiedni stan równowagi atmosfery. Na podstawie obliczonych wartości Ri zastosowano podział stanów równowagi chwiejnej i stałej według Oke (za Kędziorą 1995) i oznaczono je kolejno literami alfabetu od a do g. Wyróżniono:

- stan równowagi chwiejnej, podzielony na:
  konwekcję wymuszoną – a,
  konwekcję mieszaną – b,
  konwekcję wolną – c.
- stan równowagi obojętnej – d.
- stan równowagi stałej, podzielony na:
  konwekcję wymuszoną – e,
  konwekcję tłumioną –f,
  brak konwekcji – g.

Obecnie, jedną z najstarszych metod, znajdującą dzisiaj szerokie zastosowanie praktyczne, jest metoda wyznaczania stanów równowagi według klasyfikacji Pasquilla. W metodzie tej Pasquill uzależnia stan równowagi od: prędkości wiatru jako czynnika opisującego turbulencję, intensywności promieniowania słonecznego w dzień i stopnia zachmurzenia w nocy, jako czynników termicznych. Stan równowagi atmosfery został określony za pomocą 6 klas, od A do F (lub 1–6). Określane stany równowagi atmosfery tą metodą odnoszą się do warstwy granicznej atmosfery 100 lub 200 m n.p.g.

Inną, całkowicie nową metodę proponuje Kaszowski (2002), która polega na określaniu stanów równowagi z sodarogramu z użyciem techniki sztucznych sieci neuronowych. Są to jednak dopiero badania wstępne, wykonane na niewielkiej próbce danych. Metoda ta zapowiada się obiecująco ze względu na uproszczenie i zautomatyzowanie uzyskanych informacji o aktualnym stanie równowagi. Równowagę atmosfery określa się, porównując krzywą stratyfikacji (wykres przedstawiający rozkład aktualnej temperatury w zależności od wysokości) z krzywą stanu (wykres przedstawiający zmiany adiabatyczne unoszącego się powietrza). Porównanie to służy do zbadania, czy powietrze zmieniające wysokość swego położenia staje się cieplejsze, czy chłodniejsze od otoczenia, tj. od mas powietrza znajdującego się na odpowiedniej wysokości. Gdy powietrze zmieniające wysokość staje się cieplejsze od otoczenia, to jego gęstość staje się równocześnie mniejsza od gęstości powietrza w otoczeniu. Porcja takiego powietrza podlega działaniu sił wyporu i pod ich wpływem ruch pionowy (ku górze) ulega przyspieszeniu. Taki stan nazywa się równowagą chwiejną $\gamma > \gamma_a$, gdzie: $\gamma$ jest to pionowy gradient temperatury w atmosferze

różnica temperatury między poziomem niższym a wyższym, a $\gamma_a$ jest to gradient adiabatyczny – różnica temperatury między poziomem niższym a wyższym).

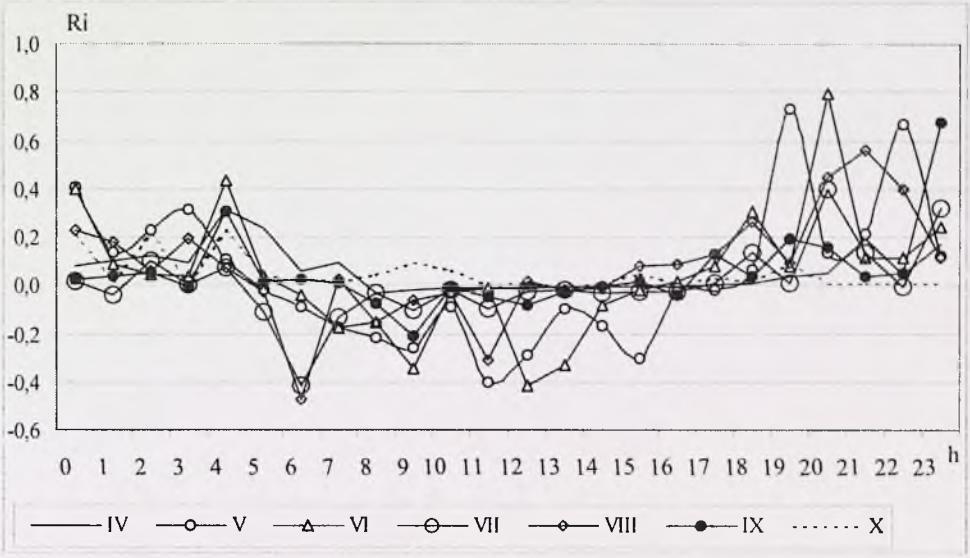
W rzeczywistości obserwuje się, iż prędkości pionowe w warunkach równowagi chwiejnej osiągają kilkanaście $m \cdot s^{-1}$, a więc są równoważne silnemu wiatrowi. Wznoszące się porcje powietrza mogą też być zimniejsze od otoczenia. Dzieje się tak wtedy, gdy zmiany $\gamma_a$ są większe od zmian określonych przez gradient $\gamma$ z krzywej stratyfikacji. Wówczas przyspieszenie pionowe zostanie skierowane w dół i ruch wznoszący zostanie zahamowany. Taki stan nazywa się równowagą stałą, a jej warunkiem jest $\gamma < \gamma_a$ dla powietrza suchego. Szczególnym przypadkiem równowagi stałej jest inwersyjna stratyfikacja termiczna: $\gamma < 0 < \gamma_w < \gamma_a$. Przypadek, w którym $\gamma = \gamma_a$, nazywa się równowagą obojętną. W takiej stratyfikacji gęstości powietrza nie różnią się, a pionowe przyspieszenia się nie pojawiają.

## Wyniki

Przebieg dobowy średniej miesięcznej liczby Richardsona obliczonej dla wartości godzinowych w okresie od IV do X 2002 roku na Ursynowie-SGGW został przedstawiony na rysunku 1. W ciągu dnia dla wszystkich miesięcy przeważała liczba Richardsona o wartościach ujemnych, tzn. występowała równowaga chwiejna. Natomiast w ciągu nocy wartości Ri były dodatnie lub osiągały zero, co oznacza występowanie w większości przypadków równowagi stałej lub obojętnej. Wyjątkiem był październik, stosunkowo chłodny miesiąc na tle pozostałych, w którym w ciągu dnia występowała równowaga stała lub obojętna.

W rozpatrywanym okresie liczba dni i nocy pogodnych i pochmurnych była bardzo zmienna (tab. 1). Najbardziej pogodnym miesiącem był maj z największą liczbą dni i nocy pogodnych, a zarazem bez dnia i nocy pochmurnej. Największą liczbą dni i nocy pochmurnych wyróżniał się zdecydowanie październik.

Kolejno analizując poszczególne typy dni, można zauważyć (rys. 2), że podczas dni pogodnych w większości miesiąców dominuje równowaga chwiejna – konwekcja wymuszona i mieszana (a i b), wyjątkiem był sierpień, w którym dominowała równowaga stała – równowaga tłumiona (f). Dzień pochmurny, tak jak dzień pogodny, charakteryzował się przeważającą liczbą dni z równowagą chwiejną (a, b), inaczej było w październiku, w którym było najwięcej stanów równowagi stałej – konwekcji wymuszonej (e) i równowagi obojętnej (d). Natomiast noce pogodne charakteryzowały się równowagą stałą, najwięcej zaobserwowano przypadków dla konwekcji tłumionej (f). Najbardziej zróżnicowane były noce pochmurne. W kwietniu i październiku dominowała równowaga stała (e – konwekcja wymuszona), dla czerwca i września równowaga obojętna (d), a dla maja, lipca i sierpnia równowaga chwiejna (a i b) – konwekcja wymuszona i mieszana.

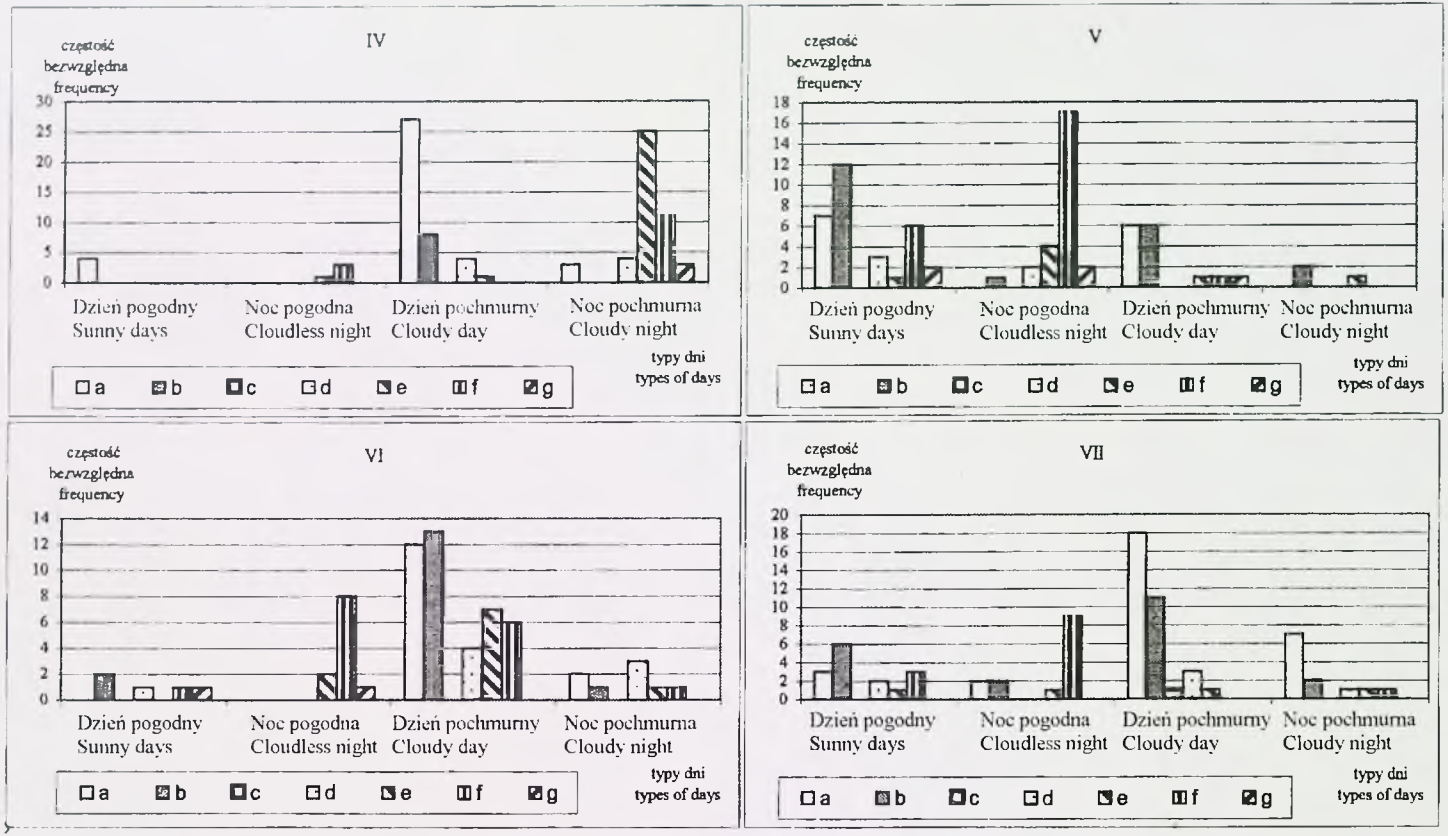


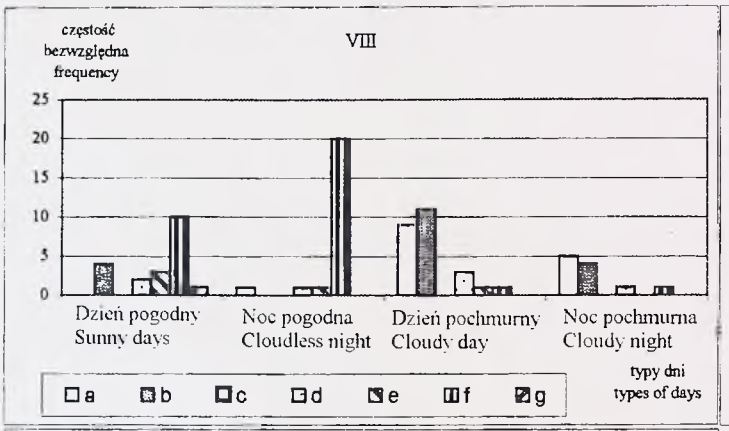

RYSUNEK 1. Przebieg dobowy średniej miesięcznej liczby Richardsona od IV do X 2002 roku na Ursynowie-SGGW
FIGURE 1. Daily course mean months of Richardson number IV–X 2002 Ursynów-WAU

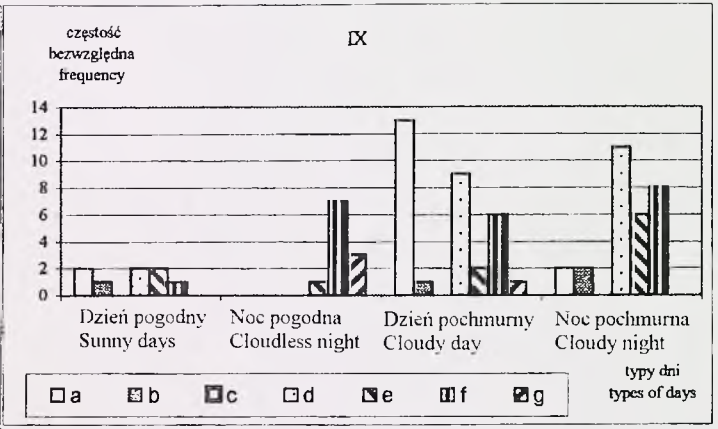
TABELA 1. Liczba dni i nocy pogodnych oraz dni i nocy pochmurnych od IV do X 2002 roku na Ursynowie-SGGW
TABLE 1. Number of sunny days and night and cloudy days and nights for IV–X 2002 in Ursynów-WAU

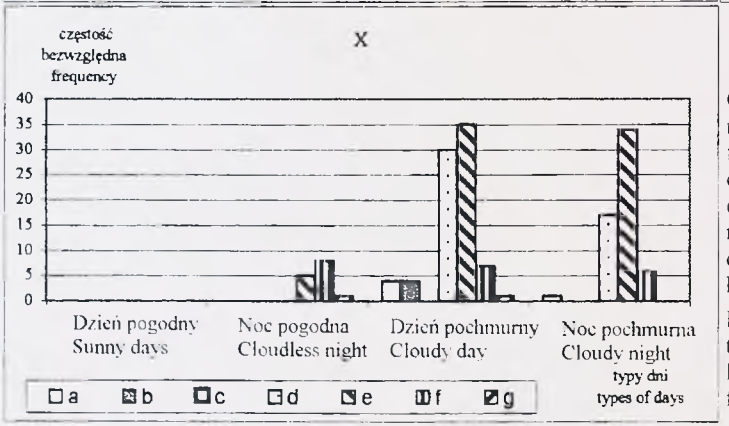
| Miesiąc<br>Month | Dni pogodne<br>Sunny days | Noce pogodne<br>Cloudless nighrs | Dni pochmurne<br>Cloudy days | Noce pochmurne<br>Cloudy nights |
|---|---|---|---|---|
| IV | 1 | 1 | 10 | 12 |
| V | 6 | 13 | 0 | 0 |
| VI | 1 | 7 | 8 | 4 |
| VII | 3 | 8 | 6 | 6 |
| VIII | 6 | 10 | 7 | 2 |
| IX | 3 | 4 | 10 | 9 |
| X | 0 | 4 | 23 | 17 |

Analizę częstości występowania poszczególnych klas równowagi atmosfery przeprowadziła Lorenc (1996). Według autorki, w skali całego roku dla Polski najczęściej występujące klasy to zakres od równowagi lekko chwiejnej, przez obojętną, do stałej, z maksimum przypadającym na równowagę prawie obojętną. Udział procentowy stanów równowagi atmosfery w roku dla Warszawy przedstawia się następująco: 52,5% – równowaga obojętna, 26,8% – równowaga chwiejna i 20,7% – równowaga stała.


IV
częstość bezwzględna frequency
30
25
20
15
10
5
0
Dzień pogodny Sunny days
Noc pogodna Cloudless night
Dzień pochmurny Cloudy day
Noc pochmurna Cloudy night
typy dni types of days
a b c d e f g
V
częstość bezwzględna frequency
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Dzień pogodny Sunny days
Noc pogodna Cloudless night
Dzień pochmurny Cloudy day
Noc pochmurna Cloudy night
typy dni types of days
a b c d e f g
VI
częstość bezwzględna frequency
14
12
10
8
6
4
2
0
Dzień pogodny Sunny days
Noc pogodna Cloudless night
Dzień pochmurny Cloudy day
Noc pochmurna Cloudy night
typy dni types of days
a b c d e f g
VII
częstość bezwzględna frequency
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Dzień pogodny Sunny days
Noc pogodna Cloudless night
Dzień pochmurny Cloudy day
Noc pochmurna Cloudy night
typy dni types of days
a b c d e f g




Objaśnienia/Explanations:
równowaga chwiejna/unstable stability: a – konwekcja wymuszona/fully forced convection, b – konwekcja mieszana/mixed convection, c – konwekcja wolna/free convection,
d – równowaga obojętna/neutral stability,
równowaga stała/stable stability: e – konwekcja wymuszona/fully forced convection, f – konwekcja tłumiona/damped forced convection, g – brak konwekcji/no convection.

RYSUNEK 2. Częstość bezwzględna stanów równowagi dla różnych typów dni od IV do X 2002 roku dla Ursynowa-SGGW
FIGURE 2. Frequency of static stability for various types days IV–X 2002 for Ursynow-WAU

W pracy Lorenc stany równowagi oceniano metodą Pasquilla, w której wykorzystuje się takie elementy meteorologiczne, jak: prędkość wiatru, usłonecznienie względne oraz średnie zachmurzenie, a nie bezpośrednie gradientowe pomiary temperatury powietrza i prędkości wiatru. Metoda ta wykorzystywana jest m.in. do wyznaczania parametrów dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu i w konsekwencji do modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze oraz do inżynierskich metod obliczania oddziaływania źródeł emisji na otoczenie. Wykorzystując usłonecznienie względne i średnie zachmurzenie, metoda Pasquilla uniemożliwia ocenę stanów równowagi w okresach krótszych, np. godzinowych. Możliwe jest jedynie uzyskanie informacji o „średnim" stanie równowagi podczas dnia lub podczas nocy. Należy także zaznaczyć, że przyjęte przez Pasquilla klasy równowagi atmosfery nie pokrywają się w pełni z kryteriami wynikającymi z analizy wartości liczby Richardsona.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, wyniki uzyskane w niniejszej pracy nie mogą być bezpośrednio porównane z wynikami opracowanymi przez Lorenc.

Dla Ursynowa-SGGW w okresie IV–X 2002 roku było najwięcej przypadków z równowagą stałą (293), równowagą chwiejną (222) i 103 przypadki z równowagą obojętną. Najwięcej stanów równowagi chwiejnej wystąpiło w miesiącach letnich, szczególnie w lipcu (54), sierpniu (34) i czerwcu (30). Stanów równowagi stałej najwięcej zanotowano w październiku (93).

## Wnioski

Wstępna analiza stanów równowagi w okresie IV–X 2002 roku dla Ursynowa-SGGW wykazała, że:

1. W przebiegu dobowym, według wartości godzinowych, średnia miesięczna liczba Richardsona (Ri) w ciągu dnia wykazywała wartości ujemne, co wskazywało na równowagę chwiejną dla wszystkich miesięcy z wyjątkiem października, w którym występowała równowaga stała lub obojętna. Dla nocy Ri była przeważnie dodatnia lub bliska zeru. Wówczas występowała równowaga stała lub obojętna.
2. Biorąc pod uwagę typy dni – pogodne i pochmurne, oraz ich podział na okres dnia i nocy można stwierdzić, że zarówno w ciągu dnia pogodnego, jak i pochmurnego w znacznej większości miesięcy silnie zaznaczała się równowaga chwiejna (a i b – konwekcja wymuszona i mieszana). Natomiast noce pogodne charakteryzowały się równowagą stałą (f – konwekcja tłumiona), a noce pochmurne były zróżnicowane: w kwietniu i październiku występowała równowaga stała, w czerwcu i we wrześniu równowaga obojętna, w lipcu i sierpniu równowaga chwiejna.
3. W całym rozpatrywanym okresie (IV–X) najczęściej występowała równowaga stała (293 przypadki – najwięcej w październiku), następnie równowaga chwiejna (222 przypadki) szczególnie w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec i sierpień), a w dalszej kolejności równowaga obojętna (103 przypadki).

4. Wyniki uzyskane metodą Pasquilla przez Lorenc dla roku w skali całej Polski i wyniki niniejszego opracowania na podstawie liczby Richardsona dla Ursynowa-SGGW są na obecnym etapie nieporównywalne. Następnym etapem analizy będzie określenie stanów równowagi dla Ursynowa-SGGW metodą Pasquilla, a także obliczenie liczby Richardsona dla innych warstw powietrza (np. między 0,05 a 2 m n.p.g. oraz między 2 a 22 m n.p.g.) i porównanie otrzymanych wyników. Kolejne obliczenia zostaną wykonane dla dłuższego okresu.

## Literatura


KĘDZIORA A. 1995: Podstawy agrometeorologii. Wydział Rolniczy i Leśny, Poznań.

KOŻUCHOWSKI K. 1995: Fizyczne podstawy meteorologii. Skrypt dla studentów geografii, Szczecin.

LORENC H. 1996: Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. Materiały badawcze IMGW. Seria: *Meteorologia* 25.

OKE T.R. 1987: Boundary layer climates. Routledge, London & New York.

PARCZEWSKI W. 1977: Materiały do wykładów z meteorologii i klimatologii. Wydaw. Politechniki Warszawskiej, Warszawa.


## Summary


**Charakteristic of atmospheric stability in period IV-X 2002 in Ursynów-WAU.** The paper presents atmospheric stability description by the use Richardson number (Ri). The calculation was done for two types of weather: sunny days ($24^h$) and cloudy days ($24^h$). In accordance with Oke (1987) stability static was divided as follows: unstable stability a-fully forced convection, b-mixed convection, c-free convection; d-neutral stability; stable stability e-fully forced convection, f-damped forced convection, g-no convection. Richardson number accomplish negative value, which stands unstable static conditions (a, b) for more cases of day-time period both sunny and cloudy days. Stable static conditions, particularly f characterized by positive value of Ri appear for cloudless nights most frequently. A large diversity of static conditions was observed for night-time period with cloudy weather. The most frequent static conditions in considered period is stable (maximum in october), then unstable (maximum in summertime months).



**Author's address:**
Katarzyna Rozbicka
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

**Jan KOSSOWSKI**
Instytut Agrofizyki PAN
Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences

# Wpływ warunków meteorologicznych na strumień ciepła w glebie
# Influence of meteorological conditions on soil heat flux

**Słowa kluczowe:** strumień ciepła, gleba, elementy meteorologiczne
**Key words:** heat flux, soil, meteorological elements

## Wprowadzenie

Badania związku między wielkością wymiany ciepła z podłożem atmosfery (glebą) w okresie dziennym czy dobowym a elementami meteorologicznymi mają, oprócz poznawczego, określony aspekt praktyczny. Otrzymane w ich wyniku zależności stwarzają bowiem możliwość szacowania strumienia ciepła w glebie z wykorzystaniem standardowych danych meteorologicznych. Jako przykład takiego podejścia można wymienić prace Kapuścińskiego (1981, 2000) oraz Kapuścińskiego i Moczko (1990), w których strumień ciepła w glebie oszacowywany był na podstawie uprzednio wyznaczonej zależności jego wartości średnich dekadowych od zmian temperatury powietrza, a także określona została zależność średnich dekadowych wartości strumienia od kombinacji trzech elementów meteorologicznych (usłonecznienia, temperatury i niedosytu wilgotności powietrza).

Badając związek między warunkami atmosferycznymi a wielkością wymiany ciepła przez powierzchnię gleby (strumieniem ciepła płynącym od powierzchni w głąb gleby i odwrotnie) należy mieć na uwadze ogromny wpływ, jaki na tę wymianę wywiera obecność i rodzaj pokrywy roślinnej. Dokonuje się on głównie poprzez postępujące w miarę rozwoju roślin ograniczanie dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni gleby oraz zmiany warunków środowiskowych dokonywania się wymiany ciepła (w tym mikroklimatu) w strefie łanu roślin (Łykowski i in. 1980, Kossowski 2001a). Pewnym rozwiązaniem, pozwalającym na uniknięcie tego wpływu, jest prowadzenie badań na możliwie jednorodnym i niezmiennym w czasie obiekcie, np. odpowiednio pielęgnowanym trawniku lub na polach z glebą pozbawioną roślinności.

Przy próbie określenia związku między ilością ciepła wnikającego podczas dnia do gleby (bez roślin) a poszczególnymi elementami meteorolo-

gicznymi (Kossowski 2001b) wykazano, że związki te mają charakter głównie pośredni, a ich natura jest różna (co determinuje nie tylko wielkość, ale i kierunek zmian wartości strumienia ciepła wywołanych oddziaływaniem danego elementu). Stwierdzono też, że spośród ośmiu rozpatrywanych danych meteorologicznych, najsilniejszy związek (korelację) z ilością ciepła wnikającego w ciągu dnia do gleby wykazywały wartości amplitudy dobowej temperatury powietrza, co już może stanowić wskazówkę co do wyboru tychże danych jako podstawy szacowania dziennych sum strumienia ciepła w glebie. Mając jednakże na uwadze, że oddziaływanie elementów meteorologicznych na strumień ciepła w glebie dokonuje się jednocześnie (kompleksowo), a dokładność szacowania sum ciepła wnikającego do gleby może być znacząco zwiększona przez uwzględnienie nie jednego, lecz jeszcze innych elementów, kolejnym krokiem w prowadzonych badaniach było wyznaczenie równań regresji wielokrotnej, w których zmienne niezależne stanowiły zestawy odpowiednio dobranych danych meteorologicznych.

Celem niniejszej pracy jest analiza związku między ilością ciepła wnikającego do gleby podczas dnia a zespołem elementów meteorologicznych, pod kątem doboru danych wyjściowych przy szacowaniu wielkości sum dziennych strumienia ciepła w glebie na podstawie danych meteorologicznych.

## Materiał i metoda

Materiał obserwacyjny wykorzystany zarówno w niniejszej, jak i wcześniejszej (Kossowski 2001b) pracy stanowiły wyniki pomiarów uzyskane w trakcie badań stosunków cieplnych gleby prowadzonych na poletkach doświadczalnych lubelskiej Akademii Rolniczej w Felinie (z glebą płową, lessopodobną) podczas okresów wegetacyjnych w latach 1978, 1979, 1987, 1989, 1992 i 1993. Dane dotyczące strumienia ciepła w glebie pochodziły z poletek utrzymywanych w stanie czarnego ugoru (bez roślin), a dane meteorologiczne – z położonej obok pól doświadczalnych stacji (Obserwatorium Agrometeorologicznego AR).

Gęstość strumienia ciepła w glebie (na głębokości 1 cm) w przebiegu dobowym wyznaczano kombinowaną metodą obliczeniową (ze zmian zawartości ciepła w warstwie 1–20 cm i wartości strumienia ciepła na głębokości 20 cm określonego metodą gradientową). W pierwszych dwóch latach badań gęstość strumienia ciepła na tej samej głębokości była dodatkowo mierzona przy użyciu strumieniomierzy (firmy Middleton Instruments), przy czym uzyskane z nich dane były porównywane i korygowane względem otrzymanych metodą obliczeniową (Kossowski 2001a). Wyznaczone za pomocą tych metod średnie w kolejnych okresach półgodzinnych wartości strumienia ciepła o znaku dodatnim (przyjętym dla strumienia skierowanego od powierzchni w głąb gleby), przeliczane były następnie na sumy ciepła wnikającego do gleby w poszczególnych dniach ($\Sigma q^+$), wyrażane w $MJ \cdot m^{-2}$.

Dane meteorologiczne obejmowały: usłonecznienie rzeczywiste (w godzinach), zachmurzenie ogólne (w skali 0–10), prędkość wiatru (w $m \cdot s^{-1}$), niedosyt wilgotności powietrza (w hPa) oraz temperaturę powietrza (w °C). Średnie

dla danego dnia wartości zachmurzenia, prędkości wiatru i niedosytu wilgotności powietrza obliczano z pomiarów w trzech dziennych terminach obserwacyjnych, natomiast średnie dobowe temperatury powietrza z temperatury ekstremalnej (jako średnia arytmetyczna temperatury maksymalnej i minimalnej). Sposób ten wybrano celowo, mając na uwadze zmniejszenie liczby pochodzących z pomiarów danych wyjściowych, bowiem – oprócz średniej dobowej – uwzględniano też wartości amplitudy dobowej temperatury powietrza (obliczane jako wartości różnic tej temperatury w danym dniu). Ponadto do zestawu danych meteorologicznych dołączono zmiany średniej dobowej temperatury powietrza z dnia na dzień, w tym:

- różnice temperatury między dniem rozpatrywanym a poprzednim ($\Delta T_1$)

$$\Delta T_1 = T_n - T_{n-1} \qquad (1)$$

- średnie różnice temperatury między dniem rozpatrywanym a poprzednim i następującym po rozpatrywanym ($\Delta T_2$)

$$\Delta T_2 = 0{,}5\,[(T_n - T_{n-1}) + (T_{n+1} - T_n)] \qquad (2)$$

gdzie:
$T_n$ – wartość średniej dobowej temperatury powietrza w dniu rozpatrywanym,
$T_{n-1}$ – wartość średniej dobowej temperatury powietrza w dniu poprzednim,
$T_{n+1}$ – wartość średniej dobowej temperatury powietrza w dniu następnym po rozpatrywanym.

Do analiz posłużyły dane z 42 dni wybranych z okresów wiosenno-letnich (maj – lipiec) wymienionych 6 lat, dni wyłącznie bezopadowych, ale reprezentujących różne warunki pogodowe. Istotną cechą tych danych jest to, że dotyczą okresu tzw. długiego dnia, o niewielkim w ciągu tych miesięcy zróżnicowaniu proporcji między dniem i nocą, a zatem zbliżonej potencjalnej długości okresu występowania strumienia ciepła skierowanego od powierzchni w głąb gleby i odwrotnie (około 12 godzin). Można też przyjąć, iż różna ilość ciepła wnikającego do gleby w tych wybranych dniach (od 0,8 do 5,5 $MJ \cdot m^{-2}$) spowodowana była przede wszystkim przez panujące w nich warunki atmosferyczne, a tylko w niewielkim stopniu przez zróżnicowanie właściwości fizycznych gleby.

Przy wyznaczaniu równań zależności między ilością ciepła wnikającego do gleby a – generalnie rzecz biorąc – warunkami atmosferycznymi, warunki te charakteryzował zestaw 8 lub 7 danych meteorologicznych, z których mierzone (bądź określane) było 6. W przeprowadzonych analizach zastosowano również metodę regresji krokowej, pozwalającej na znalezienie modeli ze zredukowaną do istotnych statystycznie liczbą zmiennych.

## Wyniki

Równanie opisujące związek między ilością ciepła wnikającego do gleby podczas dnia ($\Sigma q+$) a rozpatrywanymi danymi meteorologicznymi jest następujące:

$\Sigma q+ = 1{,}115 + 0{,}146\ u^{***} + 0{,}103\ aT + + 0{,}123\ \Delta T_1 + 0{,}088\ \Delta T_2 - 0{,}008\ T_{do} + + 0{,}016\ n_w - 0{,}111\ v - 0{,}015\ N_o$ (3)

gdzie:

$u$ – usłonecznienie rzeczywiste,

$N_o$ – zachmurzenie ogólne,

$v$ – prędkość wiatru,

$n_w$ – niedosyt wilgotności powietrza,

$T_{do}$ – średnia dobowa temperatura powietrza,

$at$ – amplituda dobowa temperatury powietrza,

$\Delta T_1$ – zmiana średniej dobowej temperatury powietrza między dniem rozpatrywanym i poprzednim,

$\Delta T_2$ – zmiana średniej dobowej temperatury powietrza między dniem rozpatrywanym a poprzednim i następnym.

Współczynnik determinacji ($R^2$) wynosił 0,814, a błąd standardowy szacowania (SE) – 0,62 MJ·m$^{-2}$.

Dodatkowo, jako pewna alternatywa dla powyższego, wyznaczone zostało równanie regresji wielokrotnej z pominięciem usłonecznienia (nie jest ono mierzone na każdej stacji meteorologicznej):

$\Sigma q+ = 1{,}948 + 0{,}196\ aT^* + 0{,}153\ \Delta T_1 + - 0{,}012\ \Delta T_2 - 0{,}071\ T_{do} + 0{,}101\ n_w + - 0{,}121\ v - 0{,}049\ N_o$ (4)

dla którego $R^2 = 0{,}718$ i SE = 0,75 MJ·m$^{-2}$.

Finalne równania, jakie otrzymano, stosując metodę regresji krokowej (przy poziomie ufności 95%) przy liczbie 8 i 7 zmiennych (odpowiednio jak w równaniach 3 i 4) są następujące:

$\Sigma q+ = 0{,}150 + 0{,}147\ u^{***} + 0{,}155\ aT^{**} + + 0{,}149\ \Delta T_1^*$ (5)

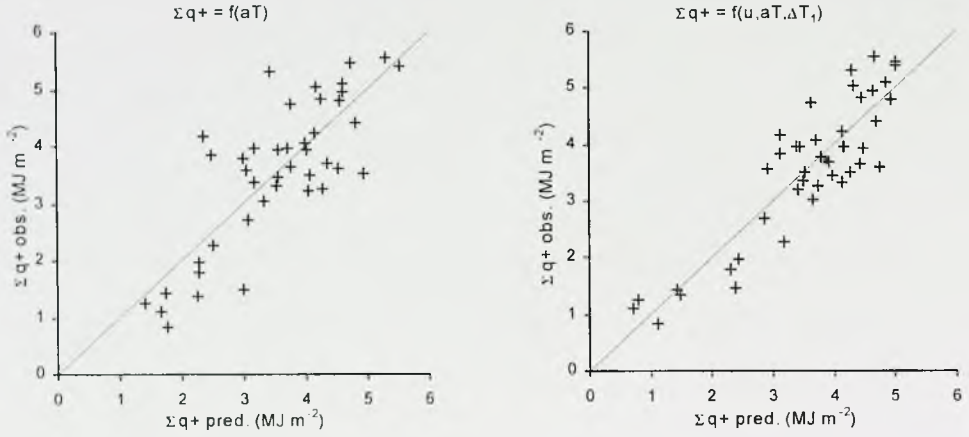
$\Sigma q+ = -0{,}253 + 0{,}326\ aT^{***}$ (6)

przy czym w przypadku równania (5): $R^2 = 0{,}794$, a SE = 0,61 MJ·m$^{-2}$, natomiast dla równania (6): $R^2 = 0{,}646$, a SE = 0,79. Dla wszystkich tych modeli poziom istotności (p) jest mniejszy niż 0,001, natomiast o poziomie istotności poszczególnych zmiennych niezależnych informują odpowiednie oznaczenia (*** $p < 0{,}001$; ** $p < 0{,}01$; * $p < 0{,}05$).

Nie podejmując szczegółowej analizy istotności (wagi) poszczególnych elementów meteorologicznych w tych równaniach, warto jednak odnotować, że w równaniu (3) uwzględniającym wszystkie elementy, najmniej znaczące okazały się dane dotyczące średniej dobowej temperatury powietrza (w następnej kolejności niedosytu wilgotności), podczas gdy w równaniu (4), gdy nie uwzględniano usłonecznienia, wartości różnic temperatury między dniem rozpatrywanym a poprzednim i następnym ($\Delta T_2$) oraz zachmurzenia (!) Okazało się też, że stosunkowo dokładnie badaną zależność między ilością ciepła wnikającego do gleby ($\Sigma q+$) a elementami meteorologicznymi opisuje równanie (5) oparte tylko na trzech (za to istotnych statystycznie) danych, a ponadto, że spośród zestawu 7 danych (bez usłonecznienia) istotne statystycznie są jedynie amplitudy dobowe temperatury powietrza.

## Podsumowanie i wnioski

Z porównania wartości współczynników determinacji i błędów estymacji otrzymanych równań oraz z ilustrujących zagadnienie wykresów (rys. 1) wynikają wyraźne sugestie dotyczące doboru danych meteorologicznych przy określaniu ich związku z ilością ciepła wnikającego podczas dnia do gleby ($\Sigma q+$), a następnie możliwości i dokładności szacowania tych sum ciepła:




RYSUNEK 1. Porównanie dziennych sum strumienia ciepła wnikającego do gleby bez roślin uzyskanych drogą pomiarów (Σq+ obs.) z obliczonymi według równań (6) i (5) (Σq+ pred.), Felin, wybrane dni letnie bez opadów

FIGURE 1. Comparison of the measured daily sums of heat flux into bare soil (Σq+ obs.) and those calculated on the basis of equations 6 and 5 (Σq+ pred.), Felin, chosen summer days without rainfall

1. Przyjęcie za podstawę szacowania wartości Σq+ tylko jednego, nawet najlepiej skorelowanego z nimi elementu meteorologicznego, może powodować zbyt duże błędy (co automatycznie pomniejsza wiarygodność tak oszacowywanych danych).
2. Nie jest konieczne uwzględnianie w zestawie danych meteorologicznych możliwie jak największej liczby elementów jako danych wyjściowych przy szacowaniu wartości Σq+.
3. Jeśli przyjmie się za optymalny zestaw danych meteorologicznych – jak w równaniu (5) – usłonecznienie, amplitudę dobową temperatury powietrza i zmianę temperatury z dnia na dzień ($\Delta T_1$), a ponadto sposób obliczania średniej dobowej temperatury z wartości jej ekstremów w danym dniu, wówczas do szacowania wartości Σq+ konieczne są tylko 3 dane pomiarowe (maksymalna i minimalna temperatura powietrza oraz usłonecznienie).

Na koniec warto podkreślić, że przedstawione w niniejszej pracy wyniki (równania) uzyskano dla określonego miejsca, czasu i w miarę stabilnych warunków atmosferycznych i glebowych (dni bez opadów). Ogranicza to wykorzystanie ich w praktyce, niemniej – w aspekcie poznawczym i metodycznym – mogą stanowić odniesienie (wskazówkę) przy prowadzeniu dalszych tego typu badań.

## Literatura

KAPUŚCIŃSKI J. 1981: Wymiana ciepła i wilgoci między przyziemną warstwą powietrza a glebą. Praca doktorska, Katedra Agrometeorologii AR w Poznaniu.

KAPUŚCIŃSKI J. 2000: Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych środkowozachodniej Polski. Roczn. AR w Poznaniu, Rozpr. Nauk. 303.
KAPUŚCIŃSKI J., MOCZKO J. 1990: Udział strumienia ciepła w glebie w strukturze bilansu cieplnego powierzchni czynnej. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 246: 117–129.
KOSSOWSKI J. 2001a: O relacji między strumieniem ciepła w glebie a bilansem promieniowania na polu bez roślin i z pokrywą roślinną. *Acta Agroph.* 45: 117–129.
KOSSOWSKI J. 2001b: O związku strumienia ciepła w glebie z elementami meteorologicznymi. *Przegl. Nauk. Wydz. Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW* 21: 117–121.
ŁYKOWSKI B., RADOMSKI C., KOSSOWSKI J. 1980: Radiation and heat balance of agrocenoses. *Pol. Ecol. Stud.* 6: 113–128.

## Summary

**Influence of meteorological conditions on soil heat flux.** Daily sum of positive (directed into soil) heat flux relationships with meteorological elements were analysed basing on the data collected during the summer days without rainfall on the fields with bare soil. The soil heat flux density (at 1 cm depth) in the daily course was calculated by means of a combined method, i.e. from the heat storage changes within 1–20 cm layer of soil (at half-hour steps) and the soil heat flux at 20 cm depth determined by the gradient method. The meteorological data contained: sunshine duration, cloudiness, water vapor deficiency, wind speed, mean daily air temperature, daily air temperature amplitude and air temperature mean value changes from day to day. The regression equations between sums of positive soil heat flux and the meteorological data combinations, as well as the determination coefficients and standard errors of estimation were established. It was stated, that to estimate daily sum of heat flux into soil on the basis of meteorological elements it is more reasonable to use the equation with only three most important meteorological data (sunshine duration, air temperature amplitude and air temperature changes from day to day) than with all of them.

**Autor's address:**
Jan Kossowski
Instytut Agrofizyki PAN
20-290 Lublin, ul. Doświadczalna 4
Poland

**Antoni KEGLER**
Katedra Budownictwa i Geodezji SGGW
Department of Civil Engineering and Geodesy WAU

# Analiza błędów niwelacji spowodowanych refrakcją różnicową
# Analysis leveling errors cause differential refraction

**Słowa kluczowe:** niwelacja, refrakcja
**Key words:** levelling, refraction

## Wprowadzenie

Współczesnym pomiarom geodezyjnym stawia się coraz większe wymogi dokładnościowe. Postęp w tej dziedzinie osiąga się dzięki optymalnemu programowaniu i automatyzacji pomiarów, wysokiej dokładności instrumentów oraz dzięki umiejętności eliminowania niektórych błędów systematycznych związanych z warunkami pomiarów. Praca niniejsza omawia ostatni z podanych aspektów.

Typowym przykładem systematycznego oddziaływania różnicowej refrakcji niwelacyjnej na wyniki pomiarów jest wyznaczenie przemieszczeń punktów kontrolnych na koronie zapory wodnej, przy występujących deniwelacjach punktów sieci wysokościowej sięgających dziesiątków metrów. O doniosłości problemu świadczy fakt uwzględnienia badań nad wpływem ośrodka pomiarowego na dokładność pomiarów optycznych w opracowanej na II Kongres Nauki Polskiej prognozie nauk geodezyjnych na okres 15 lat oraz postulatach konferencji naukowo-technicznych oraz sympozjów dotyczących geodezyjnych pomiarów odkształceń i przemieszczeń.

Błędy środowiska wynikają z warunków fizycznych przestrzeni pomiarowej, w której wykonuje się pomiar. Do czynników środowiska wpływających na rezultaty pomiarów można zaliczyć: zmiany temperatury, zanieczyszczenie i wibrację powietrza, rodzaj podłoża (fizyczne właściwości gruntu, topografię terenu, szatę roślinną, wody powierzchniowe itp.)

Jednym z efektów działania wymienionych czynników jest refrakcja, dla której decydującym czynnikiem jest temperatura, jako funkcja rzeźby terenu, właściwości fizycznych podłoża, wysokości i czasu pomiaru. Przygruntowa warstwa powietrza ( do 3 m n.p.g.) jest nagrzewana przez powierzchnię Ziemi. Powstają wtedy pionowe profile temperatury.

Pionowe gradienty temperatury powietrza ulegają szybkim (chwilowym) i dużym wahaniom fluktuacyjnym. Okre-

ślenie modelu gradientu temperatury w przygruntowej warstwie powietrza pozwala na dokładniejsze wyznaczenie wartości redukcji refrakcyjnych.

W niwelacji wpływ refrakcji może być eliminowany poprzez wykonywanie pomiarów niwelacyjnych w czasie, kiedy zróżnicowanie temperatury przestrzeni pomiarowej jest małe lub zerowe, albo poprzez wprowadzenie poprawek refrakcyjnych.

## Błędy refrakcji różnicowej w niwelacji geometrycznej

Zjawisko refrakcji różnicowej – niwelacyjnej wywołane zostaje przez zróżnicowane załamywanie się promienia celowej „wstecz" oraz „w przód" (rys. 1) przebiegającego przez pole refrakcyjne o zmieniającym się gradiencie współczynnika załamania powietrza danego ośrodka pomiarowego. O wartości gradientu współczynnika załamania decydują:

- gradient temperatury powietrza,
- gradient ciśnienia atmosferycznego,
- gradient ciśnienia pary wodnej zawartej w powietrzu.

Wyniki pomiarów temperatury w przygruntowej warstwie powietrza, na wysokościach 0,3, 1,5 i 3,0 przedstawiono w tabeli 1. Na podstawie pomierzonej temperatury ustalono pionowy rozkład temperatury warstwy przygruntowej powietrza (od 3 m n.p.g.) dla stanowiska niwelacyjnego. Pionowy rozkład temperatury obliczono dla godzinnych wartości doby 31 sierpnia 1993 roku (słonecznie z wiatrem, podłoże – trawnik), na stacji meteorologicznej IMGW Warszawa Bielany (tab. 1).

Na podstawie pionowego rozkładu temperatury powietrza obliczono poprawkę $\Delta$ dla typowych wartości: $d = 30$ m, $\tau_0 = 1{,}6$ m, $Z_1 = 2{,}4$ m, $Z_2 = 0{,}8$ m, na stanowisku niwelacyjnym spowodowaną refrakcją różnicową ze wzoru:

$$\Delta = d^2 \cdot 0{,}473 \cdot 10^{-6} \frac{2t_0 - t_1 - t_2}{Z_1 - Z_0} \qquad (1)$$

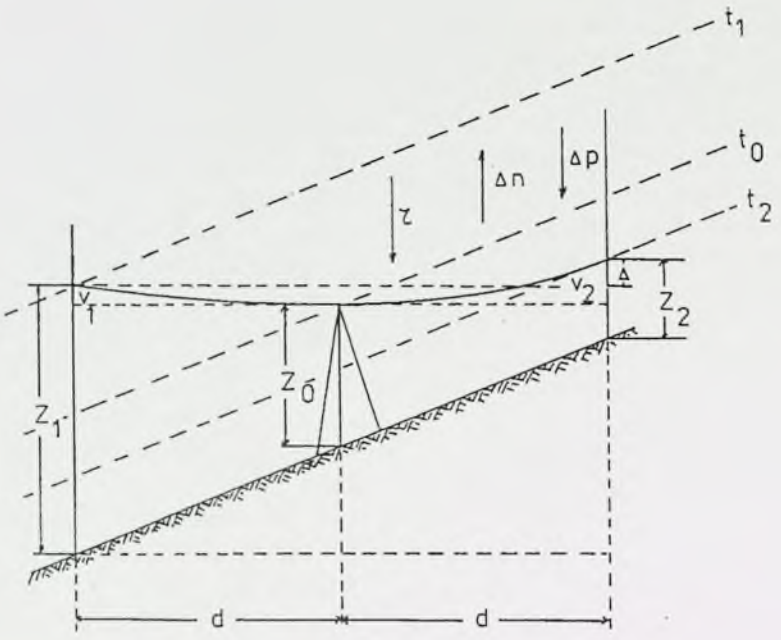
gdzie:
$d$ – długość celowych „wstecz" i „w przód [m],
0,473 – współczynnik obliczony dla średnich wartości ciśnienia atmosferycznego temperatury powietrza,
$t_0$, $t_1$, $t_2$ – temperatura na wysokości $Z_0$, $Z_1$, $Z_2$ [°C].

Obliczono też tę samą poprawkę refrakcyjną $\Delta_2$ z wzoru Kukkamäkiego (Kegler 2002).

Poprawka refrakcyjna $v_1$ i $v_2$ (rys. 1) jest funkcją długości i wysokości całej celowej nad nierównym i pochyłym podłożem i zmienia się w sposób ciągły. Jeśli celowa jest równoległa do powierzchni gruntu, to wówczas błąd z tytułu refrakcji jest równy 0, gdyż $v_1 = v_2$. Wpływ refrakcji wystąpi jedynie w terenie pochyłym lub wówczas, gdy jedna z celowych przebiega przez warstwę nagrzanego przez beton lub piasek powietrza, co zdarza się często w praktyce inżynieryjno-geodezyjnej.

## Wnioski

1. Obliczone poprawki refrakcji na stanowisku niwelacyjnym są największe w godzinach od 8 do 15,




RYSUNEK 1. Przebieg promienia celowej na stanowisku niwelacyjnym w terenie o jednostajnym spadku: $d$ – długość celowych „wstecz" i „w przód", $t_1$, $t_2$ – temperatura powietrza na wysokości celowej przy łacie „wstecz" i „w przód", $t_0$ – temperatura powietrza na wysokości celowej przy niwelatorze, $Z_1$, $Z_2$ – wysokości celowych na łacie „wstecz" i „w przód", $Z_0$ – wysokość celowej przy niwelatorze, $v_1$, $v_2$ – błędy spowodowane refrakcją pionową na łacie „wstecz" i „w przód", $\Delta_p$ – gradient ciśnienia atmosferycznego, $\Delta n$ – gradient współczynnika załamania powietrza atmosferycznego, $\tau$ – gradient temperatury powietrza atmosferycznego

FIGURE 1. Course vision on leveling station on the slope: $d$ – longitude beck and forward vision, $t_1$, $t_2$ – air temperature above ground „beck" and „forward" vision, $t_0$ – air temperature above ground level station, $Z_1$, $Z_2$ – height vision on staff „black" and „forword", $Z_0$ – height vision near level, $v_1$, $v_2$ – refraction errors on staff black and forword, $\Delta_p$ – gradient atmospheric pressure, $\Delta n$ – gradient refractive index atmospheric air, $\tau$ – gradient air temperature

wynoszą średnio 0,05 mm. W godzinach od 3 do 7 są równe zeru, a te same poprawki $\Delta_1$ i $\Delta_2$, obliczone z różnych wzorów, są podobnej wartości.

2. Przy współczesnej, wysoko rozwiniętej technice automatyzacji procesu pomiarowego oraz przy dostępności niwelatorów cyfrowych najwyższej klasy, głównym czynnikiem ograniczającym dokładność pomiarów niwelacji precyzyjnej jest oddziaływanie niejednorodnego ośrodka pomiarowego, odgrywającego w procesie pomiarowym specyficzną rolę.
3. Dalsze podnoszenie dokładności precyzyjnych pomiarów wysokościowych jest możliwe jedynie poprzez uwzględnienie wpływu refrakcji różnicowej i wprowadzenie odpowiednich poprawek lub też wykonywanie pomiarów niwelacyjnych w określonych godzinach doby, tzn. podczas występowania „zerowych" wartości bilansu radiacyjnego.

TABELA 1. Przebieg dobowy błędu niwelacji Δ i pionowy rozkład temperatury powietrza dla pogody słonecznej (31.07.1993 r. Warszawa Bielany)
TABLE 1. Daily course of the error leveling Δ, and vertical distribution air temperature for sunny weather (31.07.1993, Warszawa Bielany)

| Godzina Hours | Temperatura powietrza nad gruntem [°C] Air temperature above ground | | | Pionowy rozkład temperatury powietrza [°C] Vertical distributions of air temperature | Błąd niwelacji Error leveling | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,3 m | 1,5 m | 3,0 m | | $\Delta_1$ | $\Delta_1$ |
| 1 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | t = 15,7 | 0 | 0 |
| 3 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | t = 15,7 | 0 | 0 |
| 4 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | t = 15,7 | 0 | 0 |
| 5 | 16,6 | 16,6 | 16,6 | t = 16,6 | 0 | 0 |
| 6 | 18,6 | 18,6 | 18,6 | t = 18,6 | 0 | 0 |
| 7 | 21,7 | 21,7 | 21,7 | t = 21,7 | 0 | 0 |
| 8 | 22,9 | 22,6 | 22,6 | $t=21,81+0,86\cdot Z^{-0,2}$ | –0,032 | –0,020 |
| 9 | 23,2 | 22,9 | 22,9 | $t=22,11+0,86\cdot Z^{-0,2}$ | –0,080 | –0,030 |
| 10 | 25,1 | 24,8 | 24,8 | $t=24,01+0,86\cdot Z^{-0,2}$ | –0,029 | –0,020 |
| 12 | 26,6 | 26,0 | 25,7 | $t=24,05+2,12\cdot Z^{-0,2}$ | –0,060 | –0,049 |
| 13 | 28,6 | 28,3 | 28,0 | $t=26,86+1,48\cdot Z^{-0,2}$ | –0,051 | –0,035 |
| 14 | 29,2 | 29,0 | 28,8 | $t=27,96+1,12\cdot Z^{-0,2}$ | –0,037 | –0,026 |
| 16 | 29,2 | 29,4 | 29,2 | – | 0 | 0 |
| 19 | 29,0 | 29,0 | 29,0 | t=29,0 | 0 | 0 |
| 22 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | t=16,0 | 0 | 0 |

## Literatura


BRYŚ H. 1994: Ein moderner Lufttemperatur-gradientenmesser mit Digitalanzeige für geodätische Refraktionsforschungen und – bestimmungen Der Vermesungsingenieur 2.

KEGLER A. 2002: Refrakcja w niwelacji geometrycznej. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2 (25).

LIZOŃCZYK M. i in. 1997: Niwelator cyfrowy Di Ni 10 i próba zastosowania go do pomiarów przemysłowych. *Przegląd Geodezyjny*, 11.

TARBUCK E.I., LUTGENS F.K. 1988: Earth Science. Merrill Publishing Company.


## Summary


**Analysis leveling errors cause differential refraction.** The results of measurements of temperature ot soil – adiacent air layer (above ground 0.3 m, 1.5 m, 3 m) which were used for vertical distributions of air temperature and for calculating the refraction errors presented in the article. Errors of leveling, caused by differential refraction is zero in periods 3 to 7 hours. Morning hours were found to be the optimum time for leveling measurements.



**Author's address:**
Antoni Kegler
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Budownictwa i Geodezji
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland

**Doc. dr inż. Włodzimierz Meyer (1928–2003)**

Po krótkiej chorobie odszedł od nas w dniu 15 lutego 2003 roku doc. dr inż. Włodzimierz Meyer, docent IMGW, wybitny specjalista z zakresu hydrologii, gospodarki wodnej i prognoz hydrologicznych, nieetatowy wykładowca na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Włodzimierz Bogumił Stanisław Meyer urodził się 8 V 1928 roku w Sosnowcu jako syn Zygmunta, urzędnika w firmie węglowej, oraz Barbary ze Zwolińskich. Po przeniesieniu się rodziców do Warszawy rozpoczął w 1935 roku naukę w szkole powszechnej na Żoliborzu. Wybuch wojny przerwał normalny tok nauki. W czasie okupacji kontynuował naukę na tajnych kompletach, a następnie, po otwarciu przez władze okupacyjne niektórych szkół, w szkole powszechnej. W latach 1942–1944 uczęszczał do trzyletniej Miejskiej Szkoły Drogowej, gdzie ukończył dwie klasy. Wybuch powstania warszawskiego przerwał dalszą naukę. Od 1 sierpnia do dnia kapitulacji uczestniczył w walkach na Żoliborzu w ramach zgrupowania Armii Krajowej „Żywiciel". Po kapitulacji dostał się do niewoli i został wywieziony do obozu jenieckiego Stalag $XI^A$ w Altengrabow, a następnie Gröningen, koło Halberstadtu, gdzie został skierowany do pracy przymusowej w cukrowni. Uwolniony został, wraz z całym obozem, przez wojska amerykańskie w kwietniu 1945 roku, jeszcze przed zakończeniem wojny. Do końca 1945 roku przebywał w obozach dla byłych jeńców wojennych – Polaków: w Brunszwiku, Hannowerze i Hameln, na terenie północnych Niemiec. W grudniu 1945 roku wraz z kilkoma kolegami przedostał się (pieszo przez ośnieżone Alpy Bawarskie) do Włoch do strefy okupowanej przez wojska II korpusu gen. Andersa. Powodem tej decyzji były trudne warunki życia obozowego, szczególnie pod względem psychicznym, brak w tym czasie perspektyw szybkiego powrotu do kraju oraz niemożność nawiązania kontaktu z rodziną. Przez polskie władze wojskowe został najpierw skierowany do obo-

zu przejściowego dla Polaków, a wkrótce do wojskowego ośrodka szkolnego. Na wiadomość o istnieniu niedaleko w miejscowości Trani k. Barletty, na południu Włoch, Polskiej Szkoły Średniej uzyskał zwolnienie z ośrodka i od drugiego półrocza szkolnego został przyjęty do III klasy gimnazjum. W końcu w 1946 roku został wraz ze szkołą przeniesiony do Wielkiej Brytanii, gdzie zostało utworzone Polskie Gimnazjum i Liceum im. M. Kopernika w Riddlesworth. W 1947 roku ukończył 4. klasę gimnazjum i po zdaniu tzw. małej matury w październiku 1947 roku wraz z grupą młodzieży powrócił do Polski.

Po powrocie mieszkał z rodzicami w Sosnowcu, gdzie w 1949 roku ukończył Liceum im. Staszica. W tym samym roku przeniósł się wraz z rodzicami do Warszawy, gdzie wstąpił na Inżynierski Kurs Hydrologiczny (początkowo nazwany Hydrograficznym) przy Politechnice Warszawskiej, zorganizowany przez Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny. Celem kursu było wykształcenie inżynierów hydrologów, którzy mogliby podjąć pracę w służbie hydrologicznej. Na studiach wykłady prowadzili wybitni uczeni, profesorowie Politechniki, Uniwersytetu Warszawskiego i SGGW, między innymi prof. prof.: Edward Czetwertyński (hydraulika), Kazimierz Dębski (hydrologia), Julian Lambor (budownictwo wodne), Czesław Zakaszewski (melioracje wodne), Romuald Gumiński (meteorologia), Jerzy Kondracki (geografia fizyczna). Wśród młodej kadry nauczającej byli późniejsi profesorowie, m.in.:. Zdzisław Kaczmarek, Zdzisław Mikulski i Jan Skibiński. Od czasu wspólnych studiów datuje się nasza znajomość, koleżeństwo i przyjaźń, które przetrwały ponad 50 lat.

W 1952 roku Włodzimierz Meyer uzyskał dyplom inżyniera hydrologa i został skierowany nakazem pracy do Państwowej Komisji Planowania Gospodarczego (PKPG) do Departamentu Gospodarki Wodnej, gdzie jako starszy radca zajmował się analizą norm zapotrzebowania i zużycia wody. W 1954 roku został urlopowany w celu ukończenia studiów magisterskich na Wydziale Budownictwa Wodnego Politechniki Warszawskiej. Po ich ukończeniu, w 1956 roku, uzyskał tytuł magistra inżyniera hydrologii i podjął pracę w Biurze Projektów Energetycznych „Energoprojekt" jako starszy projektant i kierownik Zespołu Hydrologii i Gospodarki Wodnej. Zajmował się tam zagadnieniami gospodarki wodnej licznych obiektów hydrotechnicznych, jak również projektów zaopatrzenia w wodę elektrowni cieplnych. Współpracował przy sporządzaniu instrukcji eksploatacyjnych obiektów wodnych.

W grudniu 1960 roku dyrektor PIHM, prof. Julian Lambor wystąpił do „Energoprojektu" z pisemna prośbą o przeniesienie mgr. Włodzimierza Meyera do Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego ze względu na Jego wysokie kwalifikacje jako hydrologa. W PIHM pracował początkowo na stanowisku kierownika Samodzielnej Pracowni Ekspertyz, Opinii i Elaboratów Hydrologicznych, a później na stanowisku kierownika Zakładu Prognoz Hydrologicznych w Pionie Prognoz. Zagadnieniami prognoz hydrologicznych zarówno od strony naukowej, jak i operacyjnej zajmował się aż do przejścia na emeryturę w 1990 roku.

W 1962 roku Rada Naukowa PIHM powołała Go na stanowisko adiunkta naukowo-badawczego. W latach 1962–1963 współpracował z CBS i PBW „Hydroprojekt".

W listopadzie 1965 roku na podstawie przedłożonej rozprawy doktorskiej „Określenie pojemności użytecznej zbiorników retencyjnych w funkcji parametrów hydrologicznych i wodno-gospodarczych dorzecza" uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych, nadany uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Warszawskiej. Promotorem pracy był prof. Zdzisław Kaczmarek.

W 1966 roku prezes Centralnego Urzędu Gospodarki Wodnej mianował Go samodzielnym pracownikiem naukowo-badawczym. W 1973 roku został mianowany docentem.

W drugiej połowie lat sześćdziesiątych dwukrotnie powierzano Mu okresowe pełnienie obowiązków zastępcy dyrektora PIHM ds. Prognoz przy jednoczesnym zachowaniu funkcji kierownika Zakładu Prognoz Hydrologicznych. Z dniem 1 marca 1970 roku został powołany na stanowisko zastępcy dyrektora PIHM ds. Badań, które sprawował do 31 grudnia 1973 roku, tj. do daty połączenia PIHM z Instytutem Gospodarki Wodnej i utworzenia Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Po kilkumiesięcznym kierowaniu Zakładem Gospodarowania Wodą w Systemach przeszedł z dniem 1 maja 1975 roku, na własną prośbę, do Zakładu Prognoz Hydrologicznych IMGW na stanowisko kierownika Pracowni Operatywnej Oceny Zasobów Wodnych w Zlewni przemianowanej w późniejszym okresie na Pracownię Analiz Hydrologiczno-Meteorologicznych. Pracownią tą kierował do dnia przejścia na emeryturę – 28 grudnia 1990 roku. Już jako emeryt pracował w Instytucie do marca 1992 roku, w wymiarze 3/4 etatu.

Doc. Włodzimierz Meyer był autorem lub współautorem 38 prac i artykułów publikowanych w czasopismach krajowych i zagranicznych, jak również autorem programów nauczania, podręczników, skryptów i poradników metodycznych.

Działalność naukowa i inżynierska doc. Włodzimierza Meyera koncentrowała się na zagadnieniach racjonalnej gospodarki wodnej, ochrony przeciwpowodziowej i metodyki prognoz hydrologicznych.

W pierwszym okresie swej działalności inżynierskiej był współautorem licznych prac projektowych, opracowując m.in.: podstawy hydrologiczne i zasady gospodarowania wodą zbiorników na Sanie w Solinie i Myczkowcach, koncepcję zabudowy hydrotechnicznej Sanu pod kierunkiem wybitnego specjalisty inż. Bolesława Rudnickiego, jednego z wariantów zbiornika w Czorsztynie na Dunajcu, zbiornika w Koronowie na Brdzie, a także projekty zaopatrzenia w wodę największych w Polsce elektrowni cieplnych w Turowie i Stalowej Woli. Prowadzone przez Niego analizy dały podstawy do wyboru mocy instalowanej elektrowni w Solinie. Opracował pierwszą instrukcję eksploatacyjną zbiornika, która w ogólnych zarysach do dziś pozostaje aktualna.

Z tego okresu pochodzą prace poświęcone ustaleniu zasad opracowywania wykresów dyspozytorskich dla gospodarki na zbiornikach retencyjnych (1960) oraz udział w przygotowaniu

podstaw naukowych operatu osłony przeciwpowodziowej i gospodarki wodnej elektrowni wodnej w Rożnowie, opracowanego pod kierunkiem prof. Juliana Lambora.

W późniejszym okresie, już jako doktor nauk technicznych, zajmował się zagadnieniem uproszczonej metody ustalania potrzebnej pojemności retencyjnej zbiorników w zależności od naturalnych stosunków wodnych dorzecza oraz od potrzebnego w danym regionie wykorzystania zasobów wodnych. Praca ta została przedstawiona na Międzynarodowym Sympozjum nt. „Hydrologii zbiorników i jezior" (Garda – Włochy, 1966). Z tego okresu pochodzi praca „Metody oszacowania rezerwy użytecznej zbiorników" przedstawiona na polsko-francuskim kolokwium poświęconym gospodarce wodnej (Paryż, 1968). Kolejnym opracowaniem dotyczącym wykorzystania zbiorników retencyjnych było opracowanie na temat wpływu zbiorników na reżim hydrologiczny rzek, przedstawione na konferencji poświęconej ocenie wpływu człowieka na zasoby wodne i reżim hydrologiczny rzek (Sofia, 1979).

Po przejściu do PIHM poświęcił się metodyce prognoz hydrologicznych. Tematyka ta interesowała Go ze względu na bezpośredni związek badań z wdrożeniem ich efektów w operacyjnej służbie prognoz, co kojarzyło mu się z jego wieloletnią pracą w biurze projektów. Prognozy hydrologiczne były „oczkiem w głowie" i przedmiotem szczególnego zainteresowania ówczesnego dyrektora Instytutu prof. Juliana Lambora.

Doc. Włodzimierz Meyer był autorem lub współautorem prac wykonanych w kierowanym przezeń Zakładzie Prognoz Hydrologicznych, które zostały bezpośrednio wprowadzone do służby m.in. modeli prognoz dopływu do zbiorników retencyjnych, wykorzystania metod statystycznych w prognozach hydrologicznych, prowadzonych wspólnie z wybitnym specjalistą, nieżyjącym już mgr. inż. Henrykiem Waszniewskim. Zastosowanie metody warunkowych rozkładów prawdopodobieństwa w prognozach hydrologicznych było w owym czasie rozwiązaniem nowatorskim. Ponadto zajął się metodyką oceny sprawdzalności prognoz hydrologicznych, jak również oceny wilgotności gleby jako parametru w hydrologicznych modelach prognoz. Doc. Włodzimierz Meyer był także autorem wzoru empirycznego do szacowania współczynnika zmienności przepływów maksymalnych ($c_v$).

W ostatnim okresie swojej pracy w Instytucie zajmował się również zagadnieniem suszy hydrologicznej, która miała miejsce w Polsce w 1969 roku i w latach 1982–1992.

Oceniając wieloletnią pracę w Instytucie, stwierdzić należy, że doc. Włodzimierz Meyer wniósł poważny i liczący się wkład naukowy i organizacyjny w zakresie prognoz hydrologicznych, gospodarowania wodą i hydrologii inżynierskiej. Jednym z najważniejszych Jego osiągnięć było usprawnienie i unowocześnienie organizacji osłony przeciwpowodziowej na obszarze całego kraju oraz wprowadzenie nowoczesnej metody opracowania prognoz przy zastosowaniu metod numerycznych.

Równolegle do pracy zawodowej poświęcał się pracy dydaktycznej.

W latach 1958–1961 był zatrudniony w Katedrze Hydrauliki i Hydrologii (a po reorganizacji w Katedrze Hydrologii i Gospodarki Wodnej) na Wydziale Budownictwa Wodnego Politechniki warszawskiej, na stanowisku starszego asystenta. Po przejściu do PIHM, w 1961 roku, zaprzestał pracy w Politechnice, zajmował się jednak nadal dydaktyką i szkoleniem. Był m.in. współautorem (wspólnie z mgr. inż. Julianem Gołkiem) skryptu z hydrologii dla techników, współautorem programów nauczania w Technikum Gospodarki Wodnej, autorem rozdziałów w pracy zbiorowej „Woda w przemyśle" (PWT, 1961), rozdziałów w poradniku „Ochrona przed powodzią" (SITWM-NOT, 1975).

Po przejściu na emeryturę został zaangażowany, w 1990 roku, jako dydaktyk w Katedrze Budownictwa Wodnego (obecnie Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska) na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Początkowo prowadził ćwiczenia z hydrologii na studiach stacjonarnych. W 1993 roku przejął wykłady z hydrologii na studiach zaocznych na tym Wydziale, prowadząc jednocześnie ćwiczenia z tego przedmiotu. Wykłady te prowadził do 2002 roku, ćwiczenia zaś do 2000 roku. W okresie swojej działalności w SGGW dał się poznać jako znakomity dydaktyk, ceniony powszechnie przez studentów. Uczestniczył w pracach naukowych Katedry, był recenzentem prac doktorskich i magisterskich, współautorem akademickiego podręcznika „Hydrologia" i kilku referatów, dotyczących zjawiska suszy hydrologicznej. Referaty te zostały wygłoszone na konferencjach w Bielsku Białej (1998), Poznaniu (1999), Warszawie (2002) oraz za granicą – w Grazu (Austria, 1999) i w Brnie (Czechy 2001), i zostały opublikowane w czasopismach i materiałach konferencyjnych.

Pracę naukową, zawodową i dydaktyczną łączył z działalnością organizacyjną. Przez wiele lat był przewodniczącym polskiej części grupy roboczej ds. współpracy na wodach granicznych, członkiem Polskiego Komitetu Międzynarodowej Dekady Hydrologicznej UNESCO – przedstawicielem Polski w Grupie Roboczej ds. Hydrologii i Ochrony Przeciwpowodziowej, następnie członkiem Komitetu ds. Badań Hydrologicznych PAN. Był członkiem Rady Naukowej IMGW, członkiem i przewodniczącym Komisji Egzaminacyjnej Synoptyków PIHM, członkiem komitetu redakcyjnego wydawnictw Instytutu, w tym naczelnym redaktorem kwartalnika „Wiadomości IMGW". Był członkiem Rady Programowej miesięcznika „Gospodarka Wodna" oraz jej sekretarzem naukowym. W latach 1972–1974 działał również jako członek Rady Naukowo-Technicznej przy Ministerstwie Rolnictwa. Był aktywnym członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych NOT, przez wiele lat uczestniczył w pracach zarządu Oddziału Warszawskiego Stowarzyszenia. Był rzeczoznawcą Stowarzyszenia w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej. Od 1970 roku był członkiem Polskiego Towarzystwa Geofizycznego, pełnił funkcję członka zarządu i przewodniczącego Zarządu Oddziału Warszawskiego oraz członka Zarządu Głównego. W ostat-

nich latach był Członkiem Honorowym Towarzystwa i Sekretarzem Generalnym Zarządu Głównego.

Działał również w Związku Zawodowym Pracowników Państwowych, gdzie przez trzy kadencje piastował funkcję Przewodniczącego Rady Zakładowej. Z racji swej kombatanckiej przeszłości był członkiem ZBOWiD.

Za swoją działalność naukową, zawodową i społeczną został odznaczony: Srebrnym Krzyżem Zasługi (1969), Złotym Krzyżem Zasługi (1979), Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski (1986), oraz za działalność w okresie okupacji: Warszawskim Krzyżem Powstańczym (1983), Krzyżem Armii Krajowej (1995), Krzyżem Partyzanckim (1996), medalem „Za Warszawę 1939–1945" (1977).

Za działalność zawodową i społeczną w okresie powojennym został wyróżniony: Brązowym medalem „Za zasługi dla obronności kraju", złotą odznaką „Za zasługi w zwalczaniu powodzi", złotą odznaką „Za zasługi dla ochrony środowiska i gospodarki wodnej", medalem „50-lecia Służby", srebrną i złotą Odznaką Honorową SITWM NOT.

Doc. Włodzimierz Meyer był żonaty ze swoją koleżanką z okresu studiów w Politechnice Warszawskiej, Haliną z Markiewiczów, z którą przeżył wzorowo 46 lat małżeństwa. Oboje pracowali wspólnie po studiach inżynierskich w PKPG, po studiach magisterskich zaś w „Energoprojekcie", gdzie

Jego żona była uznaną specjalistką z zakresu gospodarki wodnej i zaopatrzenia w wodę elektrowni cieplnych. Ich córka, Barbara, poszła w ślady rodziców i również ukończyła studia w Politechnice Warszawskiej, na kierunku Inżynieria Wodna.

Doc. Włodzimierz Meyer wyróżniał się nieposzlakowaną uczciwością, rzetelnością i poczuciem obowiązku. Był przy tym człowiekiem głębokiej wiary, wielkiej delikatności, skromności i kultury osobistej oraz życzliwości dla osób, z którymi się stykał w życiu zawodowym i prywatnym.

*Dla mnie byłeś Włodku najserdeczniejszym przyjacielem. Znajomość nasza sięga okresu tuż przed wybuchem II wojny światowej, gdy w sierpniu 1939 roku poznaliśmy się na wakacjach spędzonych nad Rawką. Później, podczas zawieruchy wojennej straciliśmy kontakt, by dokładnie po dziesięciu latach spotkać się w tej samej grupie studenckiej na Politechnice Warszawskiej. Od tego czasu kontakty nasze były coraz bardziej ścisłe. Wspólnie przygotowywaliśmy się do ważniejszych egzaminów, a w późniejszych latach wiele czasu spędzaliśmy na dyskusjach nad problemami naukowymi i zawodowymi. Odejście Twoje odczuwam bardzo boleśnie – będzie mi Cię bardzo brakować...*

*Requiescat in pace!*

*Andrzej Byczkowski*

**Ważniejsze publikacje doc. Włodzimierza Meyera**

1. Przykład opracowania wykresów dyspozytorskich dla prowadzenia gospodarki wodnej na zbiornikach retencyjnych. Referat na sesję naukową pracowników Wydz. Budownictwa Wodnego PW, Warszawa 1960.
2. Chłodzenie wody w obiegu zamkniętym oraz zaopatrzenie w wodę zakładów przemysłowych. W: Woda w Przemyśle – Poradnik. (red.) J. Lambor. PWT, Warszawa 1961.
3. Ustalenie empirycznej zależności dla określania współczynnika zmienności maksymalnych przepływów rocznych w górskich częściach dorzecza Wisły. Prace PIHM nr 88/1965.
4. Empirical method for determination the storage reservoir capacity. Symposium on Hydrology Lakes and Reservoirs. Garda (Italy). IASH. Publ. nr 71/1966.
5. Methode d'evaluation de la reserve utile des bassins de retention. Colloque France-Polonais de l'amenagement et de l'economie de l'eau, Paris 1968.
6. Hydrologia, Instrukcje i Podręczniki nr 97. WKiŁ, Warszawa 1968 (wspólnie z J. Gołkiem).
7. Prognoza dopływu wody do zbiorników retencyjnych. Prace PIHM nr 100/1969 (wspólnie z H. Waszniewskim).
8. Podstawy oceny sprawdzalności prognoz hydrologicznych. *Wiad. Sł. Hydr. Meteor.* T. VIII, z. 1/1972.
9. Osłona meteorologiczna i hydrologiczna dla potrzeb ochrony przed powodzią. W: Ochrona przed powodzią. Z. 2. SITWM-NOT, Warszawa 1975.
10. Operatywne bilanse wodne w zastosowaniu do prognoz hydrologicznych. *Gosp. Wod.* z. 6/1979.
11. Susza hydrologiczna w Polsce w latach 1989–1992 na tle wielolecia 1981–1992. *Gosp. Wod.* z. 12/1992 (wspólnie z E. Bobińskim).
12. Wykorzystanie krzywej recesji do długoterminowej prognozy średnich przepływów wody w okresie niżówkowym. *Wiad. IMGW*, T. XVI. z. 3/1993 (wspólnie z B. Fal).
13. Susza w życiu społecznym i gospodarczym kraju. Konferencja Naukowo-Techniczna „Zagrożenie klęskami żywiołowymi". Bielsko-Biała 1998 (wspólnie z A. Byczkowskim).
14. Objective criteria of hydrological drought evaluation. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. CCCX. *Mel. i Inż. Środ.* Cz. 1 20/1999 (wspólnie z A. Byczkowskim).
15. Drought and its hydrologic aspects (case study for Poland). Proceedings XXVIII IAHR Congress. Graz (Austria) 1999 (wspólnie z A. Byczkowskim).
16. Prognozy hydrologiczne. W: A. Byczkowski: Hydrologia. T. II. Wydaw. SGGW, Warszawa 1999.
17. Metodyka opracowania bilansów wodnych oraz Wybrane zagadnienia modelowania matematycznego w hydrologii. W: A. Byczkowski: Hydrologia. T. II. Wydaw. SGGW, Warszawa 1999 (wspólnie z A. Byczkowskim).
18. Hydrological drought: Objective criteria of its evaluation. Sustainable Use of Land and Water. 19th

European Regional Conference of ICID. Brno (Czechy) 2001 (wspólnie z A. Byczkowskim).

19. Analysis of relations between the stream flow of drought parameters according to the different truncation level. Advances in Hydro-Science and – Engineering. Proceedings of the 5th International Conference on Hydro-Science and – Engineering. Vol. 5, Warszawa 2002 (wspólnie z A. Byczkowskim i E. Głogowską).