
Przegląd Naukowy

Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

Zeszyt 23

SCIENTIFIC REVIEW
ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

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), Bonifacy Łykowski (SGGW),
Mariusz Kembłowski (Utha State University, USA)

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Andrzej Ciepielowski, Bonifacy Łykowski (przewodniczący), Mieczysław Połoński

RECENZENCI

Elżbieta Biernacka, Andrzej Ciepielowski, Janusz Kubrak, Bonifacy Łykowski, Romuald Madany,
Waldemar Misiak, Mieczysław Połoński, Zbigniew Poppek, Alojzy Szymański, Jan Żelazo

ADRES REDAKCJI

Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel. 843 90 41 (61, 81) w. 1273 i 1769

Przegląd Naukowy

Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

Zeszyt 23

Warszawa 2001

Spis treści

Contents

PRACE ORYGINALNE

J. KUBRAK, A. KOZIOŁ: Wyniki obliczeń prędkości w przekroju dwudzielnym z drzewami na terenie zalewowym <i>Computational results of the velocity in a compound channel with trees on flood plains</i>	3
A. KOZIOŁ, M. KRUKOWSKI: Zastosowanie sondy ADV do pomiaru składowych prędkości przepływu wody <i>Application probe ADV to measure the velocities component of flow</i>	13
M. KRUKOWSKI, G. KURZAWSKI: Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń pasywnych w rzece nizinnej <i>Spread of the passive pollutants in lowland river</i>	23
K. PACHUTA: Proekologiczne działania inżynierskie z wykorzystaniem gabionów <i>Gabions application in proecological engineering operation</i>	37
H. KAZIEKO, L. KAZIEKO: Rozwiązanie nieliniowego zagadnienia konsolidacji gruntu <i>A solution of a non-linear problem of soil consolidation</i>	47
T. ROZBICKI: Związek między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej i jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi z okresu uprzedniego <i>Relationship between winter wheat and spring barley phenological interphase periods and anterior meteorological elements</i>	57
B. OLECHNOWICZ-BOBROWSKA, J. WOJKOWSKI: Struktura bilansu promieniowania na Płaskowyżu Proszowickim <i>The structure of the radiation balance at the Płaskowyż Proszowicki</i>	67
B.H. CHOJNICKI, A. KĘDZIORA, J. OLEJNIK, J. LEŚNY: Obliczenia ciepła wodnego w małym zbiorniku wodnym w krajobrazie rolniczym na podstawie pomiarów promieniowania <i>Heat water flux assessment in small water bodies located in agricultural landscape using radiation measurements</i>	73
D. GOŁASZEWSKI: Struktura bilansu cieplnego w nocy przymrozkowe w okresie wiosny <i>Heat balance structure during nights with frost in spring for standard surface of grass in Ursynów WAU</i>	81
K. ROZBICKA: Dobowy przebieg parowania dla wybranych dni w okresie 1997–1999 w Ursynowie <i>Course of daily evaporation for selected days in period 1997–1999 in Ursynów</i>	87
A. BŁĘDZINSKA: Związek między częstością występowania opadu a kierunkiem napływu mas powietrza w rejonie Ursynowa <i>The relationship between precipitation frequency and air-mass direction in Ursynów</i>	95
B. ŁYKOWSKI: Termiczne różnice wiatru w Ursynowie SGGW <i>Thermal wind roses at Ursynów WAU</i>	109

M. KLENIEWSKA: Wyniki badań zależności stężenia dwutlenku siarki od temperatury powietrza w Warszawie-Ursynowie <i>Results of the research on relationship between sulphur dioxide concentration and air temperature in Warsaw-Ursynów</i>	119
M. KLENIEWSKA, B. ŁYKOWSKI: Próba zastosowania wskaźnika zanieczyszczenia WZ do wyznaczenia zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w okresie zimy <i>The attempt of meteorological index WZ method use for the valuation of air pollution with sulphur dioxide in winter</i>	127
M. POŁONSKI, J. NAGRABA: Analiza wykonania podpiwniczenia sali muzealnej w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie <i>Analysis of build a cellar for Polish Geological Institute in Warsaw</i>	133
W. MISIAK: Zarządzanie środowiskiem w przedsiębiorstwie <i>Managing of company's environment</i>	143
K. PIEKUT, J. SZTYBER: Ocena oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań – przegląd metod <i>Assessment of indirect, cumulative impacts and impact interactions – methods review</i>	149
J. WYSOCKI: Wykorzystanie pakietu komputerowego C-GEO w przedmiocie „Geodezyjne urządzenie terenu” <i>Using of the computer program C-GEO in the subject „Geodetic arranging of areas”</i>	159
B. OLSZAK: Zastosowanie technologii Cyklob-SBR na przykładzie oczyszczalni ścieków w Mikołajkach <i>Waste water treatment plant in Mikołajki as example of SBR – Cyklob technology</i>	171

WSPOMNIENIA POŚMIERTNE

Jan Skibiński (1923–2001)	179
Janusz Sokołowski (1930–2001)	183

KRONIKA

J. SKIBIŃSKI: Początki Wydziału Melioracji Wodnych SGGW. Wspomnienie	187
B. ŁYKOWSKI: Ogólnopolski Zjazd Katedr i Zakładów Jednoimiennych z Zakresu Agrometeorologii i Klimatologii. Warszawa, 20–22 czerwca 2001 rok	195

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2001

Redaktor – Ewa Ramus

Redaktor techniczny – Krystyna Piotrowska

ISBN 83-7244-257-6

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

Janusz KUBRAK, Adam KOZIOŁ

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Hydrauliki

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Division of Hydraulic

Wyniki obliczeń prędkości w przekroju dwudzielnym z drzewami na terenie zalewowym

Computational results of the velocity in a compound channel with trees on flood plains

Wstęp

W pracy przedstawiono porównanie wyników obliczeń średnich prędkości przepływu z wynikami pomiarów w korycie o złożonym przekroju poprzecznym i z drzewami występującymi w terenach zalewowych. Uwzględniono zróżnicowanie chropowatości powierzchni koryta. Metoda obliczeń opracowana przez Paschego (1984) i zmodyfikowana przez Mertensa (1989) została opisana w pracy „Porównanie wyników badań i obliczeń przepustowości koryta o przekroju dwudzielnym z drzewami w terenie zalewowym” (Kubrak i Kozioł 2000). Wspólną cechą obu metod obliczeń jest zastosowanie uniwersalnego równania przepływu Darcy’ego-Weisbacha do obliczeń średnich prędkości z zależnościami Colebrook-Whitea i Lindnera wykorzystywanymi do wyznaczania bezwymiarowych

współczynników oporu drzew i powierzchni koryta. Obie metody są zalecane do stosowania w praktyce inżynierskiej przez Niemiecki Związek Inżynierów Gospodarki Wodnej (DVWK-Merkblätter 220, 1991).

Metodyka i zakres badań

Badania przepustowości koryt o złożonym trapezowym przekroju poprzecznym prowadzono w latach 1988–1998 w Katedrze Budownictwa Wodnego w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w prostoliniowym, betonowym korycie długości 16 m i całkowitej szerokości 2,10 m, z symetrycznymi terenami zalewowymi. Podłużny spadek dna koryta głównego i terenów zalewowych był stały i równy 0,5‰. Drzewa modelowano sztywnymi metalowymi rurkami o śred-

nicy 8,0 mm, mocowanymi do drewnianych belek umieszczonych nad korytem prostopadle do jego osi. W różnych wariantach badań zmieniano rozmieszczenie drzew w planie koryta, które było jednakowe w przekrojach poprzecznych na całej długości koryta.

Badania przepustowości prowadzono dla następujących wariantów:

Wariant 1.1*: gładka powierzchnia koryta. Rozmieszczenie drzew w planie terenów zalewowych i skarpie koryta głównego było regularne, tzn. w oczkach siatki $0,10 \times 0,10$ m (rys. 1a). W 161 przekrojach poprzecznych koryta znajdowało się po 18 drzew, w sumie było ich 2898.

Wariant 1.2*: powierzchnia koryta i rozmieszczenie drzew jak w wariantcie 1.1, lecz usunięto po 1 drzewie z prawej skarpy koryta głównego (rys. 1b).

Wariant 1.3*: powierzchnia koryta jak w wariantcie 1.1, lecz usunięto wszystkie drzewa z prawego terenu zalewowego (rys. 1c).

Wariant 2.1: gładka powierzchnia koryta głównego, natomiast powierzchnia terenów zalewowych została pokryta ziarnami kruszywa łamanego, tzw. lastryko, o średnicy od 0,5 do 1 cm ułożonego na zaprawie cementowej. Drzewa rozmieszczone były regularnie w oczkach siatki $0,10 \times 0,10$ m. W przekrojach poprzecznych znajdowało się po 16 drzew w 161 przekrojach (rys. 1d).

Wariant 2.2: powierzchnia koryta jak w wariantcie 2.1. Drzewa rozmieszczone były regularnie w oczkach siatki $0,20 \times 0,20$ m. W 161 przekrojach poprzecznych znajdowało się po 8 drzew (rys. 1d).

Szczegółowy opis metodyki badań zawiera praca Koziola (1999).

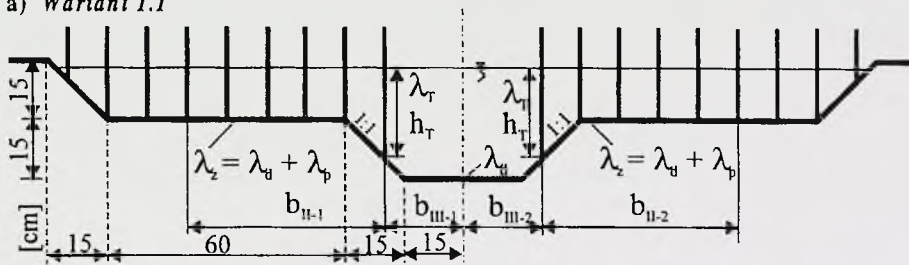
Obliczanie prędkości przepływu

Obliczenia średnich prędkości przepływu w korycie głównym i terenach zalewowych koryta o złożonym przekroju wykonano dla wszystkich pokazanych na rysunku 1 wariantów badań. W obliczeniach przyjmowano wartości chropowatości absolutnej powierzchni koryta bez drzew, wyznaczone metodą pośrednią, tzn. ze wzoru Colebrooka-Whitea dla określonych w pomiarach średnich prędkości przepływu w korycie. Dla gładkich powierzchni koryta otrzymano w ten sposób chropowatość absolutną $k_s = 0,00005$ m (warianty 1.1, 1.2, 1.3). Dla chropowatej powierzchni lewego terenu zalewowego wyznaczono $k_s = 0,0074$ m, a dla powierzchni prawego terenu zalewowego $k_s = 0,0124$ m (warianty 2.1, 2.2).

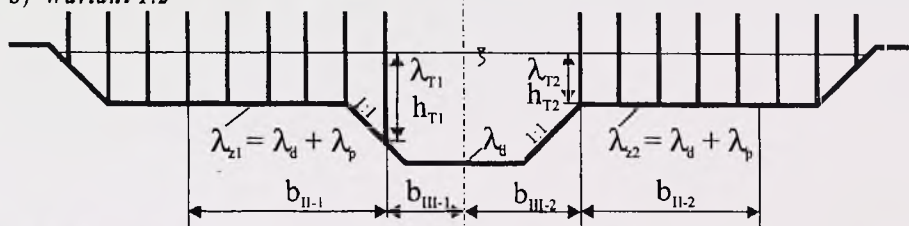
Przebieg wykonywanych obliczeń ilustrują schematy strukturalne pokazane w tabelach 1, 2 i 3 zamieszczone w pracy Kubraka i Koziola (2000).

* Badania w wariantach 1.1, 1.2 i 1.3 przeprowadzono w Katedrze Budownictwa Wodnego SGGW w latach 1991–1994 w ramach grantu KBN 5080591.01 „Hydrauliczne warunki przepływu w korytach wielkich wód”.

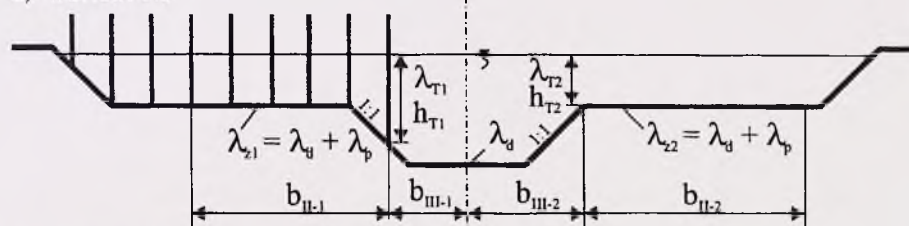
a) *Wariant 1.1*



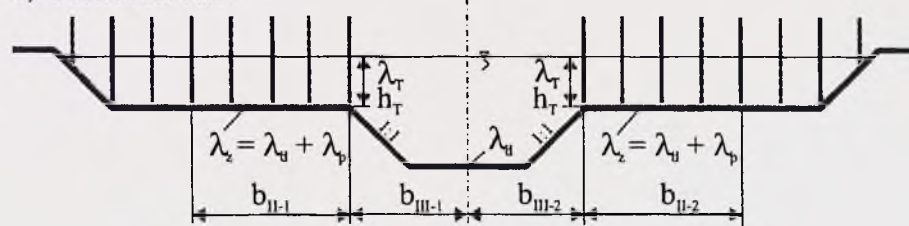
b) *Wariant 1.2*



c) *Wariant 1.3*



d) *Wariant 2.1 i 2.2*



RYSUNEK 1. Schematy podziału złożonego przekroju koryta w obliczeniach prędkości i natężenia przepływu w różnych wariantach badań

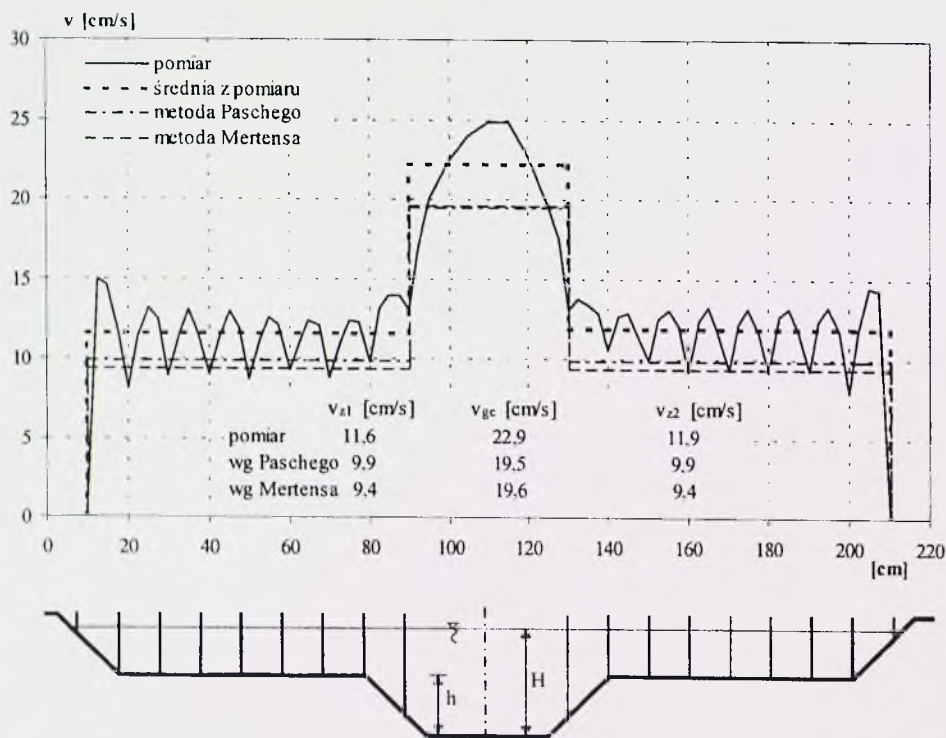
FIGURE 1. Scheme of a compound cross-section divided for computations of flow velocities and discharges in various variants of investigations

Analiza porównawcza wyników obliczeń

Wybrane rozkłady pomierzonych i obliczonych średnich prędkości przepływu w poszczególnych częściach złożonego przekroju koryta pokazano dla różnych wariantów badań na rysunkach 2–6. Obie metody obliczeń dają mniejsze wartości średnich prędkości przepływu w wariacie 1.1 w stosunku do pomiarów (rys. 2), przy czym nieco lepszą zgodność z wynikami pomiarów mają

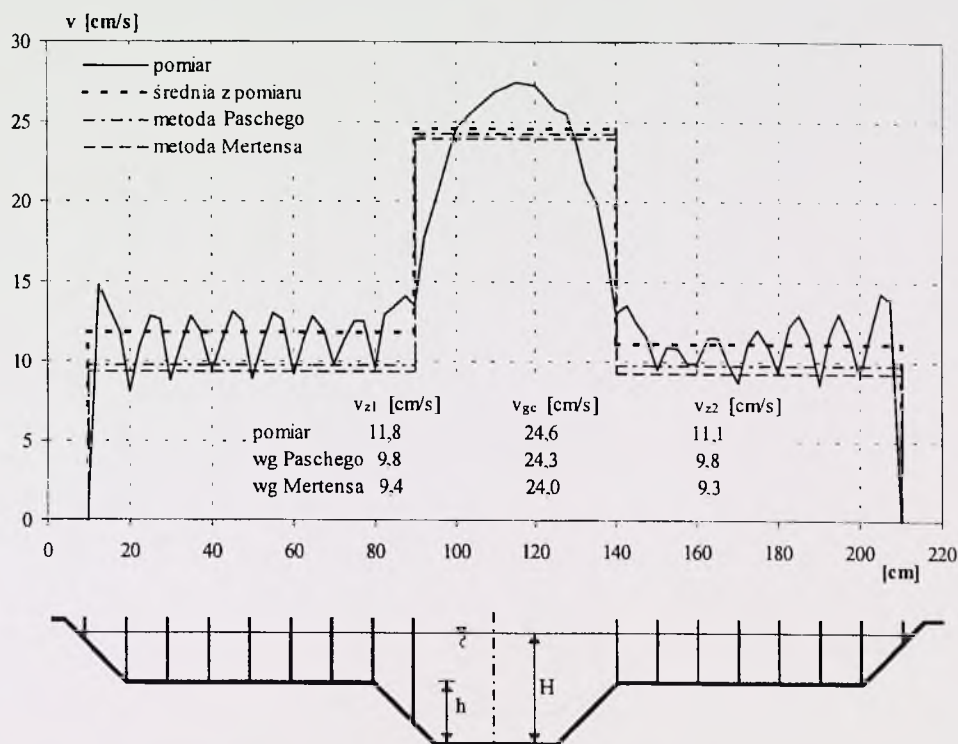
wartości obliczone dla terenów zalewowych niż dla koryta głównego. Z porównania wyników obliczeń prędkości wynika, że wartości uzyskane według metody Paschego dla terenów zalewowych są bardziej zbliżone do prędkości pomierzonych (rys. 2).

Usunięcie jednego rzędu drzew z prawej skarpy koryta głównego (rys. 3) w wariacie 1.2 spowodowało wzrost średniej prędkości przepływu w korycie głównym w stosunku do pomiarów w wariacie 1.1. Wartości średnich prędkości przepływu w korycie głównym, po-



RYSUNEK 2. Pomierzone i obliczone według Mertensa i Paschego prędkości średnie w korycie o złożonym przekroju poprzecznym w wariacie 1.1 ($H = 24,26$ cm)

FIGURE 2. Mean velocity distributions measured and computed by means of Mertens and Pasche methods in a compound channel in variant 1.1



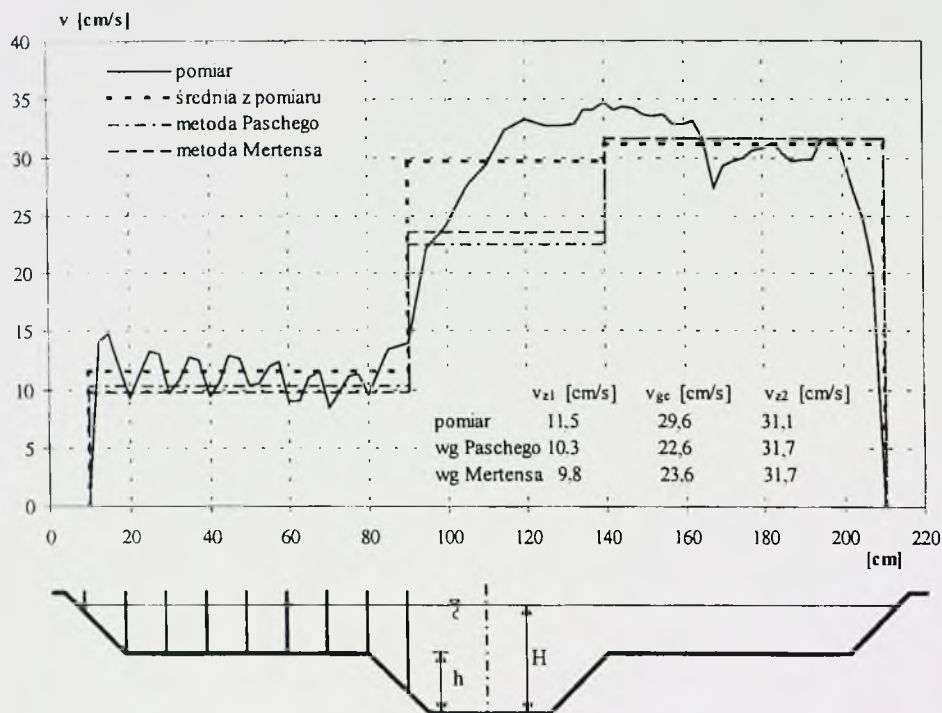
RYSUNEK 3. Pomierzone i obliczone według Mertensa i Paschego prędkości średnie w korycie o złożonym przekroju poprzecznym w wariancie 1.2 ($H = 24,0$ cm)

FIGURE 3. Mean velocity distributions measured and computed by means of Mertens and Pasche methods in a compound channel in variant 1.2

mierzone i obliczone metodą Paschego i Mertensa, w wariancie 1.2 nie różnią się zasadniczo od siebie. Obliczone obiekty metodami średnie prędkości przepływu w terenach zalewowych są nieco mniejsze niż uzyskane w pomiarach (rys. 3).

Szczególnie interesujące są wyniki obliczeń prędkości przepływu w wariancie 1.3 przy braku drzew w prawej części terenu zalewowego (rys. 4). Przeprowadzone w pracy Kozioła (1999) analizy potwierdzają, że zarówno metoda Paschego, jak i Mertensa dają mniejsze wartości prędkości przepływu w stosunku do

pomierzonych przy małych napęgnięciach, a przy dużych większe prędkości. Przy napęgnięciu $H = 0,241$ cm, pokazanym na rysunku 4, średnia prędkość przepływu w prawej części terenu zalewowego była większa niż w korycie głównym. W lewej części terenu zalewowego obliczone metodą Paschego wartości średniej prędkości przepływu są bardziej zbliżone do wartości z pomiarów. W korycie głównym obie metody obliczeń dają mniejsze wartości średniej prędkości przepływu w stosunku do wartości pomierzonych (rys. 4), lecz nieco lepszą zgodność wy-



RYСУNEK 4. Pomierzone i obliczone według Mertensa i Paschego prędkości średnie w korycie o złożonym przekroju poprzecznym w wariancie 1.3 ($H = 24,11$)

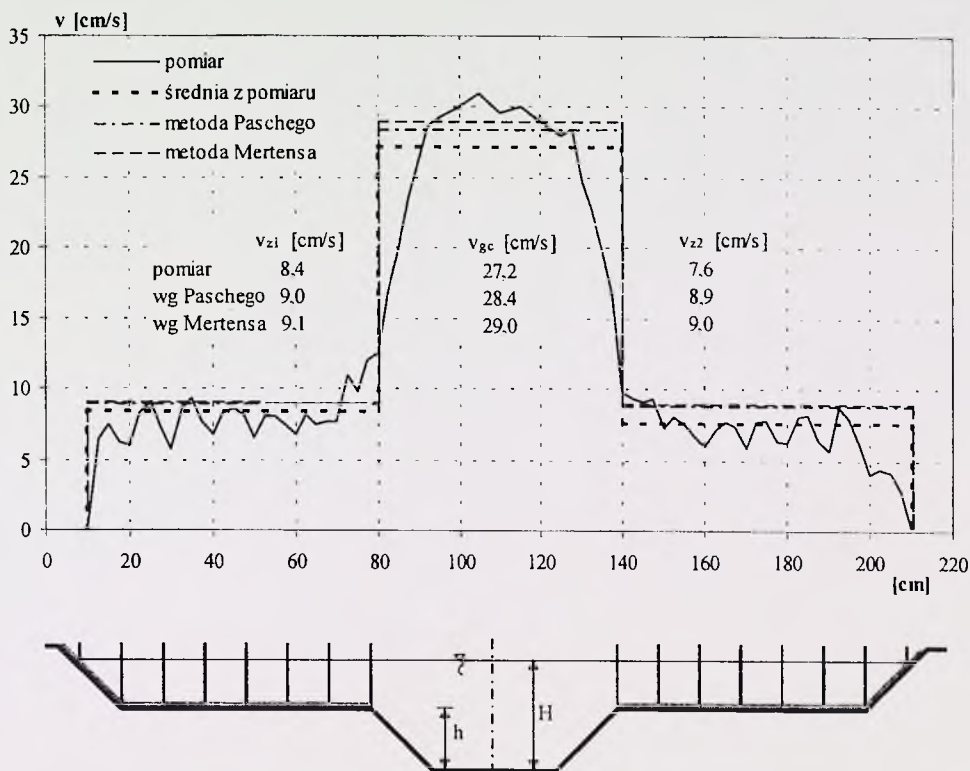
FIGURE 4. Mean velocity distributions measured and computed by means of Mertens and Pasche methods in a compound channel in variant 1.3

ników obliczeń z pomiarami prędkości otrzymanych według metody Mertensa.

W wariancie 2.1 drzewa były równomiernie rozmieszczone na terenach zalewowych, przy czym powierzchnia terenów zalewowych miała zwiększoną chropowatość. Obie metody obliczeniowe mogą być stosowane dla takich warunków hydraulicznych. Największe różnice w obliczonych i pomierzonych wartościach średniej prędkości przepływu otrzymano w terenie zalewowym. Wartości średnich prędkości obliczone zarówno metodą Paschego, jak i Mertensa są

większe od pomierzonych (rys. 5). W korycie głównym w wariancie 2.1 w większości pomiarów otrzymano lepszą zgodność obliczonych wartości średnich prędkości z pomiarami. Obliczone wartości średniej prędkości przepływu metodą Paschego są bardziej zbliżone do wartości z pomiarów w tym wariancie.

Podwojenie rozstawy drzew w terenach zalewowych w wariancie 2.2 (rys. 6) wpłynęło na pogorszenie zgodności wyników obliczeń średniej prędkości przepływu w stosunku do prędkości pomierzonej w korycie głównym, natomiast



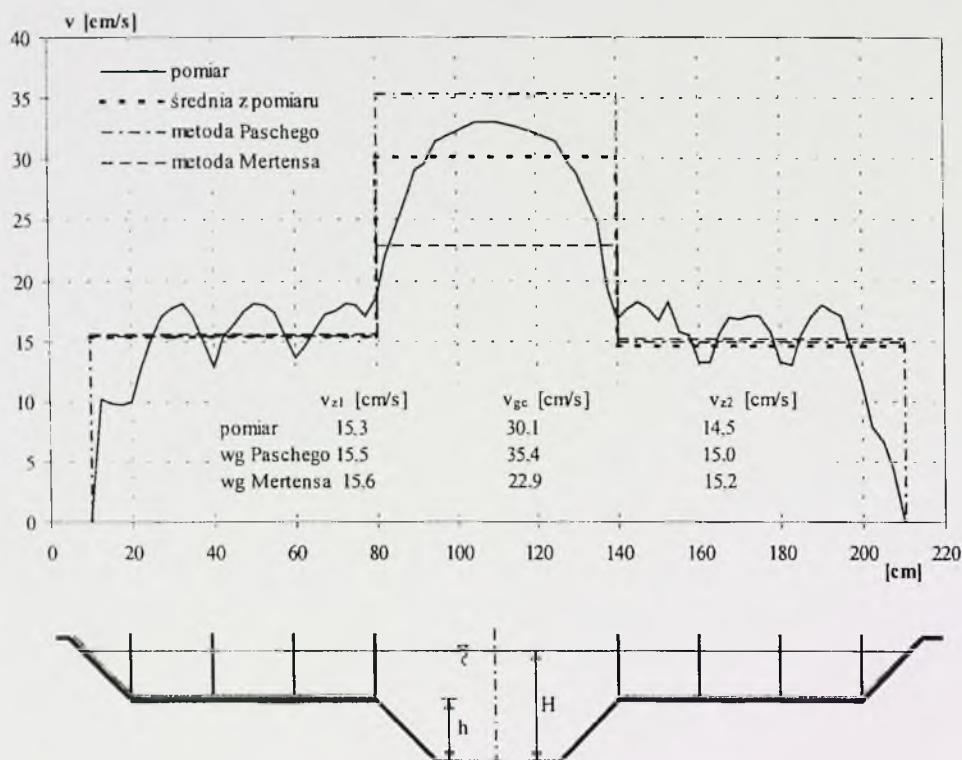
RYSUNEK 5. Pomierzone i obliczone według Mertensa i Paschego prędkości średnie w korycie o złożonym przekroju poprzecznym w wariancie 2.1 ($H = 25,28$)

FIGURE 5. Mean velocity distributions measured and computed by means of Mertens and Pasche methods in a compound channel in variant 2.1

Podsumowanie

dla terenu zalewowego uzyskano większą zgodność wartości obliczonych z pomiarami. Prędkości przepływu w korycie głównym obliczone metodą Paschego są większe od pomierzonych, a z kolei wartości obliczone metodą Mertensa są mniejsze od pomierzonych (rys. 6). Dla terenu zalewowego obie metody obliczeń dają minimalnie większe wartości prędkości przepływu w stosunku do pomiarów.

Porównanie wyników obliczeń średnich prędkości i natężeń przepływu przedstawionych w pracy Kubraka i Kozioła (2000) z wartościami uzyskanymi z pomiarów w korycie laboratoryjnym potwierdza przydatność obu metod obliczeń. Bezwzględne błędy obliczeń prędkości (i natężenia przepływu) w stosunku do pomiarów w poszczególnych wariantach badań są różnych znaków i wartości.



RYСУNEK 6. pomierzone i obliczone według Mertensa i Paschego prędkości średnie w korycie o złożonym przekroju poprzecznym w wariancie 2.2 ($H = 25,58$ cm)

FIGURE 6. Mean velocity distributions measured and computed by means of Mertens and Pasche methods in a compound channel in variant 2.2

Stosowanie metody Paschego i Mertensa w obliczeniach przepustowości koryt rzecznych wymaga jednak weryfikacji na podstawie bezpośrednich pomiarów terenowych.

Literatura

- DVWK – Merkblätter 220, 1991: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- KOZIOŁ A. 1999: Badania laboratoryjne warunków przepływu w korytach o złożonych przekrojach poprzecznych porośniętych roślinnością wysoką. Rozprawa doktorska, SGGW, Warszawa.
- KUBRAK J., KOZIOŁ A.P. 2000: Porównanie wyników badań i obliczeń przepustowości koryta o przekroju dwudzielnym z drzewami w terenie zalewowym. *Przegl. Nauk. Wydz. Inżynierii i Kształtowania Środowiska* z. 19.
- MERTENS W. 1989: Zur Frage hydraulischer Berechnungen naturnaher Fließgewässer. *Die Wasserwirtschaft* 79, 4, 170–176.
- PASCHE E. 1984: Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeit ihrer mathematischen Erfassung. *Mitteilungen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen*.

Summary

Velocity and discharge calculations in open channels with geometrical compound cross-sections overgrown by trees on floodplains lead to difficulties despite the approach proposed by Pasche (1984) and Mertens (1989), because the physically satisfactory method for evaluating the friction factor of trees and interface between main channel and flood plain is not yet available. The calculation methods are based on the consideration of interactive forces between flood plains and main channel. The results obtained from Pasche and Mertens methods of the velocity

calculation for main channel and flood plains with or without trees show a good correlation with laboratory measurements.

Authors' address:

J. Kubrak, A.P. Koziol
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland
e-mail: kubrakj@alpha.sggw.waw.pl,
koziol@alpha.sggw.waw.pl

Adam KOZIOŁ, Marcin KRUKOWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Hydrauliki

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Division of Hydraulic

Zastosowanie sondy ADV do pomiaru składowych prędkości przepływu wody

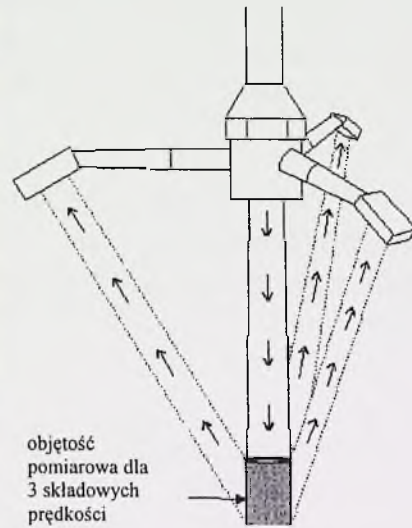
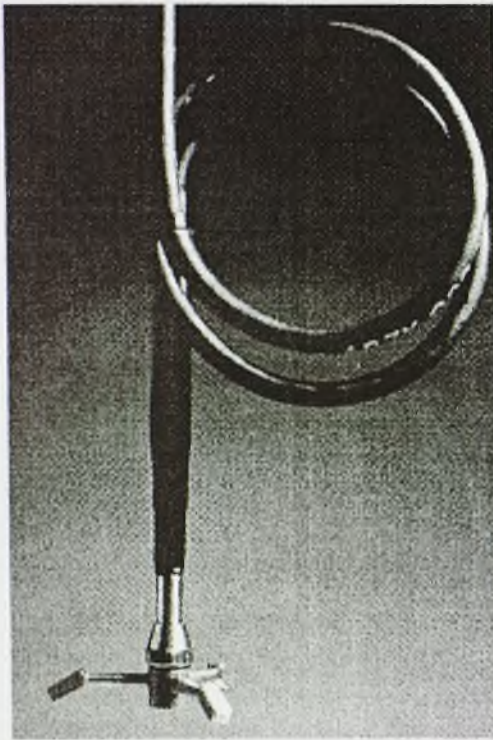
Application probe ADV to measure the velocities component of flow

Akustyczna sonda laboratoryjna Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) firmy SonTek jest precyzyjnym instrumentem używanym do pomiaru trzech składowych prędkości przepływu wody. Sonda ADV może być wykorzystywana do pomiaru prędkości wody w badaniach prowadzonych zarówno w laboratoriach, jak i w rzekach, zbiornikach oraz w morzu.

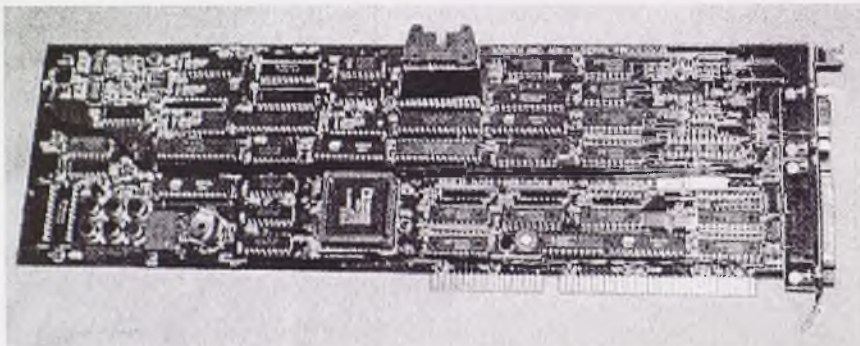
Sonda laboratoryjna ADV o częstotliwości akustycznej 10 MHz mierzy składowe prędkości przepływu wody, wykorzystując zjawisko Dopplera, tzn. rejestruje zmiany częstości wysyłanej fali dźwiękowej pod wpływem przepływu wody. Posiada możliwość prowadzenia pomiarów ze zmienną częstotliwością w zakresie od 0,1 do 25 Hz. Pomiar składowych prędkości wykonywany jest w obszarze wody o objętości 0,25 cm³ oddalonym o 5 cm od sondy pomiarowej (rys. 1). Minimalna głębokość wody, ko-

nieczna do wykonania pomiaru, wynosi 6 cm, a minimalna odległość objętości pomiarowej od dna 1 mm. Maksymalne zanurzenie sondy pomiarowej nie powinno przekraczać 60 m. Sonda ADV pracuje w zakresie temperatury wody od -2° do 40°C. Sonda umożliwia ustawienie wykonywanych pomiarów prędkości w zakresie do ± 3 , 10, 30, 100 lub 250 cm/s. Dokładność pomiaru wynosi ± 1 procent podawanego zakresu. Sonda ADV nie wymaga rekalkulacji.

Sonda ADV składa się z trzech podstawowych części: głowicy sondy pomiarowej (rys. 1), modułu sygnałowego przetwarzającego sygnał i karty z procesorem (rys. 2), instalowanej na płycie głównej komputera PC. Sonda pomiarowa jest przyłączona do modułu sygnałowego, zawierającego elektroniczny odbiornik. Moduł połączony jest z kartą procesora wysokoczęstotliwościowym



RYSUNEK 1. Głowica pomiarowa sondy ADV
FIGURE 1. The head of ADV probe



RYSUNEK 2. Karta z procesorem ADV
FIGURE 2. The ADV Processor

elastycznym przewodem. Instalacja i skonfigurowanie oprogramowania sondy ADV jest stosunkowo proste. Najpierw montuje się kartę procesora obsługującego sondę na płycie głównej komputera, a następnie instaluje się oprogramowanie właściwe dla danego typu sondy. Po połączeniu sondy pomiarowej z kartą procesora i zanurzeniu głowicy pomiarowej w wodzie uruchamia się program ADV do obsługi sondy. Przed rozpoczęciem pomiarów uruchamia się program diagnostyczny, kontrolujący poprawność działania sondy pomiarowej.

Do zainstalowania i uruchomienia programu obsługującego sondę ADV ko-

nieczny jest komputer klasy nie niższej niż 33 MHz 386/387 z koprocesorem matematycznym, z systemem DOS wyposażony w 640 KB pamięci RAM, kartę kolorową VGA, jednym wolnym 16-bitowym gniazdem dla modułu z procesorem oraz duży twardy dysk do gromadzenia danych podczas pomiaru.

Uruchomienie programu obsługującego sondę ADV rozpoczyna się od wprowadzenia parametrów dla pojedynczego pomiaru lub całej serii pomiarów (rys. 3). Na początku należy sprawdzić podłączenie sondy z komputerem, co sygnalizowane jest przy opisie numeru sondy komunikatem „Ready”. Kolejnym krokiem jest ustawienie dla prędkości jednostki

ADV Data Acquisition System, Ver: ADV 4.0, Copyright SonTek, Inc., 1993-1996

Units System	Metric	Date	3/20/1997
Water Temperature (°C)	20.0	Time	15:31:44
Water Salinity (ppt)	34.5	Probe 1:	3023 Ready
Speed of Sound (m/s)	1520.9		
Sampling Rate (Hz)	10,000		
Velocity Range (cm/s)	250		
External Synchronization	DISABLED		
Coordinate System	XYZ		
Recording Mode	CONTINUOUS		
Samples per Burst	1200		
Record to File	advtest.ADV		
File Comment 1	The ADV is a truly wonderful system		
File Comment 2	Every home should have several for the kids to use		
File Comment 3	Call SonTek to order yours today!		

START Data Acquisition

EXIT Data Acquisition

<< Press ENTER to Start Data Acquisition >>

<< Use ↑ ↓ or PgUp/PgDn to Move thru Items >>

RYSUNEK 3. Ustawienie parametrów sondy ADV przed rozpoczęciem pomiarów
FIGURE 3. Setup parameters the ADV probe before starting measurement

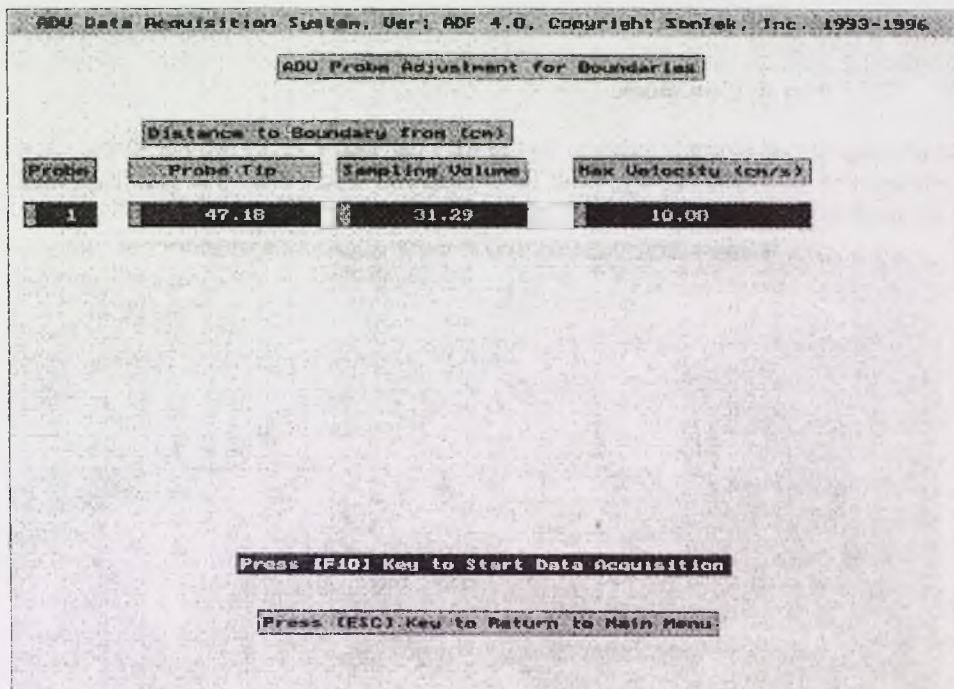
systemu pomiarowego, która może być metryczna lub angielska, tzn. mierzone wartości prędkości mogą być podane w metrach na sekundę lub w stopach na sekundę. Następnie wprowadza się temperaturę wody oraz jej stopień zasolenia. Informacje te są potrzebne do dokładnego obliczenia zmiany częstotliwości fali dźwiękowej i prędkości dźwięku w wodzie. Kolejne parametry dotyczą częstotliwości próbkowania i zakresu pomiarów. Częstotliwość próbkowania może zawierać się między 0,1 a 25 Hz, co oznacza, że przy częstotliwości 25 Hz pomiar prędkości wykonywany jest co 0,04 s (25 pomiarów na sekundę). Zakres pomiaru należy dostosować do zmienności w czasie mierzonych prędkości. Wśród wprowadzonych parametrów wymagane jest określenie metody gromadzenia danych oraz długość serii pomiarów. Pomiar składowych prędkości jest ciągły, natomiast metody gromadzenia danych są dwie: ciągła i seriami o określonej długości. Ciągłe gromadzenie danych wykonywane jest aż do chwili zatrzymania pomiaru przez operatora. Istnieje możliwość wznowienia zatrzymanego pomiaru i ponownej rejestracji prędkości z możliwością dopisania pomierzonych wartości do tego samego zbioru. Pomiar seriami prowadzony jest do momentu zgromadzenia wcześniej zadeklarowanej ilości danych w serii. Ilość gromadzonych serii o różnych krokach czasowych w jednym pliku danych jest nieograniczona. Na końcu wprowadzonych informacji podaje się nazwę pliku, do którego będą zapisywane dane. W polach przeznaczonych na komentarz można podać uwagi dotyczące prowadzonego pomiaru.

Po wprowadzeniu wszystkich wymienionych wcześniej parametrów moż-

na rozpocząć pomiar prędkości. W tym celu otwiera się drugie okno (rys. 4), informujące o wysokości położenia sondy ADV względem dna. W oknie wyświetlana jest odległość wierzchołka głowicy sondy oraz objętości pomiarowej od dna. Jednoznaczne określenie tych odległości jest czasami niemożliwe i wtedy wyświetlane są błędne wartości. Ma to zwykle miejsce przy bardzo chropowatych i nierównych powierzchniach dna.

Następnie rozpoczyna się pomiar i gromadzenie danych. Widok ekranu podczas pomiaru pokazano na rysunku 5. W oknie pokazywanym podczas pomiaru wyświetlane są takie informacje, jak: status zapisu, nazwa pliku, w którym są gromadzone dane, objętość pliku, wolna pojemność pamięci na dysku, czas do zakończenia zapisu danej serii, czas rozpoczęcia pomiaru, aktualny czas i czas trwania pomiaru oraz liczba dotychczas zapisanych chwilowych pomiarów składowych prędkości. Wyświetlane są też informacje dotyczące charakterystyk opisu statystycznego gromadzonych danych i prezentowanych graficznie rozkładów trzech składowych prędkości (rys. 5). Są to, poza średnią prędkością, także: korelacja, standardowe odchylenie i poziom szumu sygnału dźwiękowego. Parametry pomiaru i zgromadzone dane pomiarowe zapisywane są w pliku binarnym. Dodatkowymi zewnętrznymi programami dołączonymi do sondy ADV odczytuje się ciągi wartości chwilowych prędkości, ich korelacje, które następnie zapisywane są w plikach tekstowych.

Pomiary chwilowych składowych prędkości w korycie o złożonym trapezowym przekroju poprzecznym przeprowa-

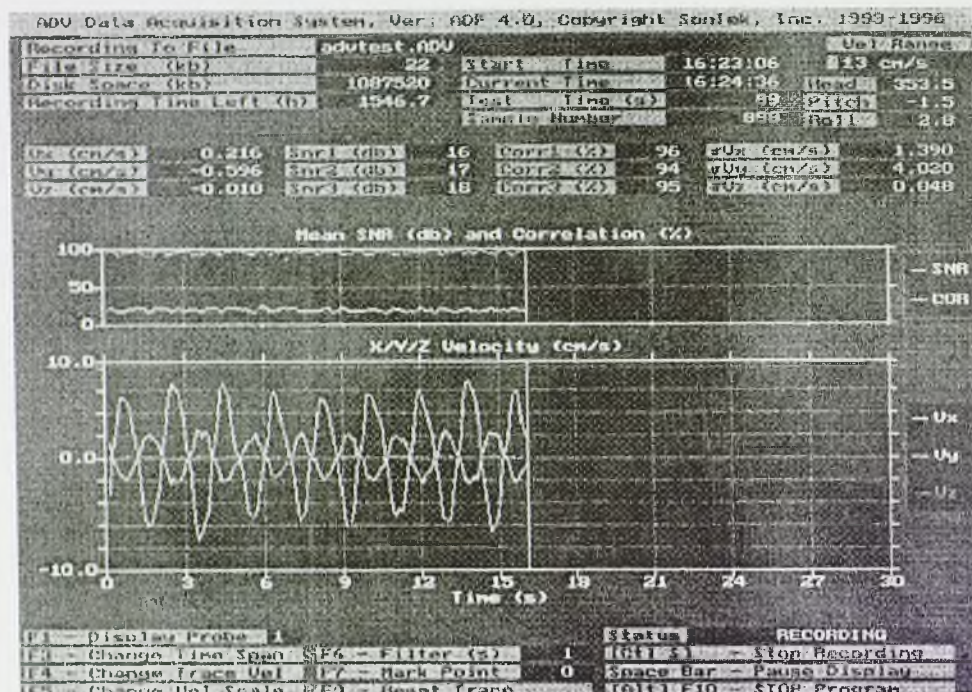


RYSUNEK 4. Pomiar odległości głowicy sondy i objętości pomiarowej od dna
 FIGURE 4. Measurement distance the heat of probe and sampling volume from the channel bottom

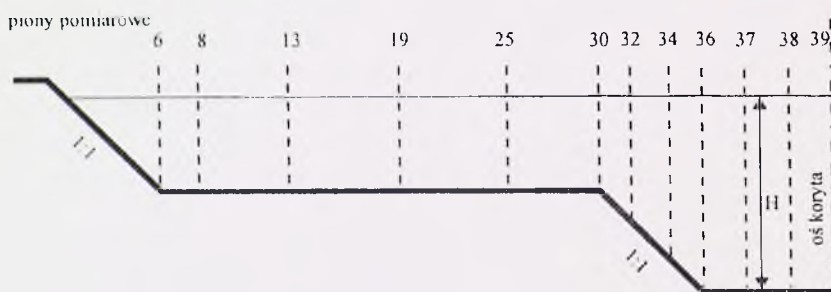
dzono w laboratorium hydraulicznym Katedry Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW w prostoliniowym, betonowym modelu koryta długości 16 m i szerokości górą 2,10 m, z symetrycznymi terenami zalewowymi. Podłużny spadek dna koryta głównego i terenów zalewowych był stały i równy 0,5 ‰ (Kozioł 1999). Chwilowe składowe prędkości mierzono sondą ADV w pionach położonych w korycie głównym i w terenach zalewowych (rys. 6). Przykładowe pomiary chwilowych wartości trzech składowych prędkości w czasie w wybranym punkcie pomiarowym przedstawiono na rysunku 7. Pomiar prowadzono z częstotliwością 25 Hz (25

pomiarów na sekundę) w zakresie ± 100 cm/s. Zarejestrowane wartości chwilowych prędkości wykorzystano do analizy rozkładów składowych prędkości oraz określenia charakterystyk turbulencji strumienia, tzn. odchylenia standardowego, intensywności turbulencji, rozmiaru makrowirów (Kozioł 2000). Na rysunku 8 przedstawiono uzyskane z pomiarów rozkłady podłużnej składowej prędkości, a na rysunku 9 i 10 rozkłady poprzecznej i pionowej składowej prędkości.

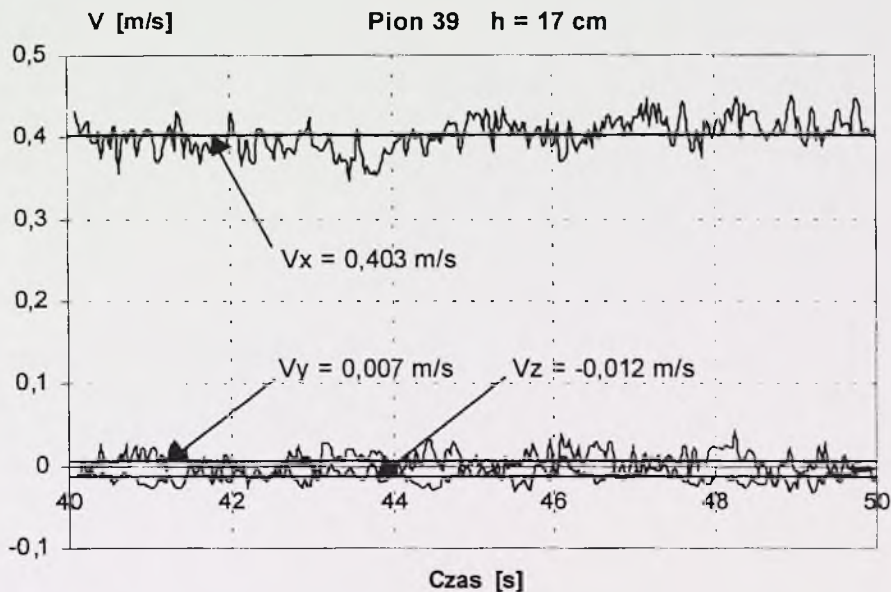
Przeprowadzone w badaniach laboratoryjnych pomiary potwierdziły, że akustyczna sonda ADV firmy SonTek jest nowoczesnym, bardzo precyzyjnym instrumentem pomiarowym, wyposażo-



RYSUNEK 5. Ekran podczas pomiaru trzech składowych prędkości sondą ADV
 FIGURE 5. The screen during measure three component of velocities by the ADV probe

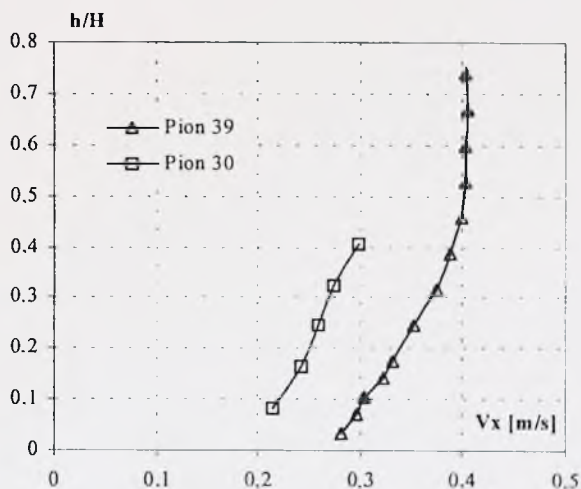


RYSUNEK 6. Piony pomiarowe w przekroju koryta
 FIGURE 6. Measuring verticals in the cross-section of channel



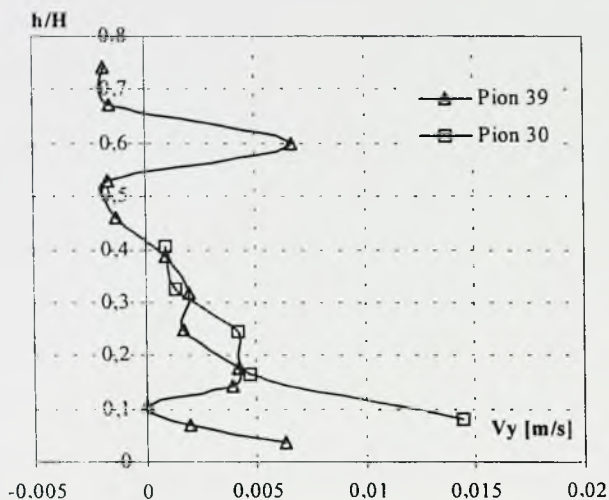
RYSUNEK 7. Zarejestrowane składowe prędkości w pionie 39 w punkcie oddalonym o $h = 17$ cm od dna koryta: V_x – składowa podłużna prędkości, V_y – składowa poprzeczna prędkości, V_z – składowa pionowa prędkości

FIGURE 7. The measured velocities in 39 vertical and point situated 17 cm over the channel bottom: V_x – longitudinal component of velocities, V_y – transverse component of velocities, V_z – vertical component of velocities

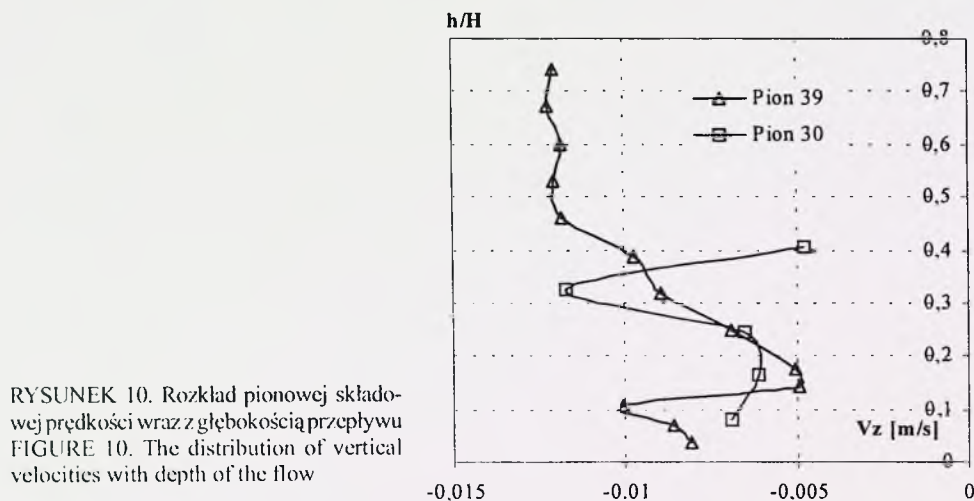


RYSUNEK 8. Zmienność podłużnej składowej prędkości wraz z głębokością przepływu

FIGURE 8. The distribution of longitudinal velocities with depth of the flow



RYSUNEK 9. Rozkład poprzecznej składowej prędkości wraz z głębokością przepływu
FIGURE 9. The distribution of transverse velocities with depth of the flow



RYSUNEK 10. Rozkład pionowej składowej prędkości wraz z głębokością przepływu
FIGURE 10. The distribution of vertical velocities with depth of the flow

nym w wiele opcji ułatwiających jej obsługę.

Akustyczna sonda laboratoryjna ADV firmy SonTek do pomiaru składowych prędkości została zakupiona ze

środków uzyskanych z grantu uczelnianego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego nr 50405260011.

Literatura

- Acoustic Doppler Velocimeter. Technical Documentation SonTek ADV. [Http://www.sontek.com](http://www.sontek.com)
- KOZIOŁ A. 1999: Badania laboratoryjne warunków przepływu w korytach o złożonych przekrojach poprzecznych porośniętych roślinnością wysoką. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- KOZIOŁ A. 2000: Rozmiary podłużnych makrowirów w korycie o złożonym przekroju poprzecznym. *Przegl. Nauk. Wyzd. Inżynierii i Kształtowania Środowiska* 18.

Summary

This paper illustrate the probe ADV made by SonTek. The article presents main applications, a few screens example and indications of using the probe ADV.

Authors' address:

A.P. Kozioł, M. Krukowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland
e-mail: koziol@alpha.sggw.waw.pl
krukowski@alpha.sggw.waw.pl

Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń pasywnych w rzece nizinnej

Spread of the passive pollutants in lowland river

Wstęp

Inżynierowie i naukowcy coraz częściej spotykają się z potrzebą prognozowania warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, wprowadzanych do koryt rzek i kanałów. Znając stopień rozprzestrzenienia tych zanieczyszczeń, można oszacować ich wpływ na ekosystem płynących wód. Wiele zanieczyszczeń rozpuszcza się w wodzie lub miesza z wodą i w konsekwencji są transportowane przez ruch mas wody. Jako zanieczyszczenia pasywne traktowane są substancje chemiczne mieszające się dobrze z wodą i nie wchodzące z nią w reakcje chemiczne. Stwierdzenie o pasywnym charakterze zanieczyszczeń, z punktu widzenia opisu teoretycznego i modelowania, ma zasadnicze znaczenie. Pozwala ono na rozdzielanie dynamiki przepływu wody i dynamiki transportu masy zanieczyszczeń (Szymkiewicz 2000). Do tego rodzaju zanieczyszczeń należą: chlorki, siarczany, rumowiska rzeczne, rozpuszczony tlen, śladowe metale itd. (Czernuszenko i Ro-

wiński 1994). Substancje te nie mają wpływu na kształtowanie się pola prędkości wody i ich masa nie ulega zmianie wraz z upływem czasu. Większość zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska naturalnego ma charakter pasywny, chociażby ścieki bytowo-gospodarcze, które stanowią największy udział w zanieczyszczaniu wód powierzchniowych.

Jednym z ważniejszych praktycznych problemów z zakresu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w ciekach wodnych jest określenie przebiegu rozkładów koncentracji w przypadku nagłego zrzutu substancji zanieczyszczającej do rzeki. Rozkład tej koncentracji jest zależny od warunków termodynamicznych i hydrodynamicznych występujących w obszarze zrzutu. Według Czernuszenki (1983), najważniejsze z nich to:

- geometria koryta,
- zabudowa rzeki,
- ruch statków,
- wiatr i falowanie,
- fizyczne i chemiczne właściwości mieszających się cieczy.

W celu lepszego poznania mechanizmów transportu zanieczyszczeń w korytach otwartych wykonuje się badania terenowe. W czasie badań wprowadza się w różny sposób w obszar strumienia znacznik i rejestruje się rozkłady stężeń znacznika za pomocą odpowiedniej aparatury pomiarowej (fluorymetr, konduktometr) w wyznaczonych profilach pomiarowych wzdłuż koryta. Jest to tzw. metoda znacznikowa, w której w zależności od zastosowanej substancji wskaźnikowej stosuje się odpowiedni przyrząd: dla rodminy B i WT – fluorymetr (Szpilkowski i in. 1993), a dla roztworów soli – konduktometr (Dojlido i Zerbe 1997). Z pomiarów uzyskuje się podstawową charakterystykę przebiegu transportu masy znacznika przy jednoczesnym ujednorodnianiu się stężeń substancji wskaźnikowej wzdłuż koryta rzeki.

Podstawy teoretyczne

Do opisu transportu i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wykorzystuje się zaadoptowane z teorii gazów paraboliczne równanie różniczkowe adwekcji – dyfuzji (Czernuszenko 2000):

$$\underbrace{\frac{\partial C}{\partial t} + U_i \frac{\partial C}{\partial x_i}}_{\text{adwekcja}} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{x_i} \frac{\partial C}{\partial x_i} \right)}_{\text{dyfuzja}} \quad (1)$$

gdzie:

U_i – prędkość strumienia medium (i -ty składnik składowej wektora prędkości w układzie trójwymiarowym x, y, z),
 C – koncentracja masy zanieczyszczeń,
 D_{x_i} – współczynnik molekularnej dyfuzji w kierunku x_i (i -ta współrzędna układu współrzędnych).

Równanie (1) jest często wykorzystywane do konstruowania modeli stosowanych do opisu problemów rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w ciekach. W wyniku operacji całkowania i uśredniania równania (1) dla przepływu turbulentnego sprowadza się je do postaci jednowymiarowej:

$$\frac{\partial(A\bar{C})}{\partial t} + \frac{\partial(Q\bar{C})}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} AD_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \quad (2)$$

gdzie:

$\bar{C}$ – średnia koncentracja w przekroju poprzecznym [kg/m^3],

A – pole przekroju poprzecznego [m^2],

Q – natężenie przepływu w przekroju poprzecznym,

D_x – współczynnik podłużnej dyspersji [m^2/s].

Równanie (2) określane jest jako równanie dyspersji jednowymiarowej (model Ficka) ze względu na powstanie wyniku uśredniania adwekcyjnego strumienia masy dodatkowego mechanizmu mieszania nazywanego dyspersją. Występujący po prawej stronie równania (2) składnik, dodatkowo komplikuje opis mechanizmu transportu, dlatego też przyjmuje się, że efekt uśredniania w przekroju można opisać zależnością jak dla opisu szybkości zmian stężenia substancji dyfundującej w ośrodku izotropowym:

$$j = D_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \quad (3)$$

Jest to prawo Ficka. Zastosowanie założenia Ficka pozwala na łatwiejszy opis zjawiska adwekcji, tym samym równanie (2) staje się prostsze w zastosowaniu praktycznym. Analiza pomierzonych

rozkładów stężeń umożliwia wyznaczenie poszukiwanych wartości opisujących dynamikę transportu znacznika od punktu dozowania do danego przekroju pomiarowego (szczegółowe informacje o własnościach rozkładu) w postaci parametrów rozkładu koncentracji przedstawionych w tabeli 1.

Oba te współczynniki mają prostą interpretację geometryczną. Współczynnik skośności określa asymetrię rozkładu i w przypadku rozkładów symetrycznych wynosi $S_k = 0$, a eksces określa spłaszczenie krzywej i w przypadku rozkładu normalnego wynosi $K = 3$. Dlatego współczynniki te są często stosowane jako miary zbliżenia badanego rozkładu do rozkładu normalnego (Czernuszenko 1983).

Współczynnik dyspersji podłużnej

Parametrem charakteryzującym dynamikę rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wzdłuż koryta rzeki jest współczynnik dyspersji. Współczynnik ten odzwierciedla intensywność rozprzestrzeniania się transportowanych zanieczyszczeń. Do obliczenia współczynnika dyspersji wykorzystuje się zależność (2), w założeniu niezmienności pola powierzchni przekrojów poprzecznych na badanym odcinku:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \quad (4)$$

gdzie $\bar{u}$ jest średnią prędkością przepływu wody.

Zależność (4) jest często wykorzystywana do opisu rozprzestrzeniania się za-

nieczyszczeń wzdłuż koryta. Takie uproszczenie jest dopuszczalne, gdyż proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w rzekach generowany jest głównie w kierunku podłużnym przepływu. Ponadto rzeki nizinne charakteryzują się zwykle niewielką głębokością w stosunku do szerokości, toteż wyrównanie stężeń zanieczyszczeń na głębokości następuje w czasie krótszym niż w kierunku poprzecznym. Dla większości rzek o małych szerokościach odległość miejsca zrzutu do przekroju pełnego wymieszania nie przekracza kilkuset metrów.

W celu wyznaczenia współczynnika dyspersji podłużnej w korycie wykorzystuje się analityczne rozwiązanie równania (4), otrzymane przy założeniu, że:

- początkowy warunek nagłego wprowadzenia wskaźnika jest określany za pomocą delty Diraca $\delta(x)$,
- warunek brzegowy $C(\pm\infty, t) = 0$ dla $t \geq 0$ (Popławski 1976).

Rozwiązanie równania (4) ma postać (5):

$$C = \frac{M}{A\sqrt{4\pi D_x t}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{u}t)^2}{4D_x t}\right] \quad (5)$$

gdzie:

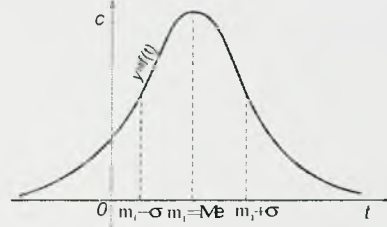
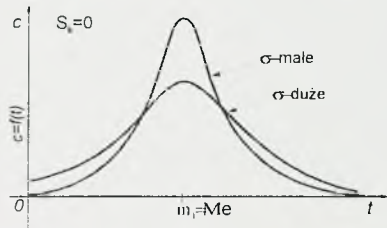
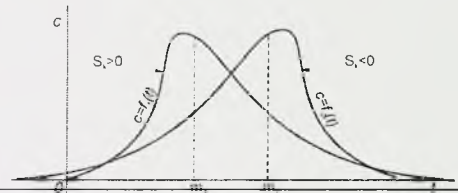
A – pole przekroju poprzecznego koryta rzeki,

M – całkowita masa znacznika,

t – czas.

Równanie (5) określa jednomodalny dwuwymiarowy $C(x, t)$ rozkład statystyczny. Zależność ta dla dostatecznie dużych odległości od źródła zrzutu i przebiegu zmian koncentracji badanego zanieczyszczenia w czasie spełnia zależność (Elder 1959):

TABELA 1. Parametry statystyczne stosowane do charakteryzowania rozkładów koncentracji zanieczyszczeń pasywnych
TABLE 1. Statistical parameters applied to characterizing distribution concentration of passive pollutants

Parametry rozkładu Parameters of distribution	Statystyka Statistics	Interpretacja fizyczna parametrów rozkładu Physical interpretation of distributions parameters	Interpretacja geometryczna parametrów rozkładu Geometrical interpretation of distribution parameters
Wartość średnia – μ Mean value	$m_1 E(X^1) = E(X)$	Sredni czas przebywania zanieczyszczeń (wskaźnika) w przekroju (dla $\Delta t_i = \text{const}$). Jest estymatorem zgodnym, nieobciążonym asymptotycznie (Krysicki i in. 1999). Charakteryzuje średnie położenie masy „chmury” zanieczyszczeń. Parametr ten jest określany także jako moment zwykły pierwszego rzędu badanej próbki (Hellwig 1980).	
Mediana – Me Median (wartość środkowa)	$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$	Dla symetrycznego rozkładu koncentracji zanieczyszczeń wartość średnia pokrywa się z wartością środkową rozkładu zwaną medianą (Me) rozkładu.	
Wariancja – σ Variance	$M_2 = E[(X - m_1)^2] = E(X^2) - 2m_1 E(X) + m_1^2 = m_2 - m_1^2$ gdzie m_2 jest estymowane zależnością: $m_2 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2 C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$	Wariancja obliczona dla krzywej koncentracji zanieczyszczeń w przekroju $C(t)$ przy $\Delta t_i = \text{const}$ jest miarą odchylenia wartości zmiennej losowej. Charakteryzuje dyspersję cząstek względem ich średniego położenia. Określana jest także jako moment centralny drugiego rzędu (Hellwig 1980).	
Odchylenie od średniej			
Symetryczność rozkładu Skewness	$S_k = \frac{M_3}{M_2^{3/2}}$ Jako estymator trzeciego momentu przyjęto zależność: $M_3 = E[(X - m_1)^3] = E(X^3) - 3E(X^2)m_1 + 3E(X)m_1^2 - m_1^3 = m_3 - 3m_2m_1 + 2m_1^3$	Symetryczność rozkładu charakteryzuje współczynnik asymetrii koncentracji zanieczyszczeń $C(t)$. Obliczany jest on dla $\Delta t_i = \text{const}$ i określa spłaszczenie krzywej rozkładu koncentracji. Współczynnik skośności określa asymetrię rozkładu i w przypadku rozkładów symetrycznych wynosi $S_k = 0$. Dla $S_k > 0$ krzywa tworzy długi ogon z prawej strony wartości modalnej, a krótki z lewej strony.	asymetryczność prawostronna i lewostronna (dolny) 

Eksces
Excess

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^3 C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

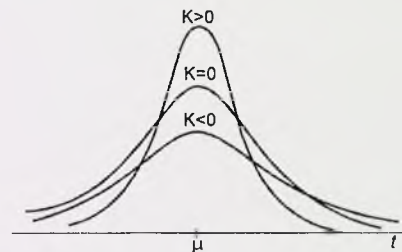
$$K = \frac{M_4}{M_2^2} - 3$$

$$\begin{aligned} M_4 &= E[(X - m_1)^4] = E(X^4) + \\ &- 4E(X^3)m_1 + 6E(X^2)m_1^2 + \\ &- 4E(X)m_1^3 + m_1^4 = m_4 + \\ &- 4m_3m_1 + 6m_2m_1^2 + \\ &- 4m_1m_1^3 + m_1^4 \end{aligned}$$

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^4 C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

Splaszeczenie krzywej określa eksces. Jego wartość w przypadku rozkładu normalnego wynosi $K = 3$. Oba wymienione tu współczynniki są często stosowane jako miary zbliżenia badanego rozkładu do rozkładu normalnego.

Wartość $K > 0$ wskazuje, że krzywa badanego rozkładu jest bardziej smukła od krzywej rozkładu normalnego.



$$\sigma_x^2 \approx u^2 \sigma_t^2 \approx 2D_x t \quad (6)$$

gdzie:

σ_x^2 – wariancja przestrzenna zmian koncentracji [m^2],

$\sigma_t^2 = m_2 - (m_1)^2$ – wariancja czasowa rozkładu koncentracji $C(t)$ w czasie [min^2].

Z zależności (6) możliwe jest obliczenie współczynnika dyspersji, wykorzystując uzyskane w pomiarach rozkłady czasowe koncentracji $C(t)$ dla znacznika imitującego zanieczyszczenie. Przyjęcie takie jest możliwe dla długich przedziałów czasowych, gdy można przyjąć, iż wariancja przestrzenna i czasowa liniowo rosną wraz z oddalaniem od źródła zanieczyszczeń. Wyznaczając charakterystykę rozkładu koncentracji, współczynnik dyspersji podłużnej oblicza się z zależności:

$$D_x \approx \frac{\sigma_t^2 u^2}{2t} \quad (7)$$

Badania terenowe

Badania terenowe przeprowadzono jako trzy niezależne eksperymenty na odcinku rzeki Wkry długości 4,78 km (rys. 1), położonym między stopniem wodnym w miejscowości Siedliska (131,22 km) a jazem w miejscowości Siciarz (126,07 km).

Na odcinku tym wyznaczono 5 profili pomiarowych, których odległości od przekroju profilu dozowania wskaźnika pokazano w tabeli 2.

W pomiarach stosowano roztwór alkoholowy rodaminu B dozowanej impulsowo w bystrze poniżej stopnia wodnego Siedliska w ilości 10 litrów. Po niezbędnej kalibracji fluorymetru typu Turner 10-005 i badań wstępnych dla badanego odcinka rzeki prowadzonych tak, aby były zachowane warunki jednowymiarowej dyspersji podłużnej, spełnione zostało kryterium pełnego wymieszania poprzecznego znacznika na odcinku rzeki poprzedzającym pierwszy profil pomiarowy.



RYСУNEK 1. Usytuowanie badanego odcinka rzeki Wkry – mapa w skali 1 : 100 000

FIGURE 1. Location investigated section of the Wkra River – map in scale 1 : 100 000

TABELA 2. Odległość przekrojów pomiarowych od przekroju dozowania znacznika
TABLE 2. Distance investigated cross-sections from tracer injection

Profil Section	Przekroje pomiarowe Measurement cross-sections	Odległość od przekroju dozowania wskaźnika Distance from cross-section of tracer injection [m]
Dozowanie (injection)	131,22	0
P-1	130,62	600
P-2	129,76	1460
P-3	128,77	2450
P-4	127,74	3480
P-5	126,44	4780

Właściwe pomiary stężenia znacznika wykonano w trzech kolejnych dniach. Przed każdym z pomiarów koncentracji wykonywano pomiar natężenia przepływu i niwelację stanów wody we wszy-

stkich przekrojach koryta. Na podstawie zdjętych geodezyjnie przekrojów koryta i pomiarów natężenia przepływu określono charakterystyki hydrauliczne strumienia zestawione w tabeli 3.

TABELA 3. Charakterystyki hydrauliczne strumienia w przekrojach poprzecznych rzeki Wkry
TABLE 3. Hydraulics parameters in cross-sections of the Wkra River

Charakterystyki Characteristics	POMIAR I (Measurement I)				
	P-1 km 130+620	P-2 km 129+760	P-3 km 128+770	P-4 km 127+740	P-5 km 126+440
I	2	3	4	5	6
Rzędne zwierciadła wody Water level [m n.p.m.]	112,72	112,38	112,04	111,77	111,39
Q [m ³ /s]	4,18				
A [m ²]	8,07	9,72	9,19	10,15	10,35
V [m/s]	0,518	0,430	0,455	0,412	0,404
B [m]	9,82	10,23	9,69	8,89	11,18
h_{sr} [m]	0,82	0,95	0,95	1,14	0,93
O [m]	10,51	10,92	11,30	10,06	11,79
R [m]	0,77	0,89	0,81	1,01	0,88
J [‰]	0,318				
n [m ^{-1/3} s]	0,029	0,038	0,034	0,044	0,040
Fr [-]	0,15	0,13	0,14	0,14	0,12
Re [-]	13 005 972	1251 148	1338 437	1431 546	1139 356

cd. tabeli 3
cont. table 3

Charakterystyki Characteristics	POMIAR 2 (Measurement 2)				
1	2	3	4	5	6
Rzędne zwierciadła wody Water level [m n.p.m.]	112,69	112,34	112,00	111,73	111,36
Q [m ³ /s]	3,97				
A [m ²]	7,82	9,36	8,81	9,80	10,02
V [m/s]	0,51	0,42	0,45	0,41	0,40
B [m]	9,73	10,10	9,57	8,77	11,07
h_{sr} [m]	0,80	0,93	0,92	1,12	0,91
O [m]	10,41	10,76	11,17	9,91	11,66
R [m]	0,75	0,87	0,79	0,99	0,86
J [‰]	0,318				
n [m ^{-1/3} s]	0,029	0,039	0,034	0,043	0,040
Fr [-]	0,15	0,13	0,14	0,14	0,12
Re [-]	1249 617	1196 324	1267 994	14 006 432	1114 854
Charakterystyki Characteristics	POMIAR 3 (Measurement 3)				
Rzędne zwierciadła wody Water level [m n.p.m.]	112,75	112,39	112,05	111,78	111,40
Q [m ³ /s]	4,32				
A [m ²]	7,82	9,36	8,81	9,80	10,02
V [m/s]	0,51	0,42	0,45	0,41	0,40
B [m]	9,73	10,10	9,57	8,77	11,07
h_{sr} [m]	0,80	0,93	0,92	1,12	0,91
O [m]	10,41	10,76	11,17	9,91	11,66
R [m]	0,75	0,87	0,79	0,99	0,86
J [‰]	0,318				
n [m ^{-1/3} s]	0,030	0,041	0,033	0,044	0,042
Fr [-]	0,15	0,14	0,15	0,14	0,12
Re [-]	1338 132	1287 841	1364 625	1486 371	1173 538

Oznaczenia: Q – natężenie przepływu, J – spadek zwierciadła wody, A – powierzchnia przekroju poprzecznego koryta, B – szerokość zwierciadła wody, V – średnia prędkość przepływu, H – średnia głębokość w przekroju, O – obwód zwilżony przekroju, R – promień hydrauliczny przekroju, n – współczynnik szorstkości koryta, Fr – liczba Froude'a, Re – liczba Reynoldsa

Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskano rozkłady stężenia znacznika w czasie w kolejnych profilach pomiarowych $C(t)$, które przedstawiono na rysunku 2 dla wybranego przekroju. Obliczone wartości zestawiono w tabeli 4.

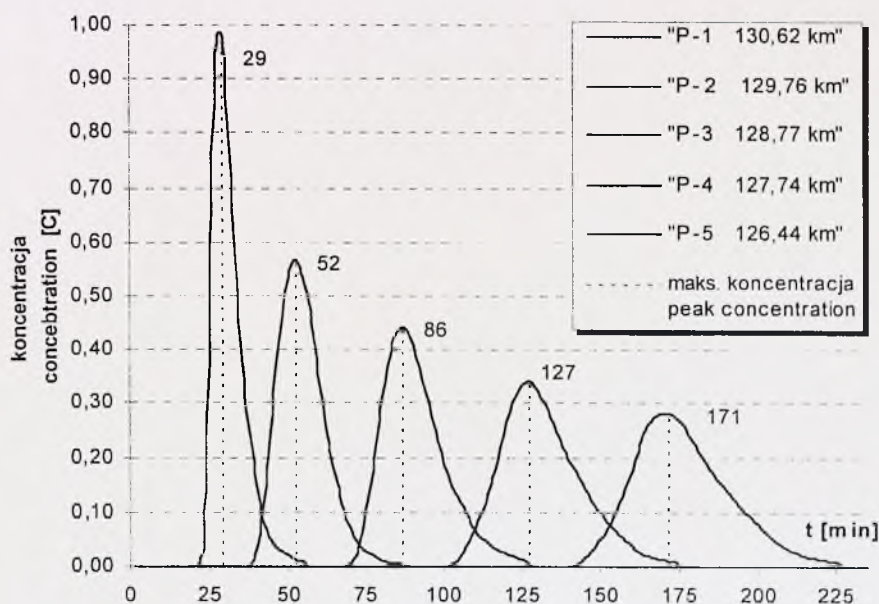
Na podstawie uzyskanych w badaniach terenowych wyników pomiarów koncentracji można opisać zmienność gęstości pomierzonych rozkładów stężeń wskaźnika w funkcji czasu. Korzystając z momentów statystycznych, wyznaczono podstawowe parametry rozkładów, tj. średni czas przebywania znacznika, wariancję, współczynnik asymetrii i współczynnik ekscesu.

Analizując wartość obliczonych współczynników skośności dla pomie-

rzonych zmian koncentracji, stwierdzono, że zawierają się one w przedziale od 0,409 do 1,259 i maleją wraz ze wzrostem odległości od przekroju dozowania wskaźnika (rys. 3). Podobną sytuację w literaturze opisują Nordin i Troutman (1980).

Wartości współczynników ekscesu zawierają się w przedziale od 0,048 do 2,146 i nie przekraczają wartości 2,5 (rys. 4) i podobnie jak wartości współczynnika skośności maleją wraz z oddalaniem się od przekroju dozowania znacznika. Obliczone wartości współczynników asymetrii i ekscesu gwałtownie wzrosły w przekroju P-3. Wzrost wartości tych współczynników może wynikać z błędów pomiarowych lub zaburzeń pola prędkości.

Im dalej od przekroju dozowania wskaźnika położony jest przekrój pomia-



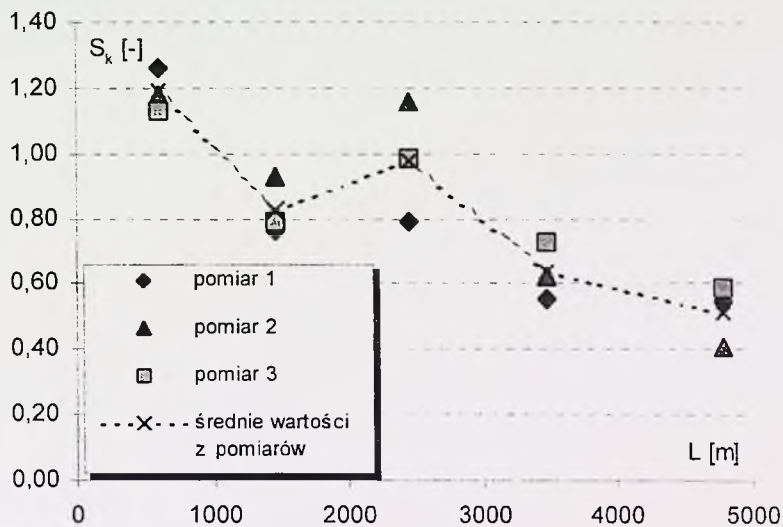
RYSUNEK 2. Pomierzone stężenia znacznika w przekrojach p1-p5

FIGURE 2. Measured concentrations of the tracer at investigated cross-sections

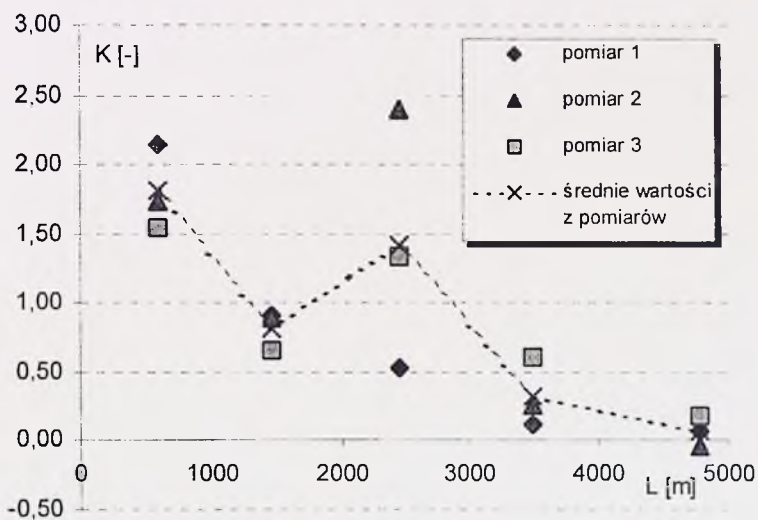
TABELA 4. Charakterystyki rozkładu stężenia znacznika na badanym odcinku rzeki Wkry

TABLE 4. Characteristics for concentrations distribution of the tracer on the investigated reach of the Wkra River

Nr pomiaru No of measure	Nr profilu No of section	Sredni czas Mean time [min]	Wariancja Variance [min ²]	Maksymalna prędkość stężenia Max mean concentration [m/s]	Współczynnik dyspersji Dispersion coefficient [m ² /s]	Skośność Skewnes [-]	Ekscess Excess [-]
POMIAR 1 Measurement 1	P-1	31,38	25,91	0,345	2,945	1,259	2,146
	P-2	54,71	55,77	0,468	6,696	0,763	0,905
	P-3	90,90	102,89	0,475	7,650	0,787	0,526
	P-4	131,46	163,97	0,457	7,804	0,553	0,116
	P-5	176,47	230,11	0,466	8,491	0,546	0,063
POMIAR 2 Measurement 2	P-1	31,04	25,44	0,345	2,924	1,176	1,730
	P-2	54,96	43,07	0,477	5,353	0,928	0,892
	P-3	92,05	138,74	0,469	9,961	1,160	2,399
	P-4	132,89	161,10	0,453	7,468	0,625	0,262
	P-5	177,67	165,88	0,466	6,079	0,409	-0,048
POMIAR 3 Measurement 3	P-1	29,60	27,93	0,370	3,882	1,132	1,539
	P-2	54,45	47,29	0,468	5,705	0,790	0,664
	P-3	90,28	104,18	0,475	7,805	0,982	1,340
	P-4	130,38	149,24	0,460	7,276	0,729	0,611
	P-5	179,76	212,85	0,458	7,446	0,589	0,177



RYSUNEK 3. Zmienność współczynnika asymetrii wzdłuż badanego odcinka rzeki
 FIGURE 3. Skewness coefficients variation along investigated river reach



RYSUNEK 4. Zmienność ekscesu na badanym odcinku rzeki
 FIGURE 4. Excess coefficients variation along investigated river reach

rowy, tym rozkład koncentracji staje się bardziej symetryczny i maleje współczynnik asymetrii.

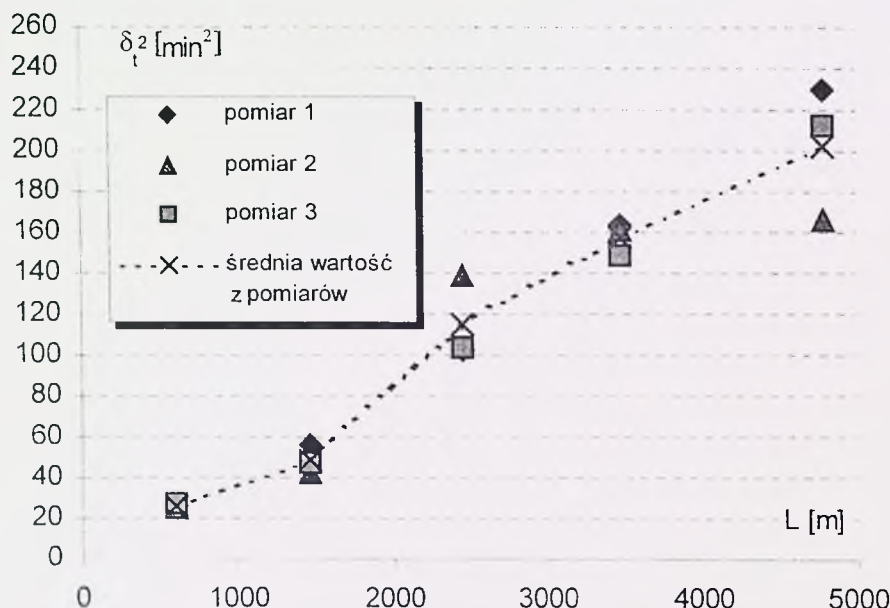
Przedstawiona na rysunku 5 wariancja niemal liniowo rośnie wraz z oddalaniem się od przekroju zrzutu, a niewielkie odchylenia mogą świadczyć o błędach pomiarowych (podobny przebieg funkcji był dla średniego czasu przebywania wskaźnika). Z opisywanych w literaturze eksperymentów wynika, iż wariancja nie musi rosnąć liniowo (Denton 1990).

Obliczone wartości współczynników dyspersji podłużnej (7) początkowo rosły, osiągając maksymalną wartość $D_x = 9,961$ w 3 profilu, po czym wartości zaczęły maleć (rys. 6). Oznacza to, że najintensywniejszy proces rozprzestrze-

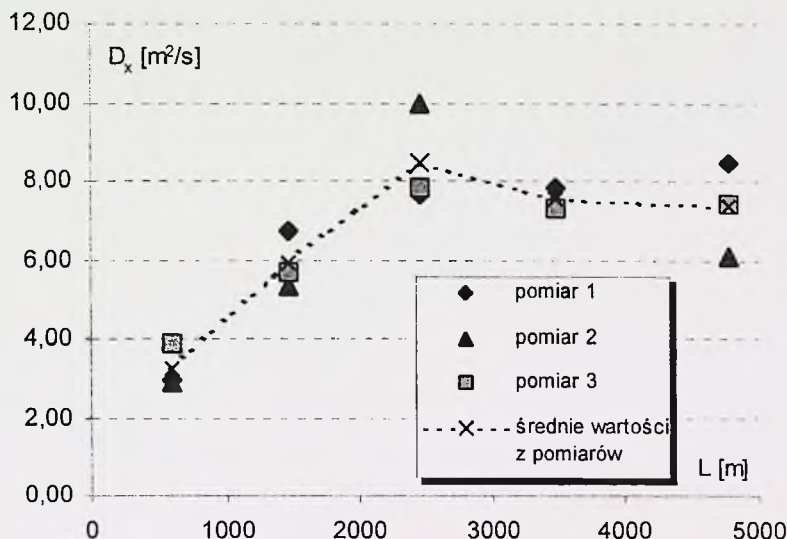
niania się zanieczyszczeń zachodził w profilach od P-1 do P-3.

Podsumowanie

Analiza statystyczna rozkładu stężenia wskaźnika w przekrojach dowiodła, iż dwa pierwsze momenty statystyczne, tj. średni czas przebywania wskaźnika i wartość wariancji, liniowo rosną wraz z odległością od przekroju zrzutu, a współczynnik asymetrii maleje. Może to sugerować, iż wykorzystanie równania uproszczonego w postaci jednowymiarowej (modelu Ficka) do opisu rozprzestrzeniania się domieszki pasywnej dla badanego odcinka rzeki Wkry jest wystarczające i uzasadnione.



RYSUNEK 5. Zmienność wariancji na badanym odcinku rzeki
FIGURE 5. Variance variation along investigated river reach



RYSUNEK 6. Zmienność współczynników dyspersji podłużnej na badanym odcinku rzeki Wkry
 FIGURE 6. Variation of the longitudinal dispersion coefficients for the investigated reach of the Wkra River

Literatura

- CZERNUSZENKO W. 1983: Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w rzekach i kanałach. Materiały Badawcze. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- CZERNUSZENKO W., ROWIŃSKI P. 1994: Współczesne modele matematyczne procesów transportu i mieszania zanieczyszczeń w rzekach. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- CZERNUSZENKO W., 2000: Transport zanieczyszczeń w rzekach i kanałach. *Przegląd Geofizyczny* 2, 139–147.
- DOJLIDO J., ZERBE J. 1997: Instrumentalne metody badania wody i ścieków. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa.
- DENTON R.A. 1990: Analytical asymptotic solution for longitudinal dispersion with dead zones. *J. Hydr. Res.* 28, 309–329.
- ELDER J. 1959: The Dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. *J. Fluid Mech.*, 5, 544.
- HELLWIG Z. (1980): Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- KRYSICKI W. i inni 1999: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. T. II. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- NORDIN C.F., TROUTMAN M.B. 1980: Longitudinal dispersion in rivers: The Persistence of skewness in observed data. *Water Resources Research* 16, 1, 123–128.
- POPLAWSKI W. 1976: Wpływ procesu mieszania się wód podgrzanych na rozkłady temperatury w rzekach swobodnie płynących. *Prace Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej* 8, 115–116.
- SZPIŁKOWSKI S., OWCZARCZYK A., CHMIELEWSKI G.A. 1993: Effluent dispersion in natural water receivers (Tracer examination). Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa.
- SZYMKIEWICZ R. 2000: Modelowanie matematyczne przepływów w kanałach otwartych. Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk.

Summary

In this paper the analysis is limited to the one-dimensional cases of stationary transport of mass discharged into water flowing in an open channel. Contaminant transport in natural streams is considered on the basis of tracer studies in Wkra small lowland river. Theories describing the spread of conservative and passive pollutants in the context of a longitudinal dispersion model. The statistical moments of the concentration time distributions as functions of distance are also analysed. The analysis of the values representing the dynamics of the transport of tracer from the release

point to the given cross-section was conducted from the obtained concentration distributions. Mean time of residence of the indicator, variance, skewness, excess, longitudinal dispersion coefficient were determined.

Authors' address:

M. Krukowski, G. Kurzawski
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Proekologiczne działania inżynierskie z wykorzystaniem gabionów

Gabions application in proecological engineering operation

Wstęp

Gabiony są to wykonane z drutu siatki, tworzące pojemniki o różnych kształtach, wypełnione kamieniami. Konstrukcje gabionowe można łatwo przebudowywać, podwyższać, rozbudowywać i rozbierać (Dąbkowski 1997). Ze względu na szerokie możliwości zastosowania stały się one, w ostatnim czasie, chętnie wykorzystywanym ekologicznym tworzywem budowlanym oraz naturalnym elementem służącym w renaturyzacji i rekultywacji m.in. różnych obiektów inżynierskich. Istotnymi cechami gabionów, z punktu widzenia ich ekologicznego wykorzystania, są: trwałość, niskie koszty materiałowe i szerokie możliwości zastosowania. Łatwość uzyskania potrzebnych właściwości, jak: porowatości lub spójności, jednorodności bądź różnorodności, niejednorodności, pożądanej odporności na czynniki chemiczne i atmosferyczne (cechy ważnej w aspekcie zanieczyszczeń środowiska) oraz naturalnej asymilacji z podłożem, otoczeniem

przyrodniczym, a przede wszystkim z żywymi organizmami, czyni gabiony niezwykle atrakcyjnym materiałem w proekologicznych działaniach inżynierskich.

Szerokie spektrum inżynierskiego wykorzystania gabionów wiąże się z możliwościami usytuowania ich w różnych biotopach:

- w siedliskach typowo lądowych – w różnych strefach ochronnych z gabionami,
- w ekotonach wodno-lądowych, konstruowanych z wykorzystaniem gabionów,
- w ekosystemach wodnych,
- w ekologicznych filtrach roślinno-gabionowych, na obszarach zdegradowanych.

Biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne, celem zastosowania gabionów jest zastąpienie dotychczasowych, tradycyjnych materiałów (betonu, asfaltu), tam gdzie jest to możliwe lub potrzebne, materiałem proekologicznym, komponującym się z krajobrazem, zasiedlanym

przez roślinność, zwierzęta i mikroorganizmy.

Zastosowania gabionów:

- jako elementu szkieletowego podłoża lub materiału wypełniającego;
- do drenażu i zwiększenia przewodności gruntu;
- do stabilizacji podłoża, ochrony przed erozją wodną i wietrzną;
- do ograniczania lub uniemożliwienia rozwoju okrywy roślinnej;
- do upraw typu skalniaki i w różnych przestrzenno-krajobrazowych rozwiązaniach ogrodniczych, w powiązaniu z zastosowaniem żwirów, mulczy, naturalnych elementów drewnianych i kamieni;
- w obiektach hodowli, ochrony i introdukcji cennych lub rzadkich zwierząt, szczególnie gadów, ryb, ptaków, niektórych owadów, pajęczaków, skorupiaków i innych drobnych bezkręgowców;
- w oczyszczalniach ścieków i innych miejscach oczyszczania, kaskadyzacji i napowietrzania wód;
- przy rekultywacji, oczyszczaniu i sanacji podłoża i zawartej w nim wody;
- do drenażu i strukturalnej naturalizacji podłoża, np. w górach;
- do zwiększania szorstkości podłoża;
- do utrwalania poboczy i skarp ciągów komunikacyjnych, co czyni podłoże wystarczająco przepuszczalnym dla wody i powietrza oraz co pozwala na przemieszczanie się wielu zwierząt i diaspor roślin, w szczególności w miejscach do tego przeznaczonych, jak różnego rodzaju tunele, ko-

rytarze ekologiczne i przejścia przeznaczone dla zwierząt;

- w przypadkach większości wymienionych celów, w warunkach biofiltrów, stref sanitacyjnych i pasów ochronnych, szczególnie w ekosystemach wodno-lądowych.

Zwiększanie szorstkości podłoża przy utrzymaniu jego struktury, kształtu agregatów i pożądaných właściwości fizyczno-chemicznych wykorzystywane jest np. w budowie, zabezpieczeniach i konserwacji brzegów rzek, zbiorników wodnych i na wielu obiektach inżynierskich, w tym wodnomelioracyjnych, które powinny komponować się integrować z krajobrazem przez odpowiednio dobraną okrywę roślinną. Dotyczy to również wykorzystania gabionów w ekoregulacji rzek, naturyzacji kanałów i w melioracjach.

Osobnym zagadnieniem jest drenowanie za pomocą gabionów i wyściółki keramzytowej zagłębień terenowych, które wypełniają się wodą na skutek spływu powierzchniowego. Specjalnie zaprojektowane zagłębienia zasiedlone roślinnością bagienno-wodną, zlokalizowane w pobliżu tras komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu, współistniejące z powierzchnią siecią wodną, mogą pełnić rolę buforów, neutralizujących spływy z nawierzchni asfaltowych. Jak wiadomo, spływy te, skażone ropopochodnymi metalami ciężkimi i innymi silnie trującymi związkami, niepotrzebnie obciążają sieci kanalizacyjne.

Stosowanie gabionów w aspekcie otaczającego krajobrazu oraz siedlisk roślin i zwierząt

Położenie geograficzne i charakter projektowanego obiektu, różnorodność występujących na nim siedlisk i rozliczne funkcje inżynierskie i ekologiczne, jakie powinien spełniać, pociągają za sobą konieczność zróżnicowania zbiorowisk i składu gatunkowego okrywy roślinnej, która powinna współistnieć z gabionami.

Wykorzystanie gabionów do proekologicznej regulacji rzek ma na celu osłonięcie podłoża i zabezpieczenie brzegów terenów zalewowych i obwałowań przed erozją, załadownienia określonych miejsc i lokalnego podwyższenia brzegów. Gabiony, zastępujące gładkie, obce środowiskowo i nieprzyjazne przyrodniczo powierzchnie betonowe, przejmują rolę elementów krajobrazowych.

Chcąc aby gabiony mogły pełnić, we właściwy sobie sposób, funkcje składników krajobrazu i elementów biotopu (siedliska), należy uwzględnić w projekcie:

- rodzaj tworzywa (np. skała wapienna, okruchy granitowe, kamienie o ostrych krawędziach, otoczaki),
- rozdrobnienie (granulacja) oraz zróżnicowanie wielkości i kształtu kamieni w zależności od odległości: od głównego nurtu wody oraz od koryta rzecznego,
- zróżnicowanie przestrzenne strefy gabionowej – poziome i pionowe, tj. zmienna szerokość i grubość pasa zagospodarowanego gabionami.

Wymienione cechy mają duże znaczenie ekologiczne. Rodzaj kamieni po-

winien odpowiadać okolicznym formacjom geologicznym lub skale macierzystej. Stwarza to odpowiednie warunki chemizmu, poziomu kwasowości i inne właściwości biotopu, które czynią go dostępnym dla miejscowej flory i fauny.

Zróżnicowanie wielkości kamieni powinno odpowiadać kształtowi doliny rzecznej, odległości od głównego nurtu i lokalnym prędkościom wody.

Zróżnicowanie przestrzenne poziome (szerokość) i pionowe (miąższość, grubość) stref gabionowych powinno odpowiadać ogólnemu charakterowi biegu rzeki na obudowanym odcinku.

Zachowanie możliwie naturalnego kształtu koryta wiąże się z utrzymaniem meandrów, zabezpieczeniem starorzeczy (naturalnych lub renaturyzowanych), stabilizacji mielizn, łach, wysepek, zatok i kawern brzegowych. Umożliwia to występowanie obok siebie:

- stref o szybkim prądzie wody (lepiej natlenionych, o niższej temperaturze),
- obszarów zwolnionego ruchu wody i miejsc ciszy (o gorszych warunkach tlenowych, często silnie nagrzanej wodzie, zwłaszcza jeśli są to obszary wypłycone, o ciemnym podłożu).

Wiele roślin i zwierząt potrzebuje takich sąsiadujących ze sobą siedlisk do rozrodu (np. wiele owadów i ich larw) lub migracji (np. rośliny hydrohoryczne).

Ładowa część brzegowej strefy gabionowej jest równie ważna. Istniejące w niej mikrokorytarze, kryjówki, miejsca zaciemnione, chłodne i wilgotne, sąsiadujące z nagrzanymi przez promienie słoneczne oraz cała gama siedlisk przejściowych, m.in. okresowo nagrzanych, lecz zawsze wilgotnych, stwarzają odpowied-

nie warunki bytowania dla wielu różnych zwierząt.

Ważne jest zadbanie o właściwą porcję trzech części strefy gabionowej:

- znajdującej się stale pod wodą (poniżej zakresu średnich wahań jej stanów),
- lądowej (w przeważającej części sezonu wegetacyjnego lub zawsze znajdującej się nad lustrem wody),
- ekotonu (w strefie wahań stanów wody, w węższej lub szerszej strefie stykania się wody i ładu).

Strefy te umożliwiają wzajemne przenikanie siedlisk wodnych i lądowych, a dzięki temu przemieszczanie się, polowanie i żerowanie, rozmnażanie i wyprowadzanie młodych przez wiele gatunków zwierząt.

Gabiony zaspokajają m.in. naturalne zapotrzebowanie drapieżników i ich ofiar na miejsca do polowania i na niezbędne obszary ucieczki. Obecność różnego rodzaju biotopów umożliwia bytowanie obu tych grup, obecnych w każdym naturalnym ekosystemie rzeczny. Im większe zróżnicowanie siedlisk oraz ich podobieństwo do naturalnych uwarunkowań, tym większa liczba realizujących się gatunków i większa ilość reprezentujących je populacji.

Gabiony, stosowane często dla ograniczenia zarastania, czasami umożliwiają przetrwanie roślinom, choćby tym, które rosną powyżej nich w stosunku do lustra wody. Rozbijając bowiem nurt i rozpraszając energię wody, chronią darnie trawiaste i słabiej ukorzenione drzewa i krzewy przed podmyciem ich i wyrwaniem w czasie m.in. wezbrań wiosennych.

Właściwe stosowanie gabionów może utrudniać lub wręcz uniemożliwiać rozwój okrywy roślinnej, a może też stanowić osłonę i oparcie np. dla drzew, przede wszystkim wierzb, stanowiących w Polsce, w wielu miejscach, typowy element krajobrazowy. Odpowiednie rozmieszczenie gabionów, dobór substratu kamiennego i jego granulacji, zaplanowanie proporcji udziału i przenikania powierzchni gruntowych (glebowych) i gabionów, pozwala na rozmieszczenie za drzewień i zakrzewień w taki sposób, aby spełniały swoją rolę inżynierską oraz przyrodniczą.

Wybór gatunków drzew i krzewów do nasadzeń jest duży (samych rodzimych gatunków wierzb – kilkanaście). Jednak w każdym indywidualnym przypadku, poza rozważeniem funkcjonalnego i siedliskowego doboru do zapotrzebowania inżynierskiego, preferowane powinny być gatunki drzew i krzewów typowe dla danego obszaru i rzeki (zlewni). W istocie bowiem elementem integrującym krajobrazowo jest roślinność występująca wzdłuż rzek. Gabiony zaś stanowią dla niej – podobnie jak dla fauny – tło, oparcie lub siedlisko.

Porowata struktura gabionów sprzyja zatrzymywaniu się piasku, namulów, szczątków organicznych i innych składników rumowiska rzeczno, a wśród nich nasion i innych diaspór roślin. Gabiony działają ponadto jak sito, zatrzymujące i selekcjonujące różne spływające części roślin i szczątki zwierząt. Nalot mikroorganizmów, tworzących błonę biologiczną na kamieniach oraz współpracujące z nią różne grupy ekologiczne drobnych bezkręgowców (peryfiton,

bentos, psammon) mają dostatecznie dużą powierzchnię aktywności biologicznej oraz odpowiednio długi czas na rozdrobnienie, pożarcie i przetworzenie aż do mineralizacji, szczątków organicznych, które zanieczyszczają wodę.

Właściwości okrywy roślinnej związanej z gabionami

Prace związane z wprowadzaniem wraz z gabionami drzew, krzewów, bylin i darni trawiastej mają na celu stabilizację podłoża oraz, czasami, uzyskanie zwartej i wielogatunkowej okrywy roślinnej w strefie powyżej lub poniżej gabionów. Nie oznacza to jednak potrzeby przykrywania jednorodnymi gabionami dużych obszarów ani równomiernego zadarniania utrwalanych powierzchni jednym gatunkiem rośliny. Efekt różnorodności, zarówno w przypadku biotopu, jak i biocekozy, powinien zaznaczyć się już w fazie zakładania (budowy) obiektu. Nie należy również spodziewać się efektu zwartej okrywy w następnym, a nawet trzecim roku po nasadzeniach. Dopiero po kilku latach adaptacja i rozwój roślin spowodują zmiany w wyglądzie całej fitocenozy, a po kilkunastu – jej pełne funkcjonowanie.

Dobrym rozwiązaniem są pasy roślinności, różnogatunkowe żywopłoty, strefy darni trawiastych i zadrzewienia o różnym składzie i wysokości. Należy dążyć do:

- ich fizjograficznej nieregularności, tj. dopasowania gatunków do siedliska;

- zróżnicowania przestrzennego, w zależności od pełnionej funkcji bioinżynierskiej;
- umożliwienia samoistnego uruchomienia mechanizmów dynamiki zbiorowisk, które po pewnym czasie spowodują wykształcenie się optymalnej, w danych warunkach, okrywy roślinnej.

Z powyższych względów należy wziąć pod uwagę dynamikę zbiorowisk roślinnych, aktualnie zajmujących teren przeznaczony pod inwestycję, oraz roślinność terenów otaczających, w szczególności zbiorowiska łąkowe, segetalne, typowe leśne oraz okolicznych zadrzewień i zakrzewień.

Nie należy liczyć na większy efekt, wprowadzając od razu wszystkie gatunki np. drzew końcowej postaci drzewostanu. Bardziej wskazane jest sadzenie większości krzewów i pionierskich gatunków drzew, które dalej poprowadzą sukcesję. Czas kształtowania się zbiorowisk drzewiasto-krzewiastych trwa bowiem kilka lat.

Kontrola i monitoring roślinności, dosadzanie drzew i krzewów, mogą stanowić, rozłożone w czasie, doraźne sposoby kształtowania okrywy roślinnej. Ze względu jednak na wysokie koszty takich metod pielęgnacji, należy dążyć do wykorzystania naturalnych mechanizmów ekspansji roślinności. Wyrazem tego jest:

- jednoczesne wprowadzenie dużej liczby gatunków pionierskich i niektórych docelowych;
- zasiedlanie terenu wieloma gatunkami drzew liściastych, iglastych, krzewów, bylin i traw;

- wprowadzanie każdego gatunku, np. drzew, po kilkanaście (niektórych kilka) egzemplarzy, w różnym wieku;
- utworzenie okrywy roślinnej typu pasowo-wyspowego (rezygnacja np. z zadrzewień wyłącznie olchą w układzie równomiernym);
- dostosowanie propozycji wyboru gatunków do typu siedliska (suche, wilgotne, wodne, nasłonecznione, zacienione, teren płaski, pochylony, wierzchowinowy) i pełnionej funkcji (miejsca eksponowane widokowo i oddalone, przechwytyjące uderzenie przeważających wiatrów, napór wody i inne działania mechaniczne oraz osłonięte, bliżej i dalej źródła zanieczyszczeń).

Przykłady zastosowań gabionów i roślinności

Szczególne możliwości wykorzystania gabionów daje wzorowanie się na tzw. biologicznej zabudowie potoków górskich. Projekty zastosowania gabionów wraz z roślinnością na różnych odcinkach rzek, naśladujące naturalne układy biocenotyczne zarówno kamieni, jak i towarzyszącej im roślinności, pozwalają na osiągnięcie pożądaných efektów. Zbiorowiska roślin przypotokowych są przystosowane do kamienistego podłoża i na ogół dobrze spełniają inżynierskie funkcje ochrony koryt.

Na podstawie badań fitosocjologicznych naturalnej obudowy biologicznej brzegów koryt w 95 profilach w dorzeczu Soły, Skawy i Dunajca (Bala-Pawłowska

1995) wykazano, że w skład zbiorowisk roślinnych, występujących na różnych odcinkach potoków, wchodzi krzewy, drzewa, trawy i byliny. Szczególną rolę w obudowie biologicznej potoków odgrywają krzewy i drzewa. Występują one głównie w obrębie pasów roślinności przykorytowej. Naturalnym tworzywem korytowym i brzegowym potoków górskich są kamienie, a naturalnymi rosnącymi nad wodą gatunkami są olsza szara (*Alnus incana*), wierzba biała (*Salix alba*), wierzba krucha (*Salix fragilis*), wierzba purpurowa (*Salix purpurea*), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior*) (Podbielkowski i Podbielkowska 1992). Występują one wzdłuż koryt na wysokości zwierciadła przepływów wielkiej wody rocznej (Bala-Pawłowska 1995).

Nad potokami, których wzniesienie zlewni nie przekracza 600 m n.p.m., bardzo silnie rozrasta się, pochodząca głównie z nasadzeń, topola czarna (*Populus nigra*) (Bala-Pawłowska 1995). Przyrosty biomasy, trwałość i walory krajobrazowe przemawiają za jej częstszym stosowaniem w zadrzewieniach szpalerowych towarzyszących pasom gabionów.

Spośród gatunków przyjmujących pokrój drzewa lub krzewu, tworzących podrost w prześwietlonych miejscach pasa przykorytowego, często spotykany jest jarząb pospolity – jarzębina (*Sorbus aucuparia*). Z uwagi na jej znaczenie biocenotyczne, walory estetyczno-krajobrazowe, łatwą integrację z kamienistym podłożem i małe wymagania siedliskowe należałoby ją częściej stosować w nasadzeniach integracyjnych z gabionami.

Szczególnie liczną grupę, do wykorzystania w kombinacjach z gabionami, stanowią różne gatunki wierzby.

Częstymi gatunkami fitocenozy nadrzecznych, występującymi również wzdłuż potoków górskich, są: czeremcha zwyczajna (*Padus avium*), bez koralowy (*Sambucus racemosa*), bez czarny (*Sambucus nigra*) i dereń świdwa (*Cornus sanguinea*). Zastosowanie ich z gabionami jest w pełni uzasadnione z uwagi na dążenie do uzyskania koniecznej bioróżnorodności oraz dodatkowe walory inżynierskie. Wymienione gatunki można zastąpić ich hodowlanymi odpowiednikami. Jest to szczególnie uzasadnione w miejscach eksponowanych widokowo, w plenerach parkowych, miejscach spacerowo-wypoczynkowych i rekreacyjnych.

Spośród niskich krzewów, naturalnie zasiedlających kamieniste biotopy potoków górskich, nadających się do wprowadzania z gabionami na wszystkich odcinkach rzek, najtańsze są różowate (*Rosaceae*), a spośród nich najbardziej wskazane z ekologicznego punktu widzenia są: malina właściwa (*Rubus idaeus*), jeżyna właściwa (*Rubus caesius*), róża dzika (*Rosa canina*), róża pomarszczona (*Rosa rugosa*).

Inżynierskie wykorzystanie bylin i gabionów jest nie tylko metodą roślinnej zabudowy pasa korytowego, ale może spełniać rozliczne dodatkowe cele:

- sanitacji i napowietrzania podłoża: mięta (*Mentha sp.*), trzcina pospolita (*Phragmites australis*);
- oczyszczania wody: pałka szerokolistna (*Typha latifolia*) i *T. angustifolia*;

- stabilizacji podłoża: lepieźniki (*Petasites sp.* Schiechtl 1958), podbiał pospolity (*Tussilago farfara*), podagrycznik pospolity (*Aegopodium podagraria*), kaczyniec (*Caltha palustris*), przetacznik bobownik i przetacznik bobowniczek (*Veronica anagalis* i *V. beccabunga*);
- estetyczne i siedliskowe: wiele gatunków i odmian bylin hodowlanych, sztucznie wprowadzanych oraz naturalnie spotykanych w podobnych siedliskach, o właściwościach ozdobnych, miododajnych i stanowiących siedliska dla fauny.

Również trawy przyrodniczo komponują się z gabionami, zwłaszcza gdy tworzą naprzemienne pasy lub powierzchnie z udziałem wymienionych typów roślinności (drzewiastą, krzewiastą i bylinową). Inżynierskie zastosowania traw w postaci darni, do ochrony powierzchni gruntu przed erozją, znane są od dawna. Trawy dobrze spełniają swą rolę, gdy występują w dużym zagęszczeniu. Z traw stosowanych w inżynierii środowiska duże znaczenie mają m.in.:

- trawy rozłogowe: (*Agrostis stolonifera*), mietlica biaława (*Agrostis alba*),
- trawy rozłogowo-luźnokępowe: wiechlina zwyczajna (*Poa trivialis*), wiechlina spłaszczona (*Poa compressa*), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* var. *genuina*),
- trawy tworzące zwarte kępy: np. śmiełek darniowy (*Deschampsia caespitosa*),
- trawy siedlisk podmokłych, okresowo zalanych: móżga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*) i przedstawione poniżej,

- trawy siedlisk stale mokrych lub znajdujących się pod wodą: trzcina pospolita (*Phragmites australis*), manna wodna (*Glyceria aquatica*), manna jadalna (*Glyceria fluitans*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), trzcinik lancetowaty (*Calamagrostis lanceolata*), wiechliny (*Poa sp.*) i mietlice (*Agrostis sp.*).

Podsumowanie

Na wybór tworzywa konstrukcyjno-wypełniającego, jakim są gabiony, wpływają trzy czynniki:

- praktyczny,
- ekonomiczny,
- estetyczny.

Względy przyrodniczo-ekologiczne powodują, że oprócz wymienionych właściwości gabionów, jako tworzyw budowlanych, należy także wziąć pod uwagę stopień ich:

- bliskości naturze,
- komponowania się z krajobrazem,
- przyjazności w stosunku do świata roślin i zwierząt.

Oprócz funkcji inżynierskich gabiony pełnią rolę biotopu w stosunku do jakiegś biocenozy. W zależności od celu zastosowania gabionów może to być biocenoza lądowa lub wodna, z przewagą mikroorganizmów i drobnych bezkręgowców (np. oczyszczająca wodę), z roślinami lub bez nich. Odpowiedni dobór tworzywa kamiennego i stopnia jego rozdrobnienia warunkuje prawidłowe funkcjonowanie biotopu w ekosystemie i wypełnianie innych jego funkcji inżynierskich.

Wyniki badań nad naturalnymi zbiorowiskami roślin pozwalają na wytypowanie gatunków, które w połączeniu z ekologiczną zabudową techniczną w postaci gabionów mogą być stosowane do właściwego uregulowania i umocnienia brzegów, m.in. przed niszczącym działaniem wód przepływowych.

W działaniach inżynierskich, podejmowanych zgodnie z zasadami ochrony środowiska i jego zasobów, dużą rolę pełnią rozwiązania z zastosowaniami gabionów i roślin w postaci filtrów biologicznych, barier ekologicznych i stref ekotonowych. Regulacja rzek, stabilizacja brzegów kanałów, oczyszczanie wód, gleby i powietrza za pomocą kompozycji gabionów i roślin jest metodą bardzo efektywną, tanią i przyjazną środowisku.

Ekologiczne i sanitarne cechy gabionowo-roślinnych filtrów powietrza i barier ochronnych to:

- niezbędna trwałość, pożądana elastyczność reagowania na zmieniające się uwarunkowania środowiskowe, możliwości dopasowania zarówno do potrzeb inżynierskich, jak i przekształcanego biotopu;
- zdolność wychwytywania i zatrzymywania na powierzchni gabionów, a często wbudowywania w tkanki roślin związków zanieczyszczających środowisko;
- napowietrzanie i natlenianie gleby i wody;
- możliwość szybkiego i, w porównaniu z klasycznymi materiałami budowlanymi, niskonakładowego usuwania lub modyfikacji niektórych elementów konstrukcji gabionowych.

Potencjalne możliwości wykorzystania roślin wraz z konstrukcjami gabionowymi dotyczą gatunków:

- siedlisk suchych i okresowo niedoborowo uwilgotnionych, występujących np. na wierzchowinie i w górnych strefach skarp wałów i wznieścień;
- siedlisk dostatecznie (wystarczająco) i optymalnie nawodnionych, występujących m.in. w miejscach ekspozowanych widokowo;
- siedlisk wilgotnych, podtopionych i wodnych, występujących na brzegach wód stojących i płynących, okresowo uruchamianych, podlegających oczyszczaniu, renaturyzacji i regulacji.

Propozycje zastosowania wytypowanych gatunków roślin w wymienionych siedliskach (Pachuta 2001) obejmują gatunki szczególnie przydatne z inżynierskiego punktu widzenia. Uzasadnieniem takiej przydatności są m.in. dostępność i niskie koszty materiału roślinnego (nasion, młodych roślin), wyjątkowe walory przyrodnicze, właściwości sanitacyjne, budowa morfologiczna i fizjologia stosowne do wymienionej funkcji inżynierskiej i roli ekologicznej.

Literatura

- BALA-PAWŁOWSKA E. 1995: Rośliny w zabudowie biologicznej potoków górskich. *Aura* 3, 10–11.
- DĄBKOWSKI Sz.L. 1997: Aktualne problemy techniczno-konstrukcyjne budowli piętrzących. SITWM. Mat. Konf. „Mała retencja wodna”. Sielcia Wielka, 5–6 IV.
- DĄBKOWSKI Sz.L., PACHUTA K. 1993: O niektórych problemach inżynierskiego wykorzystania roślinności. *Mel. Rol. Biuletyn Inf.* 1/2, 24–32.
- DĄBKOWSKI Sz.L., PACHUTA K. 1995: Ekologiczne aspekty zastosowań gabionów w budownictwie wodnym, wodno-melioracyjnym i ziemnym. Maszynopis oprac. dla „Polibet”.
- PACHUTA K. 1989: Wpływ wybranych zbiorowisk roślin wodnych i szuwarowych na ruch wody i morfologię koryt rzecznych. Praca doktorska. Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- PACHUTA K. 2001: Możliwości wykorzystania różnych gatunków roślin w systemach roślinno-gabionowych. Monografia SGGW (w druku).
- PODBIELKOWSKI Z., PODBIELKOWSKA M. 1992: Przystosowania roślin do środowiska. Wydaw. Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- PODBIELKOWSKI Z., TOMASZEWICZ H. 1996: Zarys hydrobotaniki. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- SMOLUCHOWSKA A. 1988: Zasady stosowania umocnień skarp koryt małych rzek nizinnych. *IMUZ, Fałenty, Mat. Inf.* 13.
- SMOLUCHOWSKA A., KULWIEĆ E., ŁĘKAWSKA I. 1971: Umocnienia roślinne mniejszych rzek nizinnych. *Bibl. Wiad. IMUZ* 38.

Summary

The gabions with plants are being used in the engineering activities linked to environmental protection – e.g. biological filters, ecological barriers and ecotone buffer zones. The proposals of plants and gabions applying refer to the dry, properly moistened and wet habitats. The criteria of plant species choice for different engineering purposes were as follow:

- the availability and low costs of plant material,
- environmental values and sanitation features,
- morphology and physiology adequate to the engineering and ecological functions.

Autor's address:

K. Pachuta
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Environmental Improvement
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Rozwiązanie nieliniowego zagadnienia konsolidacji gruntu A solution of a non-linear problem of soil consolidation

Wstęp*

Problem osiadania warstwy gruntu i związane z tym określenie nadwyżki ciśnienia porowego jako funkcji współrzędnej i czasu, występujący przy budowie i eksploatacji budowli ziemnych, można sprowadzić do rozwiązania zagadnienia konsolidacji stopniowo wbudowywanych warstw gruntu. Analogia taka jest możliwa, jeżeli przyjąć, że szerokość nasypu znacznie przekracza jego wysokość. Wówczas zagadnienie konsolidacji można rozpatrywać jako jednowymiarowe. Analogiczne zagadnienie zostało rozwiązane w pracy Kazieko i Kazieko (1998). W niniejszej pracy otrzymano rozwiązanie, które różni się od rozwiązania z pracy Kazieko i Kazieko (1998) ilościowo, jakościowa analiza wskazuje zaś na duże podobieństwo obu rozwiązań. We wspomnianej pracy analiza dotyczy zależności nadwyżki ciśnienia i osiadania gruntu przy zmieniającym się obciążeniu, niniejsza praca dotyczy natomiast analizy zmian nadwyżki ciśnienia względem miąższości warstwy w czasie 1–2 lat.

Sformułowanie zagadnienia

Jednowymiarowe zagadnienie konsolidacji trójfazowej warstwy gruntu opisać można, podobnie jak w pracy Florina (1961), układem nieliniowych równań różniczkowych. W rozwiązywanym zagadnieniu uwzględniono następujące elementy:

- ściśliwość i rozpuszczalność gazowej fazy gruntu,
- zależność współczynnika ściśliwości od naprężenia w szkieletcie gruntu,
- zależność współczynnika filtracji od porowatości gruntu,
- zależność fazowych przenikalności wody i powietrza od nasycenia wodą.

*Z uwagi na bardzo rozbudowane wzory artykuł złożono jednołamowo.

Przyjęto następujące oznaczenia:

x	– współrzędna,
t	– czas,
$u = u(x, t)$	– nadwyżka ciśnienia porowego,
s	– objętość powietrza w jednostce objętości gruntu,
s_0	– wartość początkowa s ,
ε	– wskaźnik porowatości,
ε_0	– wartość początkowa ε ,
k	– współczynnik filtracji wody przy pełnym nasyceniu,
σ	– efektywne naprężenie w gruncie,
a	– współczynnik ściśliwości gruntu,
α	– współczynnik rozpuszczalności powietrza,
p	– ciśnienie w porach,
p_0	– ciśnienie atmosferyczne,
$q = q(t)$	– obciążenie jednostkowe konsolidowanej warstwy,
k_w^*	– względna fazowa przenikalność dla wody,
k_g^*	– względna fazowa przenikalność dla powietrza,
σ_g	– współczynnik nasycenia ośrodka porowego powietrzem,
ρ	– gęstość wody,
ρ_g	– gęstość szkieletu gruntu,
γ	– ciężar objętościowy wody,
γ_w	– ciężar objętościowy gruntu,
γ_s	– ciężar właściwy twardych cząstek gruntu,
μ_w	– lepkość wody,
μ_g	– lepkość powietrza,
μ	– molekularny ciężar powietrza,
T	– temperatura absolutna,
R	– stała gazowa,
Λ, β, b, c	– stałe liczbowe,
h	– ciśnienie piezometryczne

Układ równań różniczkowych opisujących konsolidację nasyconej wodą warstwy gruntu ma postać:

$$\begin{aligned}
 A_1 \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + B_1 \frac{\partial s}{\partial t} + C_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\
 A_2 \frac{\partial u}{\partial t} &= \left(\frac{\alpha}{1 + \varepsilon} + s \right) \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + B_2 \frac{\partial s}{\partial t} + C_2 \frac{\partial}{\partial x} \left[D_2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} - 1 \right) \right] + E_2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} - 1 \right)^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie $\frac{\partial h}{\partial t}$ – prędkość powiększania się warstwy,

$$A_1 = 1 - \frac{\alpha[\varepsilon - (1 + \varepsilon)s]}{a\beta_0\rho(1-s)}; \quad B_1 = C_1 = \frac{1 + \varepsilon}{a\gamma(1-s)};$$

$$D_1 = kk_w^*; \quad \beta_0 = \frac{RT}{\mu};$$

$$A_2 = \frac{\alpha}{1 + \varepsilon} + s + \frac{s(1 + \varepsilon) + \alpha\varepsilon}{ap}; \quad B_2 = -\frac{1 + \varepsilon}{a\gamma};$$

$$C_2 = \frac{(1 + \varepsilon)\mu_w}{a\gamma\mu_g}; \quad D_2 = kk_g^*;$$

$$E_2 = \frac{(1 + \varepsilon)kk_g^*\mu_w}{ap\mu_g}.$$

Zależność naprężenia w szkielecie gruntu od ciśnienia określa się wzorem:

$$\sigma = \gamma_w h - \gamma u - (\gamma_w - \gamma)x \quad (2)$$

Zakładając, że podłoże jest nieprzepuszczalne, przyjmuje się następujące warunki brzegowe:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \text{gdy } x = 0; \quad \frac{\partial s}{\partial x} = 0, \quad \text{gdy } x = 0; \quad u = h, \quad \text{gdy } x = h. \quad (3)$$

Ponadto współczynnik filtracji wody, wskaźnik porowatości jak również względną przenikalność wody i powietrza określono następującymi zależnościami empirycznymi:

$$k = A \exp \beta \varepsilon;$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - c \ln(1 + b\sigma);$$

$$k_w^* = \left(\frac{0,8 - \sigma_g}{0,8} \right)^{3,5} \quad \text{dla } 0 \leq \sigma_g < 0,8;$$

$$k_w^* = 0 \quad \text{dla } 0,8 \leq \sigma_g \leq 1;$$

$$k_g^* = 0 \quad \text{dla } 0 \leq \sigma_g \leq 0,1;$$

$$k_g^* = \left(\frac{\sigma_g - 0,1}{0,9} \right)^{3,5} [1 + 3(1 - \sigma_g)] \quad \text{dla } 0,1 \leq \sigma_g \leq 1,$$

$$\sigma_g = s \left(1 + \frac{1}{\varepsilon} \right),$$

Przyjęto, że nadbudowywanie warstwy gruntu w czasie przebiega zgodnie z zależnościami:

$$h = \theta t \quad \text{dla } 0 \leq t < T_0,$$

$$q = \theta T_0 \quad \text{dla } t \geq T_0.$$

Metoda różnic skończonych

Do rozwiązania powyższego zagadnienia zastosowano metodę różnic skończonych.

W płaszczyźnie współrzędnych x i t utworzono prostokątną siatkę z węzłami x_i^j, t^j :

$$x_i^0 = i\Delta x; \quad t^j = j\Delta t, \\ i = 0, 1, 2, \dots, N; \quad j = 0, 1, 2, \dots$$

gdzie:

Δx – początkowy krok wzdłuż osi x ,

Δt – krok wzdłuż osi t ,

N – liczba kroków względem x .

Z uwagi na możliwość powstawania dużych deformacji przyjęto, że siatka zmienia się w czasie zgodnie z następującymi zależnościami:

$$\Delta x_i^j = \Delta x(1 - e^{i-1}); \quad x_i^j = \sum_{k=1}^j \Delta x_k^j; \quad h^j = x_N^j$$

gdzie e^{i-1} określone jest za pomocą wzoru (13).

Dla każdego węzła (x_i, t^j) należy określić odpowiednie funkcje siatkowe u_i^j i s_i^j . Do rozwiązania nieliniowego układu równań różniczkowych (1) zastosowano niejawny schemat różnic skończonych:

$$\left\{ 1 - \frac{\alpha[\varepsilon - (1 + \varepsilon)s]}{a\beta p(1 - s)} \right\}_i^{j+1} \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta t} = \left(\frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} \right)_i^{j+1} + \left(\frac{1 + \varepsilon}{a\gamma(1 - s)} \right)_i^{j+1} \frac{s_i^{j+1} - s_i^j}{\Delta t} + \\ + \left(\frac{1 + \varepsilon}{a\gamma(1 - s)} \right)_i^{j+1} \frac{(kk_w^*)_i^{j+1} - (kk_w^*)_i^j}{\Delta x} \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta x} + \left(\frac{1 + \varepsilon}{a\gamma(1 - s)} kk_w^* \right)_i^{j+1} \frac{u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}}{\Delta x^2}; \quad (4)$$

$$\left\{ \frac{1}{1 - \alpha} \left[\frac{\alpha}{1 + \varepsilon} + s + \frac{s(1 + s)(1 - \alpha) + \alpha\varepsilon}{pa} \right] \right\}_i^{j+1} \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta t} = \\ = \left(\frac{(1 + \varepsilon)\mu_w}{a\gamma(1 - \alpha)\mu_w} \right)_i^{j+1} \left(\frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta x} - 1 \right) \frac{(kk_w^*)_i^{j+1} - (kk_w^*)_i^j}{\Delta x} + \\ + \left(\frac{(1 + \varepsilon)\mu_w}{a\gamma(1 - \alpha)\mu_w} kk_w^* \right)_i^{j+1} \frac{u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}}{\Delta x^2} \left(\frac{1 + \varepsilon}{a\gamma} \right)_i^{j+1} \frac{s_i^{j+1} - s_i^j}{\Delta t} + \\ + \left(\frac{(1 + \varepsilon)kk_w^*\mu_w}{ap\mu_w} \right)_i^{j+1} \left[\frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta x} - 1 \right]^2; \quad (5)$$

$$u_N^{j+1} = u_{N-1}^{j+1}; \quad u_0^{j+1} = 0; \quad s_N^{j+1} = s_{N-1}^{j+1}; \quad i = 1, 2, \dots, N-1.$$

Układ równań (4) dla $i \in (0, N)$ w momencie t^{j+1} prowadzi do układu $2(N-1)$ równań nieliniowych z niewiadomymi u_i^{j+1} i s_i^{j+1} . Stosując metodę iteracji, otrzymuje się układ algebraiczny równań liniowych z niewiadomymi u_i^{r+1} i s_i^{r+1} :

$$\left\{ 1 - \frac{\alpha[\varepsilon - (1+\varepsilon)s]}{a\beta\rho(1-s)} \right\}_i \frac{u_i^{r+1} - u_i^r}{\Delta t} = \left(\frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} \right)_i + \left(\frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} \right)_i + \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma(1-s)} \right)_i \frac{s_i^{r+1} - s_i^r}{\Delta t} + \quad (6)$$

$$+ \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma(1-s)} \right)_i \frac{(kk_w^*)_i^{r+1} - (kk_w^*)_i^r}{\Delta x} \frac{u_{i+1}^r - u_i^r}{\Delta x} + \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma(1-s)} kk_w^* \right)_i \frac{u_{i+1}^{r+1} - 2u_i^{r+1} + u_{i-1}^{r+1}}{\Delta x^2}$$

$$\left\{ \frac{1}{1-\alpha} \left[\frac{\alpha}{1+\varepsilon} + s + \frac{s(1+\varepsilon)(1-\alpha) + \alpha\varepsilon}{pa} \right] \right\}_i \frac{u_i^{r+1} - u_i^r}{\Delta t} =$$

$$= \left(\frac{(1+\varepsilon)\mu_w}{a\gamma(1-\alpha)\mu_g} \right)_i \left(\frac{u_{i+1}^r - u_i^r}{\Delta x} - 1 \right) \frac{(kk_g^*)_i^{r+1} - (kk_g^*)_i^r}{\Delta x} +$$

$$+ \left(\frac{(1+\varepsilon)\mu_w}{a\gamma(1-\alpha)\mu_g} kk_g^* \right)_i \frac{u_{i+1}^{r+1} - 2u_i^{r+1} + u_{i-1}^{r+1}}{\Delta x^2} - \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma} \right)_i \frac{s_i^{r+1} - s_i^r}{\Delta t} + \quad (7)$$

$$+ \left(\frac{(1+\varepsilon)kk_g^*\mu_w}{ap\mu_g} \right)_i \left[\frac{u_{i+1}^r - u_i^r}{\Delta x} - 1 \right]^2$$

$$u_N^{r+1} = u_{N-1}^{r+1}; \quad s_N^{r+1} = s_{N-1}^{r+1}; \quad u_0^{r+1} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, N-1.$$

Jako pierwsze przybliżenie funkcji u_i^r i s_i^r wzięto ich wartości w momencie $t - \Delta t$:

$$u_i^1 = u_i^j; \quad s_i^1 = s_i^j.$$

Przyjmując:

$$u_i^{j+1} = u_i^{r+1}; \quad s_i^{j+1} = s_i^{r+1}$$

proces iteracyjny jest zakończony, gdy spełnione są warunki:

$$\max_i |u_i^{r+1} - u_i^r| < \xi |u_i^{r+1}|, \quad \max_i |s_i^{r+1} - s_i^r| < \xi |s_i^{r+1}|,$$

gdzie ξ – dopuszczalny błąd przy określeniu funkcji u_i^r i s_i^r .

Równania (5) i (6) przedstawić można w postaci układu $2(N-1)$ algebraicznych równań:

$$K_1^r \frac{u_i^{r+1} - u_i^r}{\Delta t} = K_2^r + K_3^r \frac{s_i^{r+1} - s_i^r}{\Delta t} + K_4^r + K_5^r \frac{u_{i+1}^{r+1} - 2u_i^{r+1} + u_{i-1}^{r+1}}{(\Delta x)^2} \quad (8)$$

$$L_1^r \frac{u_i^{r+1} - u_i^r}{\Delta t} = L_2^r + L_3^r \frac{s_i^{r+1} - s_i^r}{\Delta t} + L_4^r + L_5^r \frac{u_{i+1}^{r+1} - 2u_i^{r+1} + u_{i-1}^{r+1}}{(\Delta x)^2} \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, N-1$$

gdzie:

$$K_1^n = \left(1 - \frac{\alpha[\varepsilon - (1+\varepsilon)s]}{a\beta\rho(1-s)} \right)_i^T; \quad K_2^n = \left(\frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} \right)_i^T; \quad K_3^{ir} = \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma(1-s)} \right)_i^T;$$

$$K_4^{ir} = \left[(kk_w^*)_i^{r+1} - (kk_w^*)_i^r \right] \frac{u_{i+1}^r - u_i^r}{(\Delta x)^2} \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma(1-s)} \right)_i^T; \quad K_5^{ir} = \left(\frac{1+\varepsilon}{a\gamma(1-s)} kk_w^* \right)_i^T;$$

$$L_1^{ir} = \left(-\frac{1}{1-\alpha} \left[\frac{\alpha}{1+\varepsilon} + s + \frac{s(1+\varepsilon)(1-\alpha) + \alpha\varepsilon}{pa} \right] \right)_i^T;$$

$$L_2^{ir} = \left(\frac{(1+\varepsilon)\mu_w}{a\gamma(1-\alpha)\mu_g} \right)_i^T \left(\frac{u_{i+1}^r - u_i^r}{\Delta x} - 1 \right) \frac{(kk_g^*)_i^{r+1} - (kk_g^*)_i^r}{\Delta x}; \quad L_3^{ir} = \left(-\frac{1+\varepsilon}{a\gamma} \right)_i^T;$$

$$L_4^{ir} = \left(\frac{(1+\varepsilon)kk_g^*\mu_w}{a\mu_g} \right)_i^T \left(\frac{u_{i+1}^r - u_i^r}{\Delta x} - 1 \right)^2; \quad L_5^{ir} = \left(\frac{(1+\varepsilon)\mu_w}{a\gamma(1-\alpha)\mu_g} (kk_g^*) \right)_i^T.$$

Wykonując pewne przekształcenia algebraiczne, układ równań (8) i (9) można sprowadzić do układu $N-1$ równań:

$$P_i^r u_{i+1}^{r+1} - Q_i^r u_i^{r+1} + R_i^r u_{i-1}^{r+1} = W_i^r; \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (10)$$

$$s_i^{r+1} = \left[\frac{K_5^{ir}}{(\Delta x)^2} (2u_i^{r+1} - u_{i+1}^{r+1} - u_{i-1}^{r+1}) + \frac{K_1^n}{\Delta t} (u_i^{r+1} - u_i^r) + \frac{K_1^n}{\Delta t} s_i^r - K_2^{ir} - K_4^{ir} \right] \frac{\Delta t}{K_3^{ir}} \quad (11)$$

$i = 1, 2, \dots, N-1$

gdzie:

$$P_i^r = R_i^r = \frac{L_5^{ir} K_3^{ir} - K_5^{ir} L_3^{ir}}{(\Delta x)^2};$$

$$Q_i^r = -2P_i^r + \frac{K_1^{ir} L_3^{ir} - L_1^{ir} K_3^{ir}}{\Delta t};$$

$$W_i^r = (K_1^n L_3^n - L_1^n K_3^n) \frac{u_i^r}{\Delta t} + K_2^n L_3^n - L_2^n K_3^n + K_4^n L_1^n - L_4^n K_3^n$$

Rozwiązując układ (10), otrzymujemy:

$$u_{i+1} = \delta_{i+1} - \gamma_{i+1} u_i, \quad 0 \leq i < N,$$

gdzie:

$$\delta_i = \frac{P_i \delta_{i+1} - W_i}{Q_i + P_i \gamma_{i+1}}; \quad \gamma_i = \frac{-R_i}{Q_i - P_i \gamma_{i+1}};$$

$$\delta_N = 0, \quad \gamma_N = -1;$$

$$P_0 = R_0 = W_0 = P_N = W_N = 0; \quad Q_0 = Q_N = R_N = -1.$$

Analiza wyników

W celu zilustrowania otrzymanych wyników wykonano szereg obliczeń. Dla różnych kroków czasowych wykonano obliczenia:

- 1) rozkładów ciśnienia w konsolidowanej warstwie,
- 2) objętości powietrza (s);
- 3) gęstości szkieletu gruntu

$$\rho_g = \frac{\gamma_g}{1 + \varepsilon} \quad (12)$$

- 4) deformacji

$$e_x = \frac{c \ln(1 + b\sigma)}{1 + \varepsilon_0} \quad (13)$$

- 5) osiadania

$$\zeta = \int_0^x e_x dx \quad (14)$$

- 6) wilgotności

$$\omega = \frac{\gamma}{\gamma_g} [\varepsilon - s(1 + \varepsilon)] \quad (15)$$

- 7) naprężeń w szkielecie gruntu

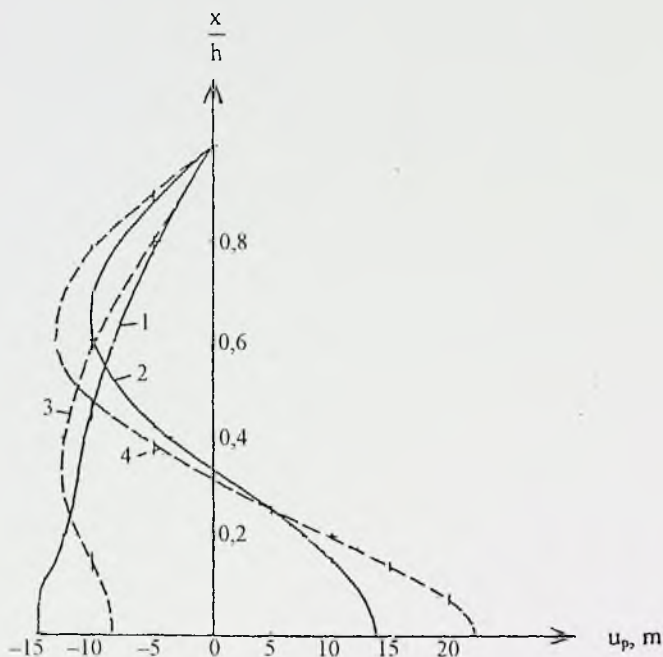
$$\sigma = q(t) - \gamma u \quad (16)$$

Rysunek 1 przedstawia krzywe rozkładu nadwyżki ciśnienia porowego:

$$u_p = u - h$$

względem grubości warstwy dla momentów czasu: 1 rok (krzywa 1) i 2 lata (krzywa 2), gdy początkowa wartość $s_0 = 0,0765$, prędkość zaś wbudowywania warstwy gruntu wynosi 50 m/rok.

W celu porównania otrzymanych wyników przytoczono rezultaty określenia odpowiednich wielkości w modelu opisanym w pracy Kaziuko i Kaziuko (1998) – krzywe 2 i 4. Na wykresach tych można zauważyć, że w obu przypadkach wyniki są jakościowo bardzo podobne. Przeprowadzając jednak analizę ilościową, można stwierdzić, że wartości ciśnienia na podłożu warstwy gruntu istotnie się różnią. Różnice te mogą wynikać z błędów, jakimi obciążone jest przybliżone rozwiązanie otrzymane w pracy Kaziuko i Kaziuko (1998).

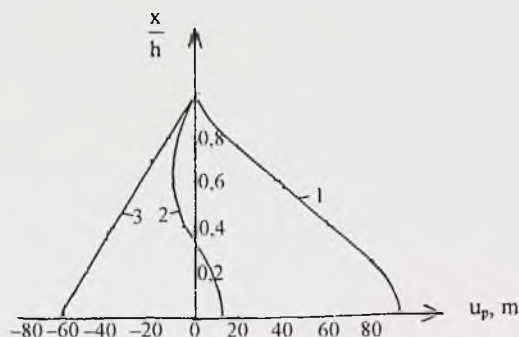


RYSUNEK 1. Zależność nadwyżki ciśnienia porowego względem grubości warstwy, gdy $s_0 = 0,0765$, dla czasu $t = 1$ rok (krzywe 1 i 4), i $t = 2$ lata (krzywe 2 i 3)

Rysunek 2 przedstawia rozkład ciśnienia względem miąższości warstwy dla różnych wartości początkowych objętości powietrza w gruncie. Czas wbudowywania gruntu – 2 lata, prędkość – 50 m/rok.

Krzywa 1 odpowiada wartości początkowej $s_0 = 0,02$, odpowiadającej stanowi bliskiemu pełnego nasycenia warstwy gruntu wodą. W tym przypadku nie występuje „ujemna” nadwyżka ciśnienia porowego u_p , największa wartość u_p jest bliska wartości $\left(\frac{\gamma_w}{\gamma} - 1 \right) h$.

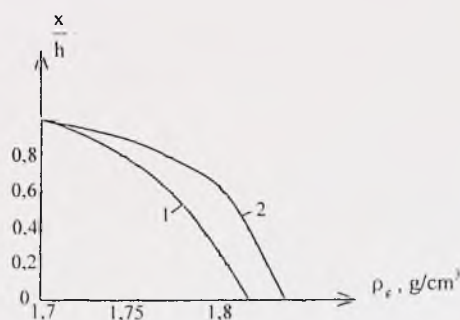
W miarę zwiększania wartości początkowej s_0 w pewnej części warstwy pojawiają się ujemne wartości u_p (patrz krzywa 2, gdy $s_0 = 0,0765$). W miarę zmniejszania wilgotności w gruncie obszar ujemnych wartości (u_p) rozszerza się na całą warstwę (krzywa 3, $s_0 = 0,12$).



RYSUNEK 2. Zależność nadwyżki ciśnienia porowego względem grubości warstwy, gdy $s_0 = 0,02$ (krzywa 1), $s_0 = 0,0765$ (krzywa 2) i $s_0 = 0,12$ (krzywa 3)

Rysunek 3 przedstawia krzywe rozkładu gęstości szkieletu gruntu względem głębokości warstwy gruntu, gdy czas wbudowywania warstwy wynosi 1 rok (krzywa 1) i 2 lata (krzywa 2), prędkość wznoszenia nasypu – 50 m/rok, $s_0 = 0,0765$. Największe zwiększenie gęstości względem głębokości występuje w górnej części warstwy gruntu mającej przykładowo 20 m głębokości. Na tej głębokości zmiana gęstości stanowi w przybliżeniu połowę maksymalnego powiększenia gęstości, jaka występuje na podłożu.

Takie duże zagęszczenie pod wpływem ciężaru wyżej położonych warstw gruntu wyjaśnia ujemną nadwyżkę ciśnienia porowego w górnej części warstwy (patrz rys. 1), a także odpowiednio duże wartości współczynników ścisłości, odpowiadające małym wartościom naprężenia w gruncie.



RYSUNEK 3. Rozkład gęstości szkieletu gruntu ρ_s względem głębokości warstwy dla czasu $t = 1$ rok (krzywa 1) i $t = 2$ lata (krzywa 2)

Zjawisko intensywnego zagęszczenia gruntu w górnej części warstwy pod wpływem ciężaru wyżej położonych warstw gruntu można uwzględnić, przyjmując początkową ścisłość gruntu układanego w tamę.

Literatura

- FLORIN W.A. 1961: Osnovy mechaniki gruntow. T. 2. Gosstrojizdat.
- GIBSON R.E., SCHIFFMAN R.L., CARGILL K.W. 1981: The theory of one dimensional consolidation of saturated clays. II. Finite nonlinear consolidation of thick homonegous layers. *Can. Geot. J.* 18, 280–293.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1994: O nieliniowym zagadnieniu konsolidacji ośrodka trójfazowego. *Przegl. Nauk. Wydz. MiIŚ, SGGW*, z. 6.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1995: O rozwiązaniu nieliniowych zagadnień konsolidacji gruntów. *Przegl. Nauk. Wydz. MiIŚ, SGGW*, z. 7.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1996: Rozwiązanie nieliniowego jednowymiarowego zagadnienia konsolidacji gruntów. *Przegl. Nauk. Wydz. MiIŚ, SGGW*, z. 12.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1998: Nieliniowe zagadnienie konsolidacji warstwy trójfazowego gruntu. *Przegl. Nauk. Wydz. MiIŚ, SGGW*, z. 14.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1999: Nieliniowe zagadnienie konsolidacji gruntu. *Przegl. Nauk. Wydz. MiIŚ, SGGW*, z. 17.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 2000: Rozwiązanie nieliniowego zagadnienia konsolidacji gruntu. *Przegl. Nauk. Wydz. MiIŚ, SGGW*, z. 18.

Summary

The phenomenon of consolidation of a saturated soil stratum is studied in this paper. The paper presents the numerical solution of one – dimensional consolidation of soil with variation in soil properties during consolidation course. A finite – difference solution of a non-linear-dimensional of soil consolidation is studied for a time-varying region and arbitrary boundary conditions.

The calculation of pressure as a function of the coordinate and time included the variations, occuring pore water flow in the volume of entrapped air was carried out.

Authors' address:

H. Kazieko, L. Kazieko
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Applied Mathematics
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Tomasz ROZBICKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Meteorologii i Klimatologii

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation

Division of Meteorology and Climatology

Związek między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej i jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi z okresu poprzedniego

Relationship between winter wheat and spring barley phenological interphase periods and anterior meteorological elements

Wstęp

Umiejętność dokładnej oceny długości okresów rozwojowych roślin i daty wystąpienia określonej fazy fenologicznej ułatwia przeprowadzenie w rolnictwie takich czynności, jak ustalenie optymalnych dat agrotechnicznych oraz ocenę długości okresu wegetacyjnego (Radomski 1987). Problematyce wpływu czynników meteorologicznych na długość okresów międzyfazowych roślin uprawnych poświęcono do tej pory wiele szerokich opracowań, a także prac przyczynkowych (m.in. Kołodziej 1977/78, Galant 1983, Listowski 1983). Wiadomo, że długość okresów między kolejnymi fazami fenologicznymi rośliny w danym roku zależy od przebiegu warunków pogodowych scharakteryzowanych przez elementy meteorologiczne, z których naj-

większe znaczenie ma temperatura powietrza. Literaturę traktującą o zależnościach między elementami meteorologicznymi a długością okresów międzyfazowych można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą prace zajmujące się znaczeniem temperatury w rozwoju roślin, do drugiej pozostałe – oprócz temperatury – uwzględniające inne elementy i czynniki meteorologiczne (Kołodziej 1977/78). We wszystkich tych opracowaniach poszukiwano związków między długością okresu rozwojowego rośliny a elementami charakteryzującymi warunki w tym okresie. Przebieg warunków pogodowych, a także daty wystąpienia faz fenologicznych z roku na rok się zmieniają. Jeżeli zatem interesuje nas prognoza daty wystąpienia określonej fazy fenologicznej i długości okresu międzyfazowego podczas bieżącego sezonu,

to znajomość wspomnianego wyżej związku między długością okresu a elementami meteorologicznymi obliczonymi za ten okres jest przydatna, jeżeli dysponujemy również dokładną średnio- i długoterminową prognozą meteorologiczną. W niniejszej pracy podjęto próbę znalezienia związków między długością okresu międzyfazowego a elementami meteorologicznymi charakteryzującymi tylko okresy poprzedzające rozpatrywany okres międzyfazowy, a zatem zbadanie, czy istnieje możliwość wyznaczania a priori dat występowania kolejnych faz fenologicznych.

Material i metoda

W pracy wykorzystano 20-letni materiał badawczy z okresu 1971–1990, pochodzący z dwóch stacji pomiarowych położonych w obrębie regionu klimatu bałtyckiego (A – wg klasyfikacji Rome-ra): Prusimia i Radostowa, oraz dwóch stacji znajdujących się w regionie klimatu Krainy Wielkich Dolin (C – wg klasyfikacji Romera): Kościelca i Sulejowa. W wybranych stacjach uprawy pszenicy ozimej i jęczmienia jarego prowadzone były na glebach o różnym stopniu żyzności. W przypadku pszenicy ozimej w Prusimiu i Kościelcu prowadzono je na glebach lekkich, w Sulejowie na glebach średniożyznych, a w Radostowie na glebach ciężkich. Jęczmień jary natomiast jest uprawiany na glebach średniożyznych w Prusimiu, Kościelcu i Sulejowie i na glebach ciężkich w Radostowie. Wykorzystane w opracowaniu dane dotyczą odmiany pszenicy ozimej „Ko-

da” i ogólnoużytkowej odmiany jęczmienia jarego „Aramir”.

W celu przebadania zależności między długością okresu międzyfazowego a elementami meteorologicznymi obliczonymi za ten okres posłużono się analizą regresji prostej, wyznaczając współczynniki korelacji tych związków (r). W drugim etapie określono związki między długością okresu międzyfazowego a elementami meteorologicznymi obliczonymi za okresy poprzedzające rozpatrywaną fazę fenologiczną. Rozpatrywano tylko następujące po sobie okresy oddzielające fazy rozwojowe roślin, to znaczy dla jęczmienia jarego był to cały okres rozwojowy od fazy siew do fazy dojrzałość woskowa, natomiast dla pszenicy ozimej był to okres od fazy wiosenne ruszenie wegetacji do fazy dojrzałość woskowa.

Jako zmienną zależną przyjęto długość okresu (L) obliczaną w dniach. Jako zmienne niezależne przyjęto takie elementy meteorologiczne, jak: średnią okresową temperaturę powietrza (t), temperaturę kumulatywną (t_k), czyli sumę różnic między temperaturą średnią dobową a temperaturą progową w każdej kolejnej fazie rozwojowej rośliny, średnią okresową temperaturę maksymalną ($t_{\max}$) i minimalną ($t_{\min}$) oraz sumę okresową opadu atmosferycznego (P). W drugim etapie analizy wprowadzono dodatkowo zmienną nazwaną oczekiwaną długością okresu międzyfazowego (L_o) obliczaną z następującej zależności:

$$L_o = \sum L_{\text{sr}} - \sum L_{(n)} - \sum L_{\text{sr}(n)}$$

gdzie:

$\sum L_{\text{sr}}$ – średnia długość całego rozpatrywanego okresu rozwojowego (dla jęcz-

mienia jarego jest to okres od siewu do dojrzałości woskowej, a dla pszenicy ozimej jest to okres od początku wiosennego ruszenia wegetacji do dojrzałości woskowej),

$\Sigma L_{(u)}$ – suma rzeczywistych, w danym roku, długości okresów międzyfazowych poprzedzających rozpatrywany okres,

$\Sigma L_{\text{sr}(n)}$ – suma średnich długości okresów międzyfazowych następujących po rozpatrywanym okresie międzyfazowym.

Wyniki

W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynników korelacji prostej między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej a elementami meteorologicznymi, obliczonymi za okres rozpatrywanej międzyfazy. Generalnie największe wartości współczynników uzyskano dla zmiennej temperatury średniej i temperatury maksymalnej. W przypadku okresu od siewu do wschodów duże wartości współczynników uzyskano dla wszystkich czterech rozpatrywanych stacji, w przypadku międzyfazy wiosenne ruszenie wegetacji – strzelanie w źdźbło jedynie dla Prusimia i Radostowa, czyli stacji położonych w obrębie klimatu bałtyckiego, a w przypadku okresu międzyfazą strzelanie w źdźbło a kłoszeniem dla stacji w Kościelcu i Sulejowie, leżących w obszarze klimatu Krainy Wielkich Dolin. Dla międzyfazy kłoszenie – dojrzałość woskowa współczynniki przyjmują mniejsze wartości.

W tabeli 2 zaprezentowano wartości współczynników korelacji prostej między długością okresów międzyfazowych

jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi obliczonymi za okres rozpatrywanej międzyfazy. Podobnie jak w przypadku pszenicy ozimej dla okresu od siewu do wschodów największe wartości współczynników uzyskano dla zmiennych temperatury średniej i temperatury maksymalnej. W przypadku okresu wschody – strzelanie w źdźbło największe wartości uzyskano dla temperatury, maksymalnej. Długość międzyfazy strzelanie w źdźbło – kłoszenie najlepiej skorelowana jest ze zmienną średniej temperatury, a długość okresu od kłoszenia do dojrzałości woskowej z temperaturą maksymalną.

W tabelach 3 i 4 przedstawiono równania regresji wielokrotnej między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej i jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi obliczonymi za okres międzyfaz uprzednich. Oprócz charakterystyk statystycznych opisujących uzyskane równania (współczynnik korelacji i determinacji oraz błąd równania) przedstawiono dodatkowo charakterystyki zmiennej zależnej – długości okresu międzyfazowego (średnia wieloletnia i odchylenie standardowe).

Spośród rozpatrywanych okresów międzyfazowych pszenicy ozimej tylko w przypadku stacji w Radostowie dla okresu strzelanie w źdźbło – kłoszenie uzyskano równanie nieistotne. W równaniach dla międzyfazy strzelanie w źdźbło – kłoszenie w przypadku stacji leżących na glebach lekkich Prusimia i Kościelca można stwierdzić pewne podobieństwo. W obu tych równaniach jako zmienne niezależne wprowadzone zostały temperatura maksymalna i temperatura kumu-

TABELA 1. Wartości współczynników korelacji (r) między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej a poszczególnymi elementami meteorologicznymi dla czterech rozpatrywanych stacji
TABLE 1. Values of correlation coefficient (r) between interphase periods duration of winter wheat and meteorological elements for four considered stations

Element meteorologiczny Meteorological elements	t [°C]	t_k [°C]	$t_{\max}$ [°C]	$t_{\min}$ [°C]	P [mm]
Faza siew – wschody Interphase period seeding – emergence					
Prusim	0,74	0,35	0,73	0,59	0,19
Radostowo	0,69	0,24	0,56	0,64	0,46
Kościelec	0,67	0,26	0,67	0,63	0,17
Sulejów	0,56	0,05	0,59	0,45	0,39
Faza wiosenne ruszenie wegetacji – strzelanie w źdźbło Interphase period start of vegetation – shooting					
Prusim	0,69	0,44	0,81	0,32	0,42
Radostowo	0,75	0,15	0,75	0,57	0,46
Kościelec	0,20	0,38	0,21	0,08	0,36
Sulejów	0,19	0,37	0,19	0,25	0,16
Faza strzelanie w źdźbło – kłoszenie Interphase period shooting – heading					
Prusim	0,59	0,64	0,54	0,64	0,17
Radostowo	0,61	0,29	0,51	0,55	0,41
Kościelec	0,68	0,14	0,65	0,66	0,51
Sulejów	0,67	0,57	0,64	0,62	0,43
Faza kłoszenie – dojrzałość woskowa Interphase period heading – wax maturity					
Prusim	0,44	0,45	0,38	0,04	0,30
Radostowo	0,42	0,18	0,48	0,02	0,45
Kościelec	0,40	0,44	0,37	0,31	0,08
Sulejów	0,57	0,44	0,57	0,39	0,52

Objaśnienie:

Explanation:

- t – średnia temperatura powietrza w okresie międzyfazowym w °C ,
– mean interphase period air temperature in °C ,
- t_k – temperatura kumulatywna w okresie międzyfazowym w °C ,
– cumulative interphase period temperatures in °C ,
- $t_{\max}$ – średnia maksymalna temperatura powietrza w °C ,
– mean maximum air temperature in °C ,
- $t_{\min}$ – średnia minimalna temperatura powietrza w °C ,
– mean minimum air temperature in °C ,
- P – suma opadu atmosferycznego w okresie międzyfazowym w mm ,
– interphase sum of precipitation in mm.

TABELA 2. Wartości współczynników korelacji (r) między długością okresów międzyfazowych jęczmienia jarego a poszczególnymi elementami meteorologicznymi dla czterech rozpatrywanych stacji
TABLE 2. Values of correlation coefficient (r) between interphase periods duration of spring barley and meteorological elements for four considered stations

Element meteorologiczny Meteorological elements	t [°C]	t_k [°C]	$t_{\max}$ [°C]	$t_{\min}$ [°C]	P [mm]
Faza siew – wschody Interphase period seeding – emergence					
Prusim	0,74	0,06	0,77	0,58	0,62
Radostowo	0,78	0,76	0,71	0,75	0,05
Kościelec	0,79	0,20	0,77	0,64	0,63
Sulejów	0,71	0,17	0,68	0,64	0,44
Faza wschody – strzelanie w źdźbło Interphase period emergence – shooting					
Prusim	0,42	0,17	0,50	0,21	0,35
Radostowo	0,67	0,12	0,71	0,62	0,42
Kościelec	0,54	0,42	0,55	0,53	0,13
Sulejów	0,72	0,12	0,72	0,54	0,63
Faza strzelanie w źdźbło – kłoszenie Interphase period shooting – heading					
Prusim	0,67	0,21	0,59	0,73	0,14
Radostowo	0,71	0,63	0,60	0,79	0,21
Kościelec	0,63	0,44	0,62	0,55	0,41
Sulejów	0,51	0,02	0,49	0,38	0,22
Faza kłoszenie – dojrzałość woskowa Interphase period heading – wax maturity					
Prusim	0,41	0,60	0,61	0,27	0,72
Radostowo	0,46	0,68	0,59	0,04	0,56
Kościelec	0,43	0,26	0,48	0,36	0,27
Sulejów	0,36	0,39	0,44	0,08	0,52

Objaśnienia jak w tabeli 1.

Explanation as in table 1.

TABELA 3. Związki między długością okresu międzyfazowego pszenicy ozimej a elementami meteorologicznymi w fazach uprzednich
TABLE 3. Relationships between winter wheat interphase periods and meteorological elements of anterior periods

Stacja Station	Równanie Equation	R	$R^2 \cdot 100\%$	F	SE	L
Faza strzelanie w źdźbło – kłoszenie Interphase period shooting – heading						
Prusim	$L = 50,4 + 8,24 \cdot RZ.t - 3,33 \cdot RZ.t_{\max} +$ $- 0,146 \cdot RZ.t_k - 0,529 \cdot Lo$	0,75	55,9	7,01 (1%)	4,2 (6,0)	26,5
Radostowo	$L = 20,8 - 0,94 \cdot SW.t_{\max} + 1,50 \cdot SW.t_{\min} +$ $+ 0,134 \cdot RZ.P$	0,26	6,7	1,33 (-)	5,0 (5,9)	24,9
Kościelec	$L = 22,1 - 0,161 \cdot SW.P + 3,69 \cdot RZ.t_{\max} +$ $- 0,179 \cdot RZ.t_k - 0,230 \cdot Lo$	0,49	24,1	2,50 (10%)	6,5 (7,2)	31,7
Sulejów	$L = 35,2 + 0,59 \cdot SW.t_{\min} + 0,143 \cdot SW.P +$ $- 0,099 \cdot RZ.t_k + 0,204 \cdot Lo$	0,62	39,0	4,04 (2%)	4,9 (6,2)	28,2
Faza kłoszenie – dojrzałość woskowa Interphase period heading – wax maturity						
Prusim	$L = 32,0 + 1,69 \cdot SW.t_{\max} + 6,40 \cdot RZ.t +$ $- 5,44 \cdot RZ.t_{\min} - 0,058 \cdot ZK.P - 0,343 Lo$	0,72	52,1	5,13 (1%)	3,7 (5,1)	49,9
Radostowo	$L = 78,4 - 0,086 \cdot RZ.t_k + 2,30 \cdot RZ.t_{\min} +$ $- 0,066 \cdot ZK.t_k - 0,117 \cdot Lo$	0,66	44,2	3,77 (5%)	3,9 (5,6)	49,6
Kościelec	$L = 68,1 + 8,89 \cdot RZ.t - 0,286 \cdot RZ.t_k - 1,74 \cdot$ $\cdot ZK.t_{\max} + 3,24 \cdot ZK.t_{\min} - 0,310 \cdot Lo$	0,74	55,0	5,63 (1%)	3,7 (6,1)	48,4
Sulejów	$L = 44,4 - 0,65 \cdot SW.t_{\min} + 0,064 \cdot SW.t_k +$ $- 0,294 \cdot SW.P + 0,112 \cdot ZK.P$	0,63	39,4	4,08 (2%)	5,9 (7,5)	47,9

Objaśnienia/ Explanation:

Lo – długość oczekiwana okresu międzyfazowego w dniach,

– expected interphase period duration in days,

pozostałe zmienne jak w tabeli 1 i 2, other variables as in table 1 and 2,

R – współczynnik korelacji wielokrotnej (adjustowany ze względu na liczbę stopni swobody),

– multiple correlation coefficient (adjusted for degrees of freedom),

F – empiryczna wartość testu F istotność równania regresji (oraz poziom istotności),

– empirical value of test F (with significant level),

SE – błąd standardowy równania (wraz z odchyleniem standardowe od średniej wieloletniej długości okresu międzyfazowego),

– standard error of estimation (and standard deviation of average of interphase period duration),

L – średnia długość okresu międzyfazowego,

– average of interphase period duration.

Oznaczenia okresów międzyfazowych (przed symbolem zmiennej):

Interphase period durations:

SW – siew – wschody,

– seeding – emergence,

RZ – wiosenne ruszenie wegetacji – strzelanie w źdźbło,

– start of vegetation – shooting,

ZK – strzelanie w źdźbło – kłoszenie,

– shooting – heading,

KD – kłoszenie – dojrzałość woskowa.

– heading – wax maturity.

TABELA 4. Związki między długością okresu międzyfazowego jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi w fazach uprzednich
 TABLE 4. Relationships between spring barley interphase periods and meteorological elements of anterior periods

Stacja Station	Równanie Equation	R	R ² · 100%	F	SE	L
Faza wschody – strzelanie w źdźbło Interphase emergence -- shooting						
Kościelec	$L = 17,1 + 1,36 \cdot SW.t_{max}$	0,36	12,8	3,79 (10%)	5,0 (7,9)	32,0
Sulejów	$L = 39,5 + 13,47 \cdot SW.t - 6,87 \cdot SW.t_{max} +$ $- 7,45 \cdot SW.t_{min}$	0,34	11,5	1,82 (-)	5,7 (7,2)	31,8
Faza strzelanie w źdźbło – kłoszenie Interphase period shooting – heading						
Prusim	$L = 52,0 + 0,76 \cdot SW.t - 0,024 \cdot WZ.t_k +$ $- 0,329 \cdot Lo$	0,63	39,5	5,14 (2%)	2,4 (4,7)	19,1
Radostowo	$L = 32,0 - 0,55 \cdot SW.t_{min} - 0,031 \cdot WZ.t_k$	0,54	29,6	3,73 (10%)	3,4 (4,1)	21,1
Kościelec	$L = -0,2 + 2,70 \cdot WZ.t_{min} - 0,103 \cdot WZ.t_k +$ $+ 0,421 \cdot Lo$	0,67	45,1	6,20 (1%)	2,8 (4,3)	22,2
Sulejów	$L = 41,4 - 0,081 \cdot SW.t_k - 1,00 \cdot WZ.t$	0,39	15,5	2,73 (10%)	4,4 (5,1)	22,5
Faza kłoszenie – dojrzałość woskowa Interphase period heading – wax maturity						
Prusim	$L = 41,2 + 1,75 \cdot SW.t_{min} - 1,63 \cdot WZ.t + 1,24 \cdot$ $\cdot ZK.t_{min}$	0,55	30,5	3,78 (5%)	5,5 (5,5)	38,9
Radostowo	$L = 50,5 - 2,28 \cdot WZ.t_{min} - 0,210 \cdot WZ.P +$ $+ 1,34 \cdot ZK.t_{min}$	0,47	22,0	2,22 (-)	6,9 (7,7)	40,2
Kościelec	$L = 0,0 + 4,13 \cdot SW.t - 3,39 \cdot SW.t_{min} +$ $+ 0,113 \cdot SW.t_k + 0,91 \cdot ZK.t_{min}$	0,69	46,9	5,20 (1%)	3,8 (5,4)	38,9
Sulejów	$L = -36,4 - 25,4 \cdot SW.t + 15,0 \cdot SW.t_{max} +$ $+ 10,0 \cdot SW.t_{min} + 0,153 \cdot SW.t_k + 1,02 \cdot ZK.t_{max}$	0,67	44,9	4,09 (2%)	5,0 (6,8)	37,5

Oznaczenia okresów międzyfazowych (przed symbolem zmiennej):
 Interphase period durations:
 WZ – wschody – strzelanie w źdźbło,
 – emergence – shooting,
 pozostałe objaśnienia jak w tabeli 3.
 other explanation as in table 3.

latywna z okresu wiosenne ruszenie wegetacji – strzelanie w źdźbło oraz oczekiwana długość międzyfazy ($RZ.t_{\max}$, $RZ.t_k$ i Lo). W pozostałych przypadkach nie zauważa się wyraźnego podobieństwa równań.

Spośród rozpatrywanych okresów międzyfazowych jęczmienia jarego w przypadku stacji w Sulejowie, w równaniu dla okresu wschody – strzelanie w źdźbło oraz dla stacji w Radostowie dla okresu kłoszenie – dojrzałość woskowa nie uzyskano równań istotnych.

Analizując uzyskane równania dla obu rozpatrywanych roślin, widać, że modele obliczone dla pszenicy ozimej osiągają lepsze charakterystyki statystyczne (korelacja i istotność) niż modele dla jęczmienia jarego. Porównując błąd standardowy równania regresji wielokrotnej (SE) z odchyleniem standardowym (σ) od średniej wieloletniej długości okresu międzyfazowego, zauważyć można, że oba parametry są do siebie zbliżone, chociaż błąd równania zawsze przyjmuje wartości mniejsze.

Podsumowanie

1. Określenie długości okresów międzyfazowych na podstawie elementów meteorologicznych obliczonych za okres poprzedzający rozpatrywaną międzyfazę jest możliwe.
2. Na podstawie porównania błędu równania i odchylenia standardowego od średniej wieloletniej długości okresu międzyfazowego można stwierdzić, że określenie długości międzyfazy za pomocą równań regresji, w których

zmiennymi niezależnymi są elementy meteorologiczne charakteryzujące okresy uprzednie, jest nieco bardziej precyzyjne niż określenie tej długości za pomocą takich parametrów, jak średnia wieloletnia i odchylenie standardowe.

3. Na podstawie porównania charakterystyk statystycznych równań uzyskanych dla rozpatrywanych stacji można zauważyć, że związki między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej a elementami meteorologicznymi charakteryzującymi uprzednie międzyfazy są silniejsze od związków uzyskanych dla jęczmienia jarego.

Literatura

- GALANT H. 1983: Wpływ elementów meteorologicznych na czas trwania międzyfaz pszenicy ozimej. *Roczn. Nauk Roln.*, seria A 105(4), 9–12.
- KOŁODZIEJ J. 1977/78: Sumy temperatur a średnie międzyfazowe temperatury powietrza w zastosowaniu do badań nad fenologią zbóż. *Ann. UMCS Lubl. Sec. E – Agric.* 32/33, 294–305.
- KOŁODZIEJ J. 1977/78: Wpływ warunków meteorologicznych na przebieg fenofaz jęczmienia jarego. *Ann. UMCS Lubl. Sec. E – Agric.* 32/33, 307–322.
- LISTOWSKI A. 1983: Agrokologiczne podstawy uprawy roślin. PWN, Warszawa.
- RADOMSKI Cz. 1987: Agrometeorologia. PWN, Warszawa.
- ROZBICKI T. 1977: Wpływ warunków meteorologicznych na rozwój i plonowanie wybranych roślin uprawnych w różnych warunkach glebowych. Praca doktorska. SGGW, Warszawa.
- ROZBICKI T. 1999: Związek między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej i jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi. *Fol. Univ. Agric. Stetin. 202 Agricultura* (79), 189–194.

Summary

Knowledge concerning correct prediction of phenological interphase periods durations is very useful in the agriculture. Unlike many papers present relations between interphase period durations and meteorological elements of considered period this paper aimed at finding out relationship between interphase period duration of winter wheat and spring barley and meteorological elements of anterior periods. Stepwise variable selection

with multiple regression were used in the analysis.

Author's address:

T. Rozbicki
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Struktura bilansu promieniowania na Płaskowyżu Proszowickim

The structure of the radiation balance at the Płaskowyż Proszowicki

Cel badań

Celem badań było określenie dobowych przebiegów składników bilansu promieniowania w różnych warunkach pogodowych w południowej części Polski (Wyżyna Śląsko-Krakowska [341] i Wyżyna Małopolska [342]). Badania były prowadzone w okresie od początku marca do końca czerwca 1998 roku (Olechnowicz-Bobrowska i Wojkowski 1998).

Miejsce pomiarów aktywności

Pomiary składników bilansu promieniowania przeprowadzono na stacji meteorologicznej należącej do Katedry Meteorologii i Klimatologii Akademii Rolniczej w Krakowie. Stacja ta zlokalizowana jest około 10 km na północ od Krakowa w miejscowości Garlica Murowana (rys. 1). W ramach podziału Polski na regiony fizyczno-geograficzne

(Kondracki 1998) jest to granica Wyżyny Olkuskiej [341.32] i Płaskowyżu Proszowickiego [342.23].

Współrzędne geograficzne stacji:

- wysokość nad poziomem morza $H_s = 270$ m,
- szerokość geograficzna $\varphi = 50^{\circ}09'N$,
- długość geograficzna $\lambda = 19^{\circ}56'E$.



RYSUNEK 1. Lokalizacja stacji meteorologicznej w Garlicy
FIGURE 1. Location of the meteorological station in Garlica

Metoda pomiarowa

Bilans promieniowania składa się z części krótkofalowej, której źródłem jest Słońce, i z części długofalowej, na którą przypada promieniowanie powierzchni Ziemi i atmosfery:

$$Q^* = (Q_K \downarrow + Q_K \leftarrow) + (Q_L \downarrow + Q_L \uparrow) \\ Q^* = Q_K + Q_L$$

gdzie:

Q^* – saldo promieniowania w pełnym zakresie widma,

Q_K – saldo promieniowania krótkofalowego (promieniowanie słoneczne pochłonięte),

Q_L – saldo promieniowania długofalowego (wypromieniowanie efektywne),

$Q_K \downarrow$ – promieniowanie słoneczne całkowite (bezpośrednie i rozproszone),

$Q_K \uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni czynnej,

$Q_L \downarrow$ – promieniowanie zwrotne atmosfery,

$Q_L \uparrow$ – promieniowanie długofalowe od powierzchni czynnej.

Przyjęto umownie, że wszystkie strumienie promieniowania dochodzące do powierzchni czynnej mają wartość dodatnią, wszystkie zaś strumienie uchodzące od powierzchni czynnej – wartość ujemną. Wartości wymienionych składników promieniowania wyznaczono na podstawie bezpośrednich pomiarów w terenie. W tym celu posłużono się pyradiometrem ($Q \downarrow$, $Q \uparrow$), produkcji: THEODOR FRIEDRICH & CO i pyranometrem Janiszewskiego ($Q_K \downarrow$, $Q_K \uparrow$) produkcji: ZSRR. Za pomocą mikroprocesorowego rejestratora cyfrowego zachowywano w pamięci napięciowe sygnały

wolnozmiennie pochodzące z termostosów oraz z termometru oporowego PT-100.

Przyrządy (radiometry) zainstalowano w ogródku meteorologicznym i umieszczono na wysokości 150 cm od powierzchni gruntu. Powierzchnia gruntu pod czujnikami w okresie wegetacyjnym pokryta była roślinnością trawiastą, sukcesywnie koszoną do wysokości około 10 cm. Pomiary aktynometryczne wykonywano w średnim czasie słonecznym (miejscowym) miejsca obserwacji.

Saldo promieniowania w pełnym zakresie widma (Q^*) wyznaczono za pomocą pyradiometru jako różnicę radiacji dochodzącej do powierzchni czynnej $Q \downarrow = Q_K \downarrow + Q_L \downarrow$ i uchodzącej od powierzchni ku górze $Q \uparrow = Q_K \uparrow + Q_L \uparrow$:

$$Q^* = Q \downarrow - Q \uparrow = (Q_K \downarrow + Q_L \downarrow) + - (Q_K \uparrow + Q_L \uparrow)$$

gdzie:

$Q \downarrow$ – promieniowanie dochodzące w pełnym zakresie widma,

$Q \uparrow$ – promieniowanie uchodzące w pełnym zakresie widma.

Za pomocą pyranometru (albedomierza) Janiszewskiego wyznaczono saldo promieniowania krótkofalowego (Q_K) jako różnicę między zmierzonym promieniowaniem słonecznym całkowitym ($Q_K \downarrow$) i promieniowaniem słonecznym odbitym ($Q_K \uparrow$):

$$Q_K = Q_K \downarrow - Q_K \uparrow$$

Saldo promieniowania długofalowego (Q_L) obliczono jako różnicę salda promieniowania w pełnym zakresie widma (Q^*) i promieniowania krótkofalowego (Q_K):

$$Q_L = Q^* - Q_K$$

Podobnie, jako różnicę między dochodzącym lub uchodzącym strumieniem promieniowania w pełnym zakresie widmowym a odpowiednimi strumieniami promieniowania krótkofalowego, obliczono dochodzące i uchodzące promieniowanie długofalowe:

$$Q_L \downarrow = (Q_K \uparrow + Q_L \uparrow) - Q_K \downarrow$$

$$Q_L \uparrow = (Q_K \uparrow + Q_L \uparrow) - Q_K \uparrow$$

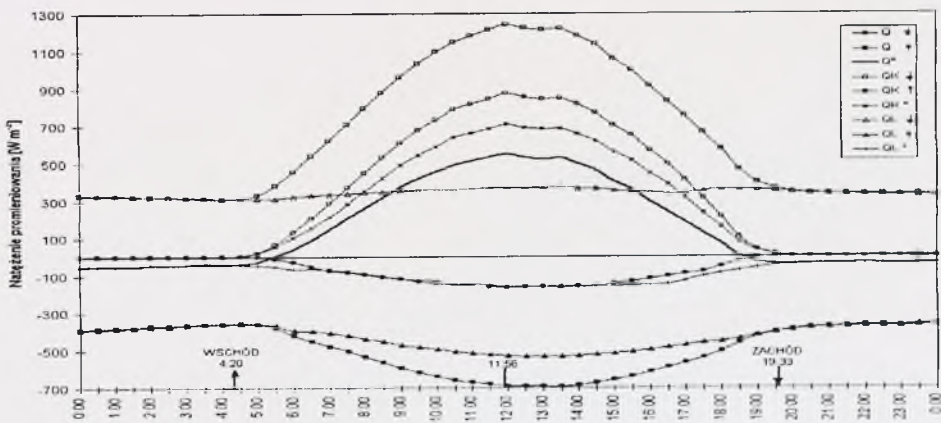
Wyniki pomiarów

Struktura bilansu promieniowania kształtuje się odmiennie w różnych typach pogody, a intensywność poszczególnych składników bilansu uzależniona jest głównie od zachmurzenia, mgieł i wilgotności powietrza.

Promieniowanie w warunkach bezchmurnej atmosfery. Największa zanotowana wartość całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię ho-

ryzontalną wynosiła $1014 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Daje to 74% wartości stałej słonecznej, która według najnowszych ustaleń wynosi $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Paszyński i in. 1999). Maksima dobowe występowały na ogół w godzinach południowych, co było uwarunkowane przede wszystkim wysokością Słońca nad horyzontem Ziemi. Typowy przebieg składników bilansu promieniowania w warunkach bezchmurnej atmosfery przedstawia rysunek 2.

W dniu 11 maja 1998 roku zachmurzenie nieba nad Płaskowyżem Proszowickim wynosiło 0 stopni. Obszar znajdował się wówczas w masie powietrza PPK w typie sytuacji synoptycznej 4 (SE_a – sytuacja wyżowa z adwekcją powietrza z południowego wschodu) (Niedźwiedź 1981). Adwekcja tego powietrza uformowała pogodę słoneczną, suchą i gorącą. Maksymalną wartość strumienia Q^* zanotowano w południe i wynosiła ona $550 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Minimum ($-54 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) strumień Q^* osiągnął o północy z 10 na 11



RYSUNEK 2. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania w Garlicy w dniu 11 maja 1998 roku

FIGURE 2. Daily variation of the radiation balance components on 11 May 1998 at Garlica

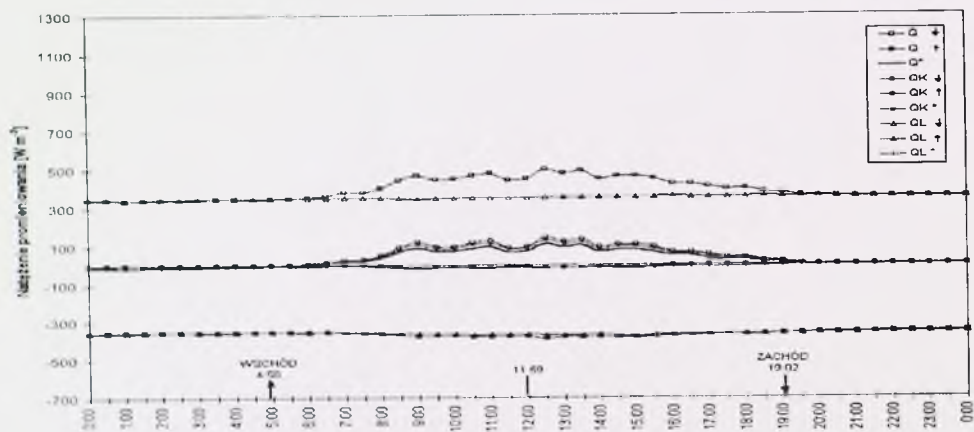
maja. Całkowite promieniowanie słoneczne ($Q_K \downarrow$) osiągnęło tego dnia wartość $873 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (64% wartości stałej słonecznej), strumień zaś promieniowania długofalowego uchodzącego ($Q_L \uparrow$) wartość $-530 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Przebieg strumienia promieniowania słonecznego odbitego ($Q_K \uparrow$) przez cały niemal dzień był równy i zbliżony z przebiegiem promieniowania długofalowego pochłoniętego (Q_L). Najmniejszą zmiennością w ciągu doby cechował się strumień promieniowania zwrotnego atmosfery ($Q_L \downarrow$), wynosząc średnio $343 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Promieniowanie w warunkach pochmurnej atmosfery. Jako przykład typowego przebiegu dobowego składników bilansu promieniowania w warunkach pochmurnej atmosfery mogą posłużyć wyniki pomiarów z dnia 21 kwietnia 1998 roku (rys. 3).

Zachmurzenie w tym dniu wynosiło 10 stopni. Obszar znajdował się w masie powietrza PPms w typie sytuacji synop-

tycznej 12 (NE_c – sytuacja niżowa z adwekcją powietrza z północnego wschodu). Powietrze w tej masie cechowało się znaczną wilgotnością. Adwekcja tego powietrza przyniosła bardzo duży wzrost zachmurzenia oraz wystąpienie opadów.

Strumień Q^* nie zaznaczył wyraźnej wartości maksymalnej. W godzinach południowych jego wartość wynosiła średnio $90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ natomiast nocą była równa $-5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Całkowite promieniowanie słoneczne ($Q_K \downarrow$) osiągnęło zaledwie wartość $145 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (11% wartości stałej słonecznej). W porównaniu do dnia pogodnego, promieniowanie uchodzące ($Q_L \uparrow$) cechowało się bardzo małą zmiennością w ciągu doby i wynosiło średnio $-362 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Jeszcze mniejszą zmiennością dobową cechował się strumień $Q_L \downarrow$ wynoszący średnio $-352 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Również i w tym przypadku strumień promieniowania słonecznego odbitego ($Q_K \uparrow$) przez cały niemal dzień był w przybliżeniu równy strumieniowi promieniowania pochłoniętego (Q_L).



RYСУNEK 3. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania w Garlicy w dniu 21 kwietnia 1998 roku

FIGURE 3. Daily variation of the radiation balance components on 21 April 1998 at Garlica

Wnioski końcowe

W strukturze bilansu promieniowania powierzchni Ziemi podstawowe znaczenie miała wielkość promieniowania całkowitego ($Q_K\downarrow$), czyli suma promieniowania słonecznego, na którą składało się promieniowanie bezpośrednie oraz promieniowanie rozproszone. Maksymalne wartości strumienia promieniowania całkowitego notowane były w miesiącu maju.

Zmiana znaku wartości strumienia Q^* nie pokrywała się z terminem wschodu i zachodu Słońca. Rano zmiana wartości ujemnych Q^* na dodatnie była opóźniona w stosunku do wschodu Słońca, wieczorem zaś zmiana ta poprzedzała zachód Słońca.

We wszystkich zarejestrowanych typach pogody strumienie promieniowania krótkofalowego $Q_K\downarrow$ i $Q_K\uparrow$, w porównaniu do strumieni długofalowych $Q_L\downarrow$ i $Q_L\uparrow$, charakteryzowały się stosunkowo dużą zmiennością dobową.

Bardzo duży wpływ na bilans radiacyjny ma adwekcja mas powietrza różnego pochodzenia. Największe jego wartości oraz amplitudy dobowe rejestrowano podczas napływu powietrza PPK i PA, najmniejsze zaś podczas napływu powietrza PPM.

Literatura

- KONDRACKI J. 1998: Geografia regionalna Polski. Instytut Wydawniczy PWN, Warszawa.
- NIEDŹWIEDŹ T. 1981: Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły. Rozprawa habilitacyjna nr 58. Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
- OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B., WOJKOWSKI J. 1998: Struktura bilansu promieniowania w południowej części Polski. Maszynopis, Kraków.
- PASZYŃSKI J., SKOCZEK J., MIARA K. 1999: Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. *Dokumentacja Geograficzna* 14.

Summary

The aim of the studies was to mark daily variation of the radiation balance components in various weather conditions in the south of Poland.

The structure of the radiation balance components is formed differently in various weather types and the intensity of the individual radiation components depends mainly on the cloudiness, fog and the air humidity.

The value of the total radiation $Q_K\downarrow$, which is the sum of the solar radiation consisting of the direct radiation and the distracted one, was of the main importance to the radiation balance.

In all observed weather types, short wave radiation fluxes $Q_K\downarrow$ and $Q_K\uparrow$ were characterised by considerable daily variability in comparison to long wave fluxes $Q_L\downarrow$ and $Q_L\uparrow$.

Authors' address:

B. Olechnowicz-Bobrowska, J. Wojkowski
Cracow Agricultural University – AR
Department of Meteorology and Climatology
al. Mickiewicza 24/28
31-059 Cracow
Poland
e-mail: meteco@ar.krakow.pl
nmwojkow@cyf-kr.edu.pl

**Bogdan H. CHOJNICKI, Andrzej KĘDZIORA, Janusz OLEJNIK,
Jacek LEŚNY**

Katedra Agrometeorologii Akademii Rolniczej w Poznaniu
Agrometeorological Department Agricultural University of Poznań

Obliczenia ciepła wodnego w małym zbiorniku wodnym w krajobrazie rolniczym na podstawie pomiarów promieniowania

Heat water flux assessment in small water bodies located in agricultural landscape using radiation measurements

Wstęp

Zagadnienie znaczenia małych zbiorników wodnych w krajobrazie zajmuje sporo miejsca w literaturze. Zbiorniczki wodne w krajobrazie rolniczym pełnią wielorakie funkcje, np. działają stabilizując na bilans wodny terenów przyległych, poprawiając zdolności retencyjne zlewni (Kosturkiewicz i in. 1996, Ryszkowski i Kędziora 1996), stanowią swego rodzaju filtry wody gruntowej (Żytyńska-Bałoniak i in. 1990) oraz podnoszą znacząco bioróżnorodność w krajobrazie (Arczyńska-Chudy i in. 1996). Ich znaczenie w krajobrazie jest na tyle duże, iż pokuszono się o próby klasyfikacji zbiorników oraz ocenę ich zagrożeń (Ilnicki 1996, Juszczak 2000).

Jednym z kluczowych zagadnień pozwalających na rozpoznanie roli małych zbiorników wodnych jest ocena ich stosunków energetycznych ujęta w formie

bilansu cieplnego, którego postać można opisać równaniem (Eagelson 1978, Oke 1978):

$$R_n + Le + S + W + G + GA + PE = 0$$

gdzie:

R_n – saldo promieniowania [$W \cdot m^{-2}$],

LE – gęstość strumienia ciepła związane-
go ze zmianą stanu skupienia wody (pa-
rowanie, kondensacja) [$W \cdot m^{-2}$],

S – gęstość strumienia ciepła wymienia-
nego z atmosferą (ogrzewanie, ochładza-
nie powietrza) [$W \cdot m^{-2}$],

W – gęstość strumienia ciepła pochłonię-
tego przez toń wodną (ciepło wodne)
[$W \cdot m^{-2}$],

G – gęstość strumienia ciepła wymienia-
nego między wodą a dnem zbiornika
[$W \cdot m^{-2}$],

GA – gęstość strumienia ciepła związane-
go z wodami cieków zasilającymi lub
opuszczającymi zbiornik [$W \cdot m^{-2}$],

PE – gęstość strumienia ciepła przyniesionego wraz z opadem [$W \cdot m^{-2}$].

W tym artykule skupiono się na strumieniu ciepła wodnego (W) związanego ze stanem termicznym wody (ogrzewanie lub chłodzenie toni wodnej), którego znaczenie w przypadku badań krótkoterminowych, np. 1-godzinowych czy 1-dniowych, mocno rośnie (Burba i in. 1999).

Zmiany temperatury wody są wywołane dwoma mechanizmami: transportem ciepła oraz przenikaniem promieniowania krótkofalowego w głąb toni wodnej (Jurak 1996).

Proces transportu ciepła w zbiorniku spowodowany może być przez dynamiczne mieszanie wody, będące wynikiem działania wiatru, oraz mieszanie, wynikające z nagrzewania się dna zbiornika i wypływania cieplejszych mas wody na powierzchnię.

Przeciętny zbiorniczek wodny w krajobrazie rolniczym znajduje się często w zagłębieniu terenowym (Juszczak 2000). Ta sytuacja powoduje, że proces mieszania dynamicznego ma mały wpływ na kształtowanie się strumienia ciepła wodnego. W wodach zbiorników śródpolnych częstokroć występują zawiesiny uniemożliwiające rozwinięcie się konwekcyjnego mieszania wody.

Opierając się na tych faktach, postawiono roboczą hipotezę, że wielkość strumienia ciepła wodnego będzie zależeć głównie od procesu przenikania promieniowania w głąb wody, czyli takich elementów bilansu promieniowania zbiornika wodnego, jak wielkość strumienia promieniowania całkowitego dochodzącego do zbiornika czy saldo promieniowania.

Bilans promieniowania każdej powierzchni naturalnej, także zbiornika wodnego, można opisać za pomocą następującego równania (Rosenberg i in. 1983, Kędziora 1999):

$$R_n = R_{s\downarrow} + R_{s\uparrow} + R_{l\downarrow} + R_{l\uparrow} \quad (2)$$

gdzie:

$R_{s\downarrow}$ – gęstość strumienia promieniowania krótkofalowego dochodzącego do tej powierzchni (promieniowanie całkowite) [$W \cdot m^{-2}$],

$R_{l\downarrow}$ – gęstość strumienia promieniowania długofalowego dochodzącego do tej powierzchni (promieniowanie zwrotne atmosfery) [$W \cdot m^{-2}$],

$R_{s\uparrow}$ – gęstość strumienia promieniowania krótkofalowego odbitego od tej powierzchni [$W \cdot m^{-2}$],

$R_{l\uparrow}$ – gęstość strumienia promieniowania długofalowego wypromieniowanego przez tą powierzchnię [$W \cdot m^{-2}$],

R_n – saldo promieniowania [$W \cdot m^{-2}$].

Podczas obliczeń salda promieniowania zbiornika wodnego przyjęto zasadę, że strumienie dochodzące do zbiornika mają wartość dodatnią, a płynące od zbiornika – ujemną.

Celem tej pracy było uzyskanie prostych metod pozwalających na ocenę wielkości ciepła wodnego w małym zbiorniczku na podstawie pomiarów promieniowania nad powierzchnią wody.

Materiały i zastosowane metody

Pomiary zostały wykonane we wsi Szoldry na stawach hodowlanych należących do Kombinatu Rolniczego w Marniechach. Miejsowość ta znajduje się

ok. 30 km na południe od Poznania w gminie Brodnica. Staw, na którym dokonano obserwacji, miał powierzchnię 2,2 ha, a jego średnia głębokość wynosiła 1,0 m. Pomiary zostały wykonane w okresie od 24 lipca do 11 sierpnia 1998 roku.

W dno zbiornika wbito maszt, na którym (na głębokościach: 6, 9, 20, 30, 39, 49, 60, 69, 80, 92 centymetrów) zostały zainstalowane czujniki temperatury. Do pomiarów temperatury wody w profilu użyto termometrów półprzewodnikowych o małych wymiarach i stosunkowo dużej czułości ($\pm 0,1$ K), produkowanych przez poznańską firmę KEST elektronik.

Do pomiaru bilansu promieniowania zbiornika wodnego użyto, umieszczonego 75 cm nad powierzchnią wody, przyrządu CNR1, firmy Kipp&Zonnen. Instrument ten składa się z dwóch pyranometrów, pozwalających na ocenę promieniowania całkowitego ($R_s\downarrow$) i promieniowania krótkofalowego odbitego od powierzchni wody ($R_s\uparrow$) oraz pary pyrgeometrów, pozwalających na ocenę zarówno strumień promieniowania docierającego ($R_l\downarrow$), jak i wypromieniowanego w zakresie długofalowym ($R_l\uparrow$).

Zarówno termometry, jak i bilansomierz zostały podłączone do automatycznego systemu pomiarowego (Olejnik i in. 1994), który cyklicznie, co godzinę, wykonywał 20-minutowe serie pomiarów, podczas których pojedyncze pomiary na każdym czujniku były wykonywane co 30 sekund. Po każdej serii system przysyłał zebrane wyniki pomiarów do pamięci komputera.

Na podstawie zebranych danych wyliczono średnie godzinowe wartości:

- temperatury wody w poszczególnych punktach profilu (T_w),
- gęstości strumienia promieniowania całkowitego ($R_s\downarrow$),
- saldo promieniowania zbiornika (R_n).

Wartości gęstości strumienia promieniowania krótkofalowego dochodzącego do zbiorniczka zostały pomierzone za pomocą pyranometru, a wielkości salda promieniowania zostały obliczone z równania (2) na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą CNR1.

W celu oszacowania wielkości strumienia ciepła wodnego wykorzystano ocenę zmian zawartości ciepła w słupie wody, które objawiają się zmianami temperatury wody w profilu. Średnie godzinowe wartości temperatury wody w profilu użyto do wyliczenia gęstości strumienia ciepła wodnego za pomocą równania:

$$W = C_w \cdot H_w \cdot \int_0^{H_w} \frac{\delta T_w}{\delta T} dh \quad (3)$$

gdzie:

W – gęstość strumienia ciepła wodnego [$W \cdot m^{-2}$],

C_w – ciepło właściwe wody [$4186 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

H_w – miąższość słupa wody [mm],

T_w – funkcja opisująca zależność temperatury wody od głębokości [K],

t – czas [s],

h – głębokość liczona od powierzchni [m].

Zbiór godzinowych wartości: W , $R_s\downarrow$ oraz R_n , podzielony został na dwie części:

- od 24 lipca do 2 sierpnia,
- od 3 do 11 sierpnia.

Na podstawie danych z pierwszej części zostały wyliczone funkcje opisujące zależności. Druga część danych została wykorzystana do oceny dokładności opracowanych równań. Pomierzone wartości ciepła wodnego porównano z wielkościami obliczonymi. Do tego celu wykorzystano takie charakterystyki, jak:

- współczynnik standaryzacji (R^2),
- średni moduł bezwzględnego błędu oceny (AAE)

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i| \quad (4)$$

gdzie: E – wartość obliczona; O – wartość zmierzona; n – liczba analizowanych par ($i = 1, 2, \dots, n$).

Wyniki

Za pomocą regresji liniowej obliczono współczynniki funkcji opisującej zależność W od R_s i uzyskano w ten sposób następujące równanie (rys. 1):

$$W = 0,7247 \cdot R_s \downarrow + 154,0 \quad (R^2 = 0,77) \quad (5)$$

Współczynnik standaryzacji jest stosunkowo duży, co wskazuje na mocną zależność strumienia ciepła wodnego od intensywności promieniowania całkowitego.

Porównanie wartości obliczonych za pomocy równania (5) z wartościami zmierzonymi w drugim zbiorze danych, nie stanowiącym bazy do obliczeń równania (5) pozwoliło na określenie średniego modułu bezwzględnego błędu oceny. Wynosi on $74 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Można powiedzieć, iż stosując równanie (5) do oceny

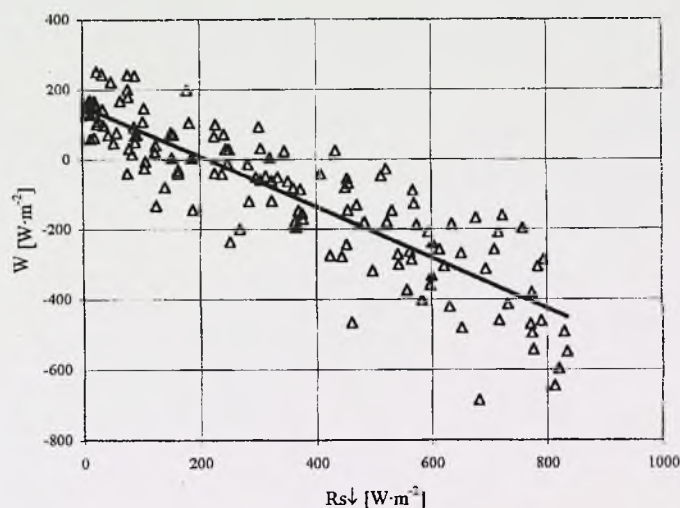
wielkości strumienia ciepła wodnego w zbiorniku, średni błąd szacowania będzie stosunkowo duży.

Przyczyn tego stanu można doszukiwać się w faktach, iż pomiary promieniowania wykonane w początkowych 20 minutach każdej godziny traktowane były jako reprezentatywne dla całej godziny. W niektórych przypadkach (zmienne zachmurzenie) taka metodyka mogła doprowadzić do błędów w ocenie wielkości strumieni promieniowania. Kolejnym elementem mogącym wprowadzić pewne zakłócenia podczas pomiaru jest założenie braku poziomego ruchu mas wody. W małych zbiornikach, o stosunkowo nieskomplikowanej strukturze termicznej, to założenie w dużej mierze jest zgodne z rzeczywistością, ale drobne ruchy poziome, wynikające np. z aktywności zwierząt wodnych, mogły także wprowadzić pewne zakłócenia podczas badań. W swojej publikacji Burba i inni (1999) wskazują także na możliwość wystąpienia zakłóceń podczas pomiarów ciepła wodnego, wynikających z aktywności zwierząt wodnych.

Drugim elementem bilansu promieniowania zbiornika wodnego, który mógł być związany ze strumieniem ciepła wodnego, było saldo promieniowania zbiornika.

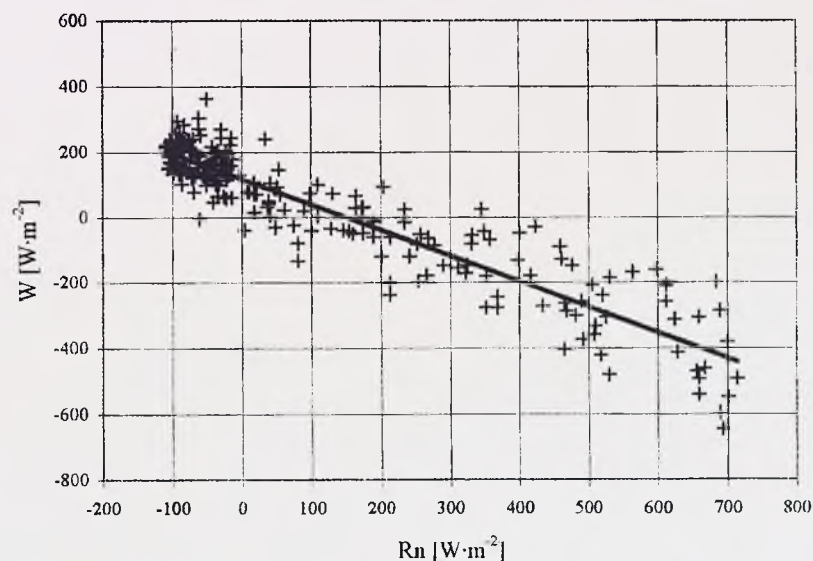
W tym przypadku także wykorzystano regresję liniową do określenia postaci funkcji opisującej zależność wartości ciepła wodnego od zmierzonego salda promieniowania wody. Uzyskane równanie liniowe przybrało postać (rys. 2):

$$W = -0,7836 \cdot Rn + 117,8 \quad (R^2 = 0,86) \quad (6)$$



RYSUNEK 1. Zależność godzinowych gęstości strumienia ciepła wodnego (W) od gęstości strumienia promieniowania całkowitego ($Rs\downarrow$) obliczona dla zbiornika wodnego w Szoldrach w dniach od 24.07 do 02.08.1998 roku

FIGURE 1. Relationship between water heat flux density (W) and global radiation heat flux density ($Rs\downarrow$) calculated for water pond located in Szoldry for the period from July 24th through August 2nd 1998



RYSUNEK 2. Zależność godzinowych gęstości strumienia ciepła wodnego (W) od salda promieniowania (Rn) obliczona dla zbiornika wodnego w Szoldrach w dniach od 24.07 do 02.08.1998 roku

FIGURE 2. Relationship between water heat flux density (W) and net radiation (Rn) calculated for water pond located in Szoldry for the period from July 24th through August 2nd 1998

Zwraca tutaj uwagę większy niż poprzednio współczynnik standaryzacji, wynoszący 0,86. Ten fakt zapewne wynika z tego, iż saldo promieniowania zbiornika lepiej opisuje stan cieplny wody poprzez uwzględnienie temperatury jej powierzchni w obliczaniu salda promieniowania.

Średnia wartość modułu bezwzględnego błędu oszacowania wynosi $63 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Ta wartość jest mniejsza niż w przypadku równania (5).

Oba opracowane równania pozwalają na łatwe obliczenie strumienia ciepła wodnego w zbiorniku na podstawie obserwacji promieniowania. Dokładności oceny strumienia ciepła wodnego są porównywalne w obu metodach. Zaletą równania (5) jest możliwość wykorzystania pomiarów pyranometrycznych, które są łatwiej dostępne. Wadą tego równania jest niemożność zastosowania go nocą, kiedy strumień promieniowania całkowitego jest zerowy. Dokładnie odwrotnie można opisać zalety i wady równania (6), albowiem dane na temat salda promieniowania są trudno dostępne, ale za to równanie to można użyć nocą.

Wnioski

Współczynniki standaryzacji zależności między ciepłem wodnym i promieniowaniem całkowitym oraz saldem promieniowania są wysokie i potwierdzają możliwości zastosowania opracowanych zależności w modelach służących do oceny bilansu cieplnego małych zbiorników wodnych ulokowanych w krajobrazie rolniczym.

Opracowane równania pozwalają na łatwą ocenę wielkości strumienia ciepła wodnego na podstawie pomiarów promieniowania.

Średni błąd oszacowania jest stosunkowo duży i w obu przypadkach jego wartości są zbliżone, choć w przypadku zastosowania wzoru opartego na pomiarach R_n ocena ciepła wodnego jest dokładniejsza.

Zastosowanie wzoru opartego na pomiarach promieniowania całkowitego jest łatwiejsze ze względu na większą dostępność obserwacji pyranometrycznych, ale zastosowanie tego wzoru nocą jest niemożliwe.

Zastosowanie wzoru opartego na pomiarach salda promieniowania jest kłopotliwe ze względu na mocno ograniczony dostęp tego typu obserwacji. Jest za to możliwe zastosowanie tego wzoru nocą.

Adnotacje

Artykuł ten powstał w ramach projektu badawczego finansowanego przez KBN nr 5 P06H 035 12.

Literatura

- ARCZYŃSKA-CHUDY E., GOŁDYN H., MI-
CHALAK A., KRASKA M. 1996: Znaczenie
roślinności wodnej dla utrzymania różnorod-
ności flory na terenie Agroekologicznego Par-
ku Krajobrazowego [w:] Ekologiczne proce-
sy na obszarach intensywnego rolnictwa
(red.) L. Ryszkowski, S. Bałazy. Zakład Ba-
dań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN,
Poznań.
- BURBA G.G., VERMA S.B., KIM J. 1999: Ener-
gy fluxes of an open water area in mid-latitude

prairie wetland. *Boundary-Layer Meteorology* 91, 495–504.

EAGELSON P.S. 1978: Hydrologia dynamiczna. PWN, Warszawa.

ILNICKI P. 1996: Metodyka waloryzacji użytków ekologicznych w krajobrazie rolniczym. *Wielkopolski Przegl. Nauk. Wyzd. Mel. i Inż. Środ.* SGGW 10, 5–12.

JURAK D. 1996: Wpływ klimatu na bilans cieplny wód śródlądowych [w:] Wpływ niestacjonarności globalnych procesów geofizycznych na zasoby wodne Polski (red.) Z. Kaczmarek. *Mon. Kom. Gosp. Wod. PAN* 12, 55–76.

JUSZCZAK R. 2000: Inwentaryzacja i waloryzacja małych zbiorników wodnych w zachodniej części zlewni rowu Wyskoć. Praca magisterska. Bibl. Gł. AR w Poznaniu, Poznań.

KĘDZIORA A. 1999: Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań.

KOSTURKIEWICZ A., SZAFRĄŃSKI Cz., FIEDLER M. 1996: Śródpolne oczka wodne w gospodarce wodnej meliorowanych terenów bogato urzeźbionych. *Przegl. Nauk. Wyzd. Mel. i Inż. Środ.* SGGW 11, 245–255.

OKE T.R. 1978: Boundary layer climates. Methuen & Co. LTD, New York.

OLEJNIK J., KĘDZIORA A., KONIECZKA K., KAPUŚCIŃSKI J., MOCZKO J., TUCHOLKA S., LEŚNY J. 1994: Mikrometeorologiczny system pomiarowy: wybrane przykłady doświadczeń. *Roczn. AR Poznań* 257, 195–203.

ROSENBERG N.J., BLAD B.L., VERMA S.B. 1983: Microclimate: the biological environment. John Wiley & Sons, New York.

RYSZKOWSKI L., KĘDZIORA A. 1996: Mała retencja wody w krajobrazie rolniczym. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Konferencje XI*. Nr 289, 217–225.

ŻYTYŃSKA-BAŁONIAK I., JASKULSKA R., SZYMAŃSKI R. 1990: Niektóre składniki chemiczne rozpuszczone w wodzie małych zbiorników śródpolnych [w:]. Charakterystyki ekologiczne wybranych elementów krajobrazów rolniczych. SGGW-AR, Warszawa.

Summary

Water heat flux (W) plays important role in heat balance of small water body in agricultural landscape. The density of this flux is dependent on radiation conditions observed over the water. The changes of water temperature in pond were measured for calculation of W. Simultaneously the observations of global ($R_s\downarrow$) and net radiation (R_n) were made with radiation balance meter CNR1 (produced by Kipp&Zonen). All measurements were conducted for the period from July 24th through August 11th 1998 over fish pond in Szoldry village. There were developed two formulas for estimation of hourly values water heat flux density (W). The first one is basis on global radiation heat flux density ($R_s\downarrow$) observations, the second one using of net radiation values (R_n). Both formulas provide relatively well estimation of hourly W values. The average absolute errors of estimation in both cases are about $70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Global radiation observations are relatively easy to obtain and this is a reason of advantage of formula that basis on $R_s\downarrow$ values. The access to R_n of water body observations is limited and this is the main reason of limitation the second formula but. there is one advantage of second equation – it can be used for assessment of W at night.

Author's address:

B. Chojnicki
Agricultural University of Poznań
Agrometeorological Department
ul. Witosa 45
60-667 Poznań
Poland

Dariusz GOŁASZEWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Struktura bilansu cieplnego w nocy przymrozkowe w okresie wiosny dla powierzchni trawnika standardowego na stacji SGGW Ursynów

Heat balance structure during nights with frost in spring for standard surface of grass in Ursynów WAU

Wstęp

Wymiana energii między podłożem atmosfery (powierzchnią czynną) a dolnymi warstwami atmosfery jest jednym z ważniejszych procesów fizycznych kształtujących środowisko (Schnelle 1968). Jedną z podstawowych charakterystyk opisujących warunki klimatyczne terenu jest struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej (Skoczek 1970, Kapuściński 2000). Prawo zachowania energii umożliwia przedstawienie składników bilansu cieplnego w następującej formie:

$$Q + G + A + LE = 0$$

gdzie:

Q – strumień ciepła wynikający z bilansu radiacyjnego,

G – strumień ciepła w gruncie,

A – strumień ciepła jawnego w atmosferę,

LE – strumień powstały z utajonego ciepła parowania i z przemian fazowych wody na powierzchni czynnej.

W pracy przedstawiono strukturę poszczególnych elementów bilansu cieplnego oddzielnie dla nocy z przymrozkiem typowo radiacyjnym i przymrozkiem adwekcyjno-radiacyjnym.

Materiał pomiarowy

Wykorzystany materiał pomiarowy pochodzi z okresu wiosennych nocy przymrozkowych (od 1 IV do 31 V) lat 1994–1999. Został on zgromadzony na stacji meteorologicznej SGGW w Ursynowie. Wykorzystane w pracy temperatura i wilgotność względna powietrza rejestrowane były na trzech poziomach pomiarowych, tj. na wysokościach 0,05; 2 i 21 m nad powierzchnią gruntu, pokrytego trawnikiem strzyżonym zgodnie z obowiązującym standardem stacji meteorologicznej. Temperatura gruntu rejestrowana była na głębokościach 0,05 i 0,2 m. Pomiary na każdym z wymienionych po-

ziomów wykonane były automatycznie co 6 sekund, po czym sumowane i uśredniane do wartości 10-minutowych rejestrowanych przez komputer. Wyjątek stanowiły obserwacje zachmurzenia ogólnego na stacji Warszawa Okęcie, które były wykonywane co trzy godziny w terminach: 0:00; 3:00; 6:00; 9:00; 12:00; 15:00; 18:00; 21:00 czasu CSE.

Zbiór danych opisujących nocę przymrozkowe został podzielony na dwa podzbiory, z których pierwszy zawierał dane opisujące noc z przymrozkiem radiacyjnym powstałym w wyniku silnej radiacji związanej z małym zachmurzeniem w okresie nocy ($N \leq 0,2$ pokrycia nieba chmurami) i przy braku wiatru w warstwie przygruntowej. Drugą grupę stanowiły dane opisujące noc z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi, charakteryzujące się umiarkowanym zachmurzeniem z okresu nocy ($0,2 > N \leq 0,8$) i przy wietrze w przygruntowej warstwie powietrza. W grupie tej średnia prędkość wiatru z okresu nocy obliczona dla wszystkich rozpatrywanych przypadków wynosiła $1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Bilans promieniowania (Q). Wartości tego bilansu obliczono, wykorzystując formułę:

$$Q = T(1 - a) - e_{\text{ef}}$$

gdzie:

T – natężenie promieniowania całkowitego, wartości natężenia tego promieniowania w ciągu dnia mierzono termostosem Molla,

a – albedo, przyjęto, że jego wartość dla trawnika wynosi 0,25,

e_{ef} – natężenie promieniowania efektywnego.

Wypromieniowanie efektywne obliczono, wykorzystując formułę Berlanda w modyfikacji Budyko:

$$e_{\text{ef}} = \delta \cdot 5,77 \cdot 10^{-8} \cdot (T + 273)^4 \cdot (0,39 - 0,0435 \cdot e^{0,5}) \cdot [1 - 0,75(n/N)^{1,5}]$$

gdzie:

T – temperatura powietrza z poziomu 2 m,

n/N – wielkość zachmurzenia ogólnego w skali 1–10 podana w formie ułamkowej, e – ciśnienie aktualne pary wodnej przy powierzchni gruntu, $\delta = 0,95$.

Strumień ciepła w glebie (G). Obliczono go na podstawie danych temperatury gruntu pomierzonych na głębokościach 0,05 i 0,2 m, wykorzystując zależność:

$$G = -k_v \cdot \Delta t / \Delta z$$

gdzie:

$\Delta t / \Delta z$ – gradient temperatury gruntu,

k_v – współczynnik przewodnictwa cieplnego gleby.

Strumień ciepła utajonego (LE). Strumień ten określono, dysponując wcześniej wyznaczonym wskaźnikiem Bowena (β):

$$B = \Delta p / \Delta t$$

gdzie:

Δp – różnica temperatury powietrza między poziomami 0,05 i 2 m, obliczona na podstawie pomiarów wilgotności względnej oraz temperatury powietrza z wyżej wymienionych poziomów,

Δt – różnica wilgotności bezwzględnej powietrza między poziomami 0,05 i 2 m.

$$LE = -(Q + G) / (1 + \beta)$$

gdzie:

Q – bilans radiacyjny,
 G – strumień ciepła w gruncie,
 β – wskaźnik Bowena.

Strumień ciepła jawnego (A). Strumień ten określono, przekształcając główne równanie bilansu cieplnego do postaci:

$$A = -(Q + G + LE)$$

Wszystkie elementy równania mogą przyjmować wartości dodatnie lub ujemne. W pracy przyjęto, że wartości dodatnie oznaczają strumień skierowany do powierzchni czynnej z warstw głębszych gleby i wyższych atmosfery, wartości ujemne natomiast – strumień skierowany od tej powierzchni w głąb gleby lub wwyż do atmosfery.

Uzyskane wyniki

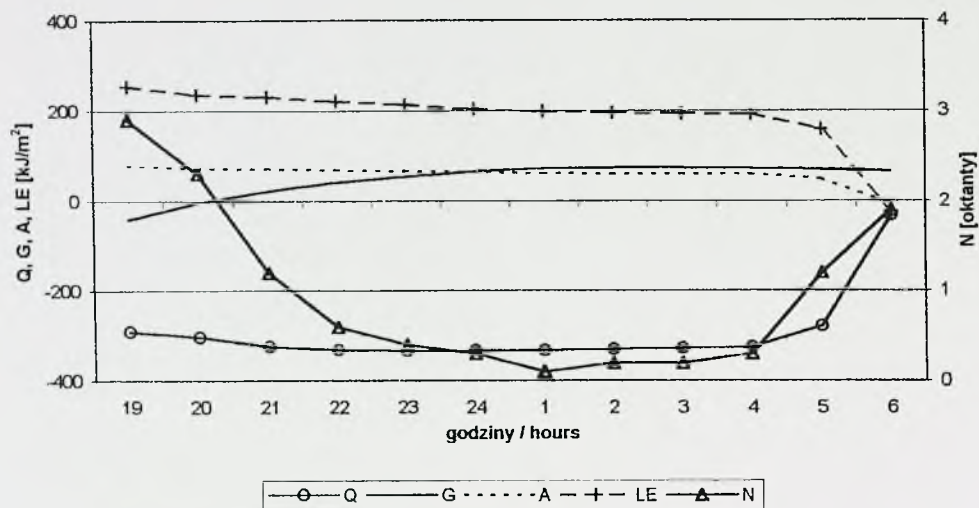
Na rysunku 1 przedstawiono średnie wieloletnie godzinowe przebiegi składowych bilansu cieplnego z okresu nocy z przymrozkiem radiacyjnym. Mała średnia wieloletnia wielkość zachmurzenia ogólnego z okresu tych nocy ($N = 0,08$) powodowała silne wypromieniowanie efektywne, co jest wyraźnie widoczne w przebiegu krzywej ilustrującej saldo promieniowania. O godzinie 19:00 wartość bilansu radiacyjnego jest ujemna i wynosi $-290,5 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$, w ciągu kolejnych godzin nocnych następuje powolny równomierny spadek tej wartości trwający do godziny 4:00. Pomiędzy godziną 4:00 a 5:00 widoczny jest nieznaczny przyrost wartości salda promieniowania związany ze wschodem słońca o godzinie 4:40, po czym widać gwałtowny przyrost wartości bilansu radiacyjnego.

W okresie tym nocne wypromieniowanie energii, wynikające z bilansu radiacyjnego, równoważone było przez strumienie ciepła utajonego i jawnego, a od godziny 20:15 także przez strumień ciepła dopływającego z głębszych warstw gleby. Nocny przebieg strumienia ciepła utajonego charakteryzuje się spadkiem wartości od początkowej $253,6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 19:00 do $158,8 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 4:00, co można tłumaczyć słabnącym z biegiem nocy procesem kondensacji pary wodnej na powierzchni czynnej oraz pojawiającym się po północy procesem zamarzania wody na trawie i gruncie. Od godziny 4:00 widoczny jest nasilający się spadek wartości tego strumienia wywołany wzrostem temperatury i pojawieniem się parowania.

Równie powolnym spadkiem wartości w okresie nocy charakteryzuje się przebieg strumienia ciepła jawnego, którego wartości w godzinach od 19:00 do 4:00 spadły z $78,6$ do $49,2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$, po czym nastąpił dalszy wyraźnie szybszy spadek świadczący o wzroście temperatury dolnych warstw powietrza.

Natomiast pomimo zachodu słońca o godzinie 18:40, wartości strumienia ciepła w glebie do godziny 20:15 są jeszcze ujemne, co wskazuje na wyższą jeszcze temperaturę wierzchnich warstw gleby, w stosunku do zalegających głębiej. Od tego czasu wartości strumienia stają się dodatnie, osiągając $73,6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 3:00, po czym następuje powolny ich spadek do godziny 5:00. Po tym czasie ma miejsce szybki spadek wartości strumienia wywołany wzrostem temperatury wierzchnich warstw gleby.

Rysunek 2 przedstawia średnie wieloletnie godzinowe przebiegi składowe



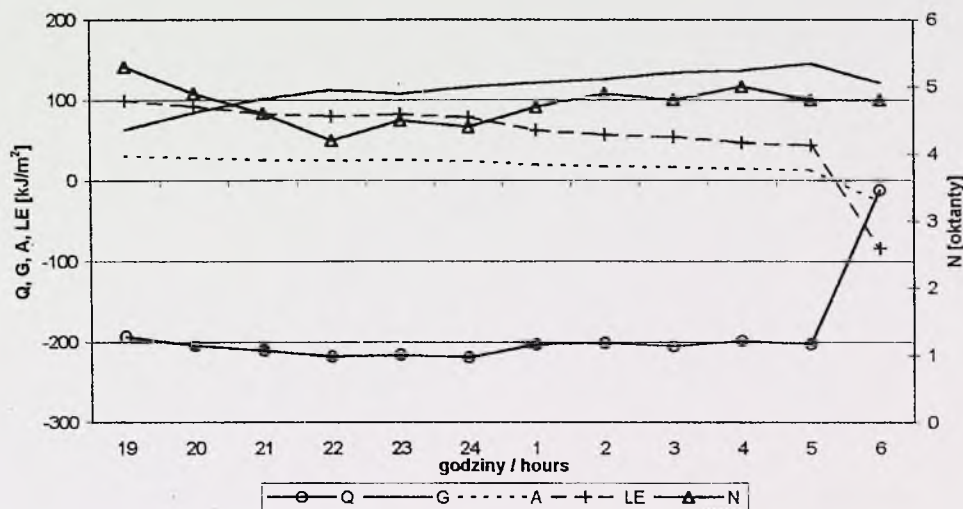
RYСУNEK 1. Średnie przebiegi składowych bilansu cieplnego oraz zachmurzenia ogólnego w noc z okresu wiosny z przymrozkami radiacyjnymi: Q – saldo promieniowania, G – strumień ciepła w glebie, A – strumień ciepła jawnego, LE – strumień ciepła utajonego, N – wielkość zachmurzenia

FIGURE 1. Mean durations of heat balance components and cloudiness during nights with radiation frost in spring: Q – net radiation, G – soil heat flux, A – sensible heat flux, LE – latent heat flux, N – cloudiness

wych bilansu cieplnego z nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi. Większe średnie zachmurzenie z okresu rozpatrywanych nocy ($N = 0,47$) powoduje, że wartości bilansu radiacyjnego są średnio o 35% większe niż w przypadku nocy z przymrozkami radiacyjnymi. Po wyrównanym przebiegu tych wartości w okresie nocy, od godziny 5:00 następuje ich szybki wzrost. W odróżnieniu od nocy z przymrozkami radiacyjnymi, w całym okresie nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi straty energii związane z jej nocnym wypromieniowaniem były równoważone przez strumienie ciepła jawnego i utajonego oraz płynącego z głębszych warstw gleby.

Przebieg strumienia ciepła utajonego charakteryzuje się wyrównanym spadkiem wartości w całym okresie nocy, po

wschodzie słońca (godzina 4:40) widoczny jest bardzo szybki spadek tych wartości. Warto zauważyć, że średnie wartości strumienia z okresu nocy są o 66% mniejsze niż w okresie nocy radiacyjnych. Bardzo wyrównanym spadkiem charakteryzuje się strumień ciepła jawnego, którego wartości zmalały z $30,9 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 19:00 do $13,5 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 5:00. W odróżnieniu od nocy z przymrozkami radiacyjnymi przebieg strumienia ciepła w glebie w okresie całej nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi jest dodatni, a jego wartości zwiększają się z $63,0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 19:00 do $145,6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}$ o godzinie 5:00, od której widoczny jest ich spadek. Należy zwrócić uwagę, że średnie wieloletnie wartości strumienia ciepła w glebie z okresu nocy są około



RYSUNEK 2. Średnie przebiegi składowych bilansu cieplnego oraz zachmurzenia ogólnego w noc z okresu wiosny z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi: Q – saldo promieniowania, G – strumień ciepła w glebie, A – strumień ciepła jawnego, LE – strumień ciepła utajonego, N – wielkość zachmurzenia
 FIGURE 2. Mean durations of heat balance components and cloudiness during nights with advection-radiation frost in spring: Q – net radiation, G – soil heat flux, A – sensible heat flux, LE – latent heat flux, N – cloudiness

2,5-krotnie większe niż w okresie nocy radiacyjnych.

W tabeli 1 zestawione zostały średnie godzinowe gęstości strumieni poszczególnych składowych bilansu cieplnego oraz stosunki między nimi w okresie nocy z przymrozkami radiacyjnymi i adwekcyjno-radiacyjnymi. W przypadku nocy radiacyjnych strumień ciepła pochodzący z przemian fazowych wody kompensuje aż w 65% nocne straty związane z nocnym bilansem promieniowania. Pozostałe 35% pokrywają strumienie ciepła jawnego (energia pochodząca od cieplejszego powietrza zalegającego nad glebą) w 20% i strumienia ciepła w glebie w 15%. W okresie nocy z przymrozkami adwekcyjno-radiacyjnymi nocne wypromieniowanie ciepła najsilniej kompenso-

wane jest przez strumień ciepła w glebie, bo aż w 55%. Udział strumienia ciepła przemian fazowych wody jest o połowę mniejszy niż w przypadku nocy radiacyjnych i wynosi 34%, pozostałe 11% przypada na strumień ciepła jawnego.

Wnioski

Reasumując, można przedstawić następujące spostrzeżenia i wnioski końcowe.

W noc z przymrozkami radiacyjnymi nocne straty bilansu radiacyjnego równoważone są przez strumienie ciepła jawnego i utajonego do godziny 20:15, a od tej godziny także przez strumień ciepła w glebie.

TABELA 1. Gęstości strumieni bilansu cieplnego oraz stosunki między nimi w okresie wiosennych nocy z przymrozkami radiacyjnymi oraz adwekcyjno-radiacyjnymi z lat 1994–1999

TABLE 1. Values of heat balance components fluxes and values of components ratios during nights with radiation frost and advection-radiation frost in years 1994–1999

Noce z przymrozkiem	Q	G	A	LE	G/Q	A/Q	LE/Q
	Gęstość strumienia [$W \cdot m^{-2}$]				Stosunek [%]		
Radiacyjnym	-88,4	12,5	18,0	57,9	-0,15	-0,20	-0,65
Adwekcyjno-radiacyjnym	-57,4	31,6	6,1	19,7	-0,55	-0,11	-0,34

Średnie wieloletnie godzinowe gęstości strumieni ciepła, wynikające z bilansu radiacyjnego, w okresie nocy z przymrozkiem radiacyjnym są średnio o 54% większe od analogicznych wartości z okresu nocy z przymrozkiem adwekcyjno-radiacyjnym.

Silne nocne wypromieniowanie energii w okresie nocy z przymrozkiem radiacyjnym kompensowane jest w 65% przez strumień ciepła utajonego, w 20% przez strumień ciepła jawnego oraz w 15% przez strumień ciepła dopływającego z głębszych warstw gleby.

W okresie nocy z przymrozkiem adwekcyjno-radiacyjnym nocne straty energii pokrywają strumienie: ciepła glebowego w 55%, ciepła utajonego w 34% oraz strumień ciepła jawnego w 11%.

Literatura

KAPUŚCIŃSKI J. 2000: Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych Środkowo-Zachodniej Polski.

Roczniki AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, 303.

SCHNELLE F. 1968: Ochrona roślin uprawnych przed mrozem. T. I. PWRiL, Warszawa.

STOCZEK J. 1970: Wpływ podłoża atmosfery na przebieg dobowy bilansu cieplnego powierzchni czynnej. *IG PAN, Prace Geograficzne* 84.

Summary

Mean duration of heat balance components during nights with advection-radiation frost and radiation frost in years 1994–1999 were stated on the basis of data observed in meteorological station Ursynów WAU. Mean fluxes of heat balance components and values of components ratios are presented in the table.

Author's address:

D. Gołaszewski
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Katarzyna ROZBICKA

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Dobowy przebieg parowania dla wybranych dni w okresie 1997–1999 w Ursynowie

Course of daily evaporation for selected days in period 1997–1999 in Ursynów

Wstęp

Podstawowym elementem małego i dużego obiegu wody w przyrodzie, a także bilansu cieplnego jest zjawisko parowania. Zainteresowanych jest nim wiele dziedzin nauki i gospodarki, których coraz szybszy rozwój wymusza większą dokładność obliczeń, np. szczegółowy bilans wodny coraz mniejszych obszarów i krótszy krok czasowy obliczeń, obejmujący nie tylko dekady czy dobę, ale także kilkugodzinne okresy w ciągu doby. Parowanie terenowe zależy nie tylko od przyrodniczych warunków klimatycznych, glebowych i rodzaju roślinności, ale w poważnym stopniu od zabiegów agrotechnicznych i melioracyjnych. A zatem może podlegać regulacji (Ostromęcki 1956).

Do tej pory w literaturze spotyka się duże rozbieżności w definiowaniu parowania i ewapotranspiracji. Spowodowane jest to przede wszystkim brakiem standardu pomiarowego. Uzyskiwane

wyniki pomiarów ewaporometrycznych, a także wyniki obliczeń parowania i ewapotranspiracji potencjalnej za pomocą wzorów empirycznych traktuje się często nie jako wartości rzeczywiste (odzwierciedlające w sposób ścisły ilość wyparowanej wody), ale jako wartości wskaźnikowe parowania, które umożliwiają jednak analizę zmienności i cykliczności zjawiska. Jednym z takich wskaźników są wyniki pomiarów prowadzonych za pomocą amerykańskiego ewaporometru pan klasy A.

Wcześniejsze opracowania z zakresu parowania dotyczyły m.in. porównania wskazań ewaporometrów Piche'a i Wilda z ewaporometrem wzorcowym pan klasy A, związku między parowaniem z ewaporometru Piche'a a warunkami meteorologicznymi (Łykowski i Rozbicki 1994) oraz wyznaczenia wielomianu sezonowego przebiegu parowania dla ewaporometrów Piche'a i Wilda (Rozbicki i Rozbicka 2001).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie dobowego przebiegu wielkości parowania z ewaporometru pan klasy A dla wybranych dni z okresu 1997–1999. Dla dokładniejszego pokazania przebiegu parowania w zależności od warunków pogodowych dokonano podziału na dwa typy dni: pogodne i pochmurne.

Material i metoda

Materiał obliczeniowy pochodzi z ciągłych pomiarów parowania z ewaporometru pan klasy A zarejestrowanych w Zakładzie Meteorologii i Klimatologii w Ursynowie (południowe peryferia Warszawy) z okresu od początku maja do końca września z lat 1997–1999.

Ewaporometr pan klasy A na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW został zainstalowany w kwietniu 1991 roku. W październiku 1996 roku został zamontowany elektroniczny czujnik rejestrujący 10-minutowe wartości parowania. Pomiary parowania (zarówno odczyty ręczne, jak i praca rejestratora) prowadzone były tylko w okresie od maja do października. W pozostałej części roku pomiary były niemożliwe ze względu na występującą ujemną temperaturę powietrza.

Ewaporometr pan klasy A ma średnicę 1,21 m i głębokość 25,5 cm. Jego powierzchnia wynosi 1,15 m². Zbiornik ewaporometru ma kształt okrągły i wykonany jest z blachy stalowej. Zainstalowany został ponad gruntem na wysokości 5 cm, na drewnianej platformie, która umożliwia przepływ powietrza pod

zbiornikiem i ułatwia wykrycie ewentualnych nieszczelności. Działanie amerykańskiego zbiornika klasy A poddane było badaniom w różnych warunkach klimatycznych, w znacznym zakresie szerokości geograficznych oraz na różnych wysokościach n.p.m. Uzyskane zostały użyteczne związki umożliwiające przeliczanie wyników ewaporometrycznych na parowanie z jezior. Możliwe jest również określenie strat wody z tego ewaporometru za pośrednictwem danych klimatycznych, co ma pewne znaczenie, kiedy np. wystąpiły luki w danych pomiarowych lub utrzymuje się temperatura zamarzania w okresie pomiarowym. Przyrząd ten zalecany jest jako standardowy dla sieci obserwacyjno-pomiarowych (Różdżyński 1996).

W opracowaniu wykorzystano sumy godzinne parowania (E) i innych elementów meteorologicznych, takich jak promieniowanie słoneczne całkowite T [cal · cm⁻² · min⁻¹] i temperaturę powietrza (t). Obliczone zostały godzinne różnice parowania z ewaporometru pan klasy A, a następnie wartości dobowe skumulowane parowania.

Zróznicowany z roku na rok przebieg pogody (w tym przebieg elementów wpływających na parowanie) typowy dla klimatu Polski powoduje, że wartości parowania charakteryzują się zmiennością. W celu dokładniejszego określenia przebiegu parowania w dwóch ekstremalnych typach pogody materiał obliczeniowy podzielono na dwie grupy: dni pogodne ze średnim dobowym zachmurzeniem nie większym od 2/10 i dni pochmurne ze średnim dobowym zachmurzeniem większym i równym 8/10. Spośród dni po-

chmurnych wybrano dwa dni, podczas których wystąpił opad atmosferyczny.

Dla wybranych dni z opracowywanego okresu zostały sporządzone wykresy przedstawiające dobowy przebieg parowania z równoczesnym uwzględnieniem przebiegu promieniowania słonecznego całkowitego i temperatury powietrza.

Wyniki

Na podstawie sum godzinnych parowania z ewaporometru pan klasy A, a także innych elementów meteorologicznych, takich jak promieniowanie słoneczne całkowite i temperatura powietrza dla wybranych dni z całego rozpatrywanego okresu, wykonano wykresy dobowego przebiegu ich wartości. Wykresy sporządzono z podziałem na dwa typy dni: pogodne i pochmurne, wśród których znalazły się także dwa dni z opadem atmosferycznym.

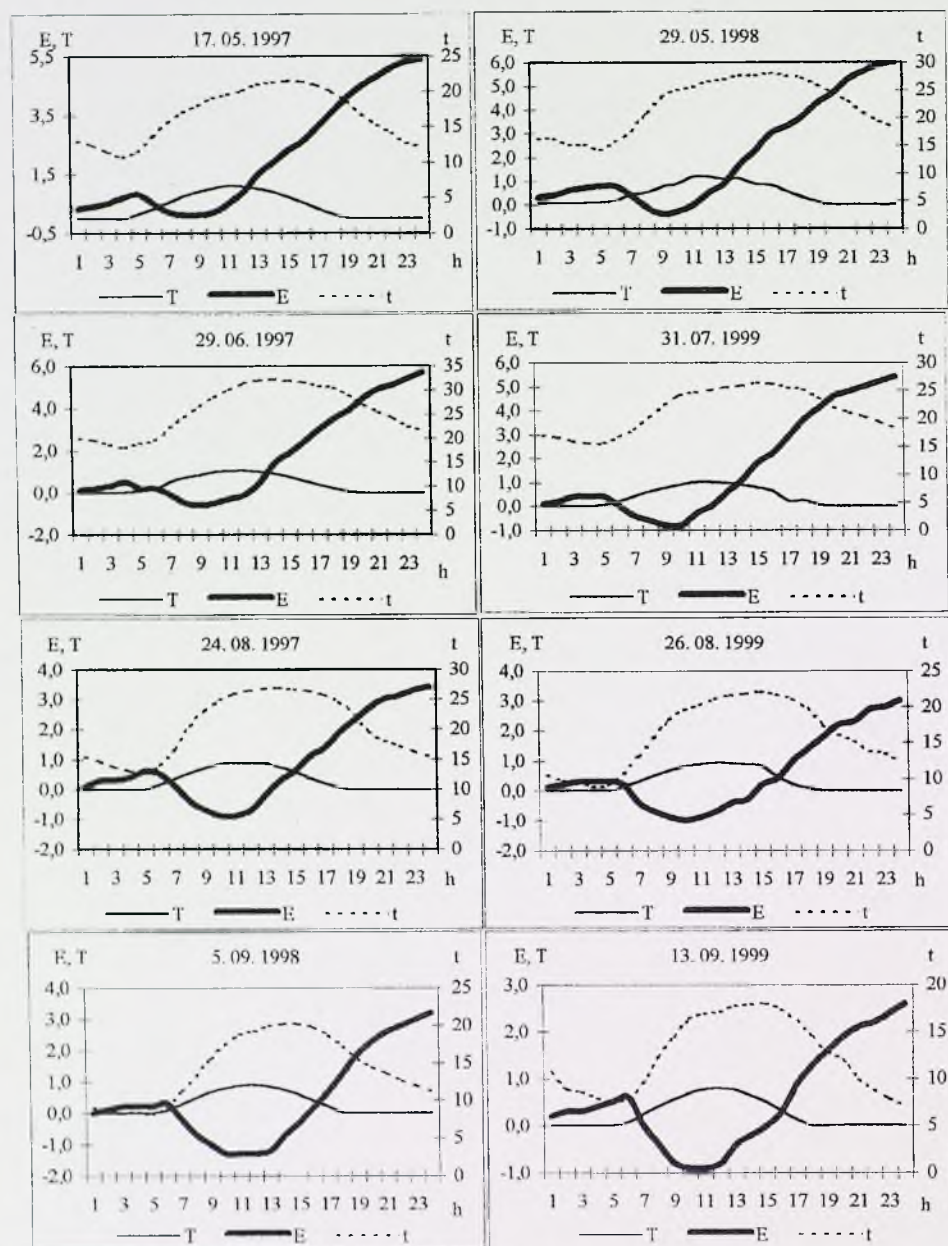
Dla całego okresu obliczeniowego (1997–1999) wykonano zestawienie liczb

bowe wszystkich dni pogodnych i pochmurnych według miesięcy (tab. 1). W całym okresie obliczeniowym zdecydowanie więcej było dni pochmurnych niż dni pogodnych dla wszystkich miesięcy. Z roku na rok występowały jednak różnice. Zdecydowanie największą liczbą dni pochmurnych (32 dni) charakteryzował się 1998 rok, a najmniejszą (16 dni) 1999 rok. W przypadku dni pogodnych najkorzystniejszy był 1999 rok (25 dni), w którym wystąpiła aż w trzech miesiącach wysoka ich liczebność: w maju 8, lipcu 6 i we wrześniu 10 dni. Natomiast maksymalna liczba dni pogodnych (11 dni) przypadła na sierpień 1997 roku.

Przebieg dobowy parowania dla dni pogodnych przedstawiony jest na rysunku 1. Znajduje się tam osiem wykresów z przebiegiem parowania dla wybranych dni z całego okresu obliczeniowego. Parowanie dla większości dni ma następujący przebieg: między godziną 21 a 5 rano dnia następnego zaznacza się niewielkie parowanie rzędu 0,1–0,2 mm na godzinę. Następnie od wczesnych godzin rannych, tj. od godziny 6 do 9 rano, widoczny jest

TABELA 1. Liczba dni pogodnych i pochmurnych w okresie 1997–1999 w Ursynowie
TABLE 1. Number of sunny days and cloudy days in period 1997–1999 in Ursynow

Typ dni Type of days	1997				
	V	VI	VII	VIII	IX
Pogodne/sunny	2	2	–	11	–
Pochmurne/cloudy	10	4	4	1	4
1998					
Pogodne/sunny	4	–	1	1	5
Pochmurne/cloudy	4	8	5	7	8
1999					
Pogodne/sunny	8	–	6	1	10
Pochmurne/cloudy	2	8	2	1	3



RYСУNEK 1. Dobowy przebieg parowania E [mm], temperatury powietrza t [$^{\circ}\text{C}$] i promieniowania słonecznego całkowitego T [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$] dla dni pogodnych w okresie 1997–1999 w Ursynowie
 FIGURE 1. Course of daily evaporation E [mm], air temperature t [$^{\circ}\text{C}$], and total radiation T [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$] for sunny days in period 1997–1999 in Ursynów

przyrost poziomu wody w ewaporometrze, co rejestrowane jest jako parowanie ze znakiem ujemnym (na wykresie krzywa przebiegu parowania opada). Częściowo można wytłumaczyć to tym, że wilgotność względna w godzinach rannych jest bardzo wysoka (ponad 90%), co sprzyja kondensacji pary wodnej. Ważny jest również przebieg promieniowania słonecznego i temperatury powietrza w tych godzinach, kiedy ich wartości szybko rosną, co ma istotny wpływ na zmianę objętości, a więc i poziomu wody (o 0,35–0,5 mm przy wzroście temperatury o 10°C). W dalszej części dnia, od godziny 10 do godzin wieczornych (godzina 20), następuje intensywne parowanie od 1,7 mm (13 września 1999 r.) do 6,0 mm (25 maja 1998 r.), a w przeliczeniu na godzinę wynosi od 0,2 do 0,6 mm.

W czasie upalnych dni, które występują najczęściej w czerwcu i lipcu, a w niniejszym opracowaniu w dniach 29. 06. 1997 roku i 29. 05. 1998 roku podczas których temperatura powietrza w ciągu dnia dochodzi do 30–35°C, zauważa się wcześniejsze pojawienie, a zarazem wcześniejsze ustąpienie ujemnych wartości parowania prawie o 1 godzinę. Wpływa na to prawdopodobnie szybszy wzrost promieniowania słonecznego i temperatury powietrza, związany z wcześniejszymi wschodami słońca i występowaniem najdłuższego dnia w tych miesiącach.

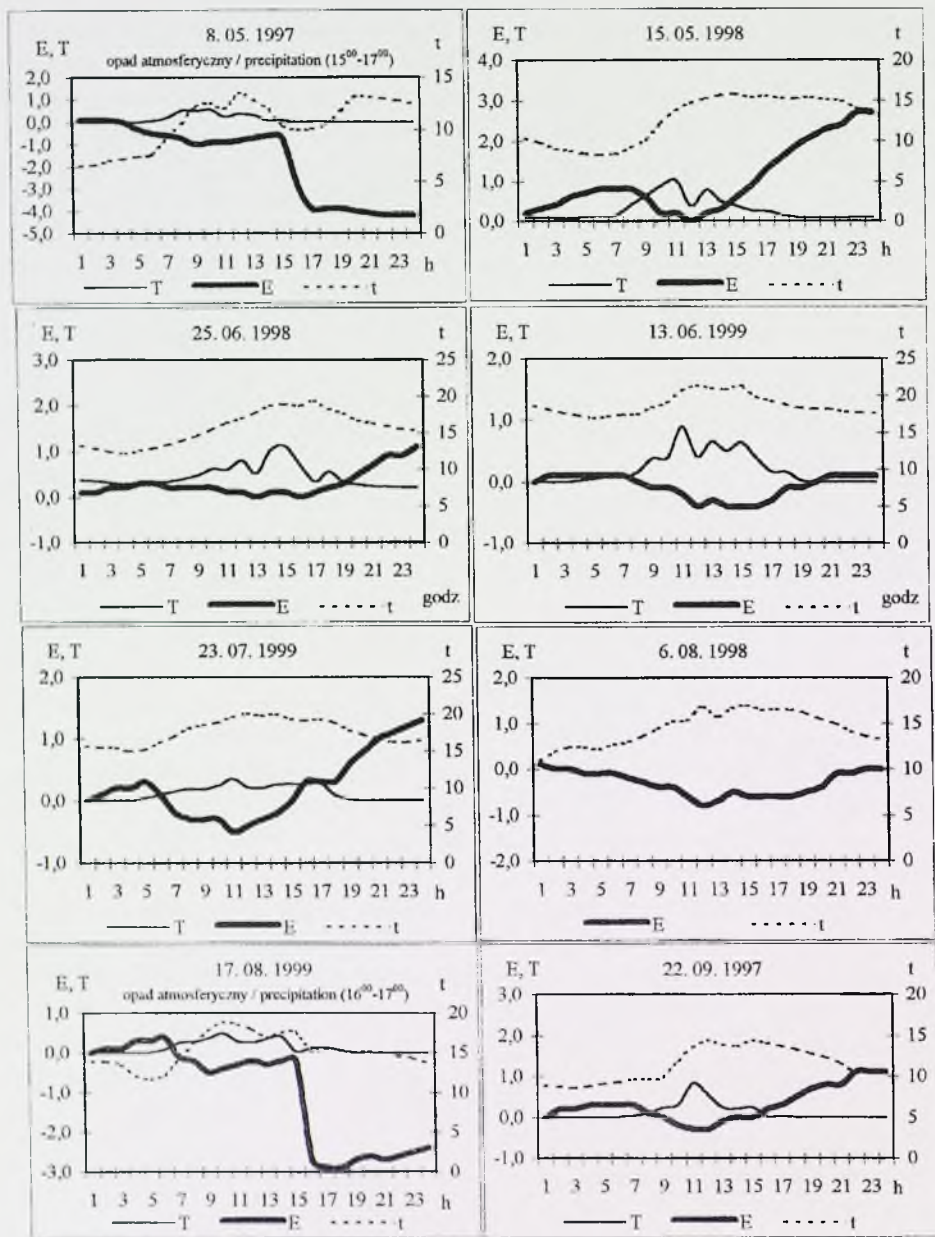
Przebieg parowania dla dni pochmurnych przedstawiony jest na rysunku 2. Warunki pogodowe w czasie dni pochmurnych wpływają na to, że wielkość parowania jest niewielka i zmienna w czasie. Kształt krzywej obrazującej parowanie ma podobny przebieg do krzy-

wej parowania w czasie dni pogodnych. Pojawia się jednak większa nieregularność czasowa występowania ujemnych wartości parowania (dla każdego rozpatrywanego dnia o innej porze). Wartości parowania w tych dniach wahają się od 0,2 mm (13 czerwca 1999 r.) do 3,4 mm (6 sierpnia 1998 r.). W ciągu dnia (od ok. godz. 9 do ok. godz. 20) największe parowanie z godziny na godzinę dochodzi do 0,4 mm.

Charakterystyczny jest przebieg parowania dla dni z opadem (rys. 2). Podczas wystąpienia opadu krzywa parowania gwałtownie opada. W dniu 8 maja 1997 roku opad atmosferyczny wystąpił między godziną 15 a 17 i wyniósł 4,1 mm (co zostało zarejestrowane przez telepluviograf), natomiast zmiana poziomu zwierciadła wody w ewaporometrze w tym okresie była mniejsza (3,3 mm) niż wartość opadu (4,1 mm). Podobna sytuacja wystąpiła w drugim wybranym dniu z opadem (17 sierpnia 1999 r.), w którym różnica między opadem atmosferycznym a zarejestrowanym poziomem wody w ewaporometrze wyniosła 1 mm. Wiadać, że istnieje wpływ opadu na rejestrację parowania, ale ocena ilościowa tego wpływu jest trudna do wyjaśnienia, gdyż powierzchnie recepcyjne i wysokości zainstalowania przyrządów (telepluviografu i ewaporometru) są inne.

Wnioski

1. Na podstawie ciągłych pomiarów parowania dla wybranych dni można dokładnie ocenić zmienność parowania dla krótkich odcinków czasowych, np. dla kilku godzin.



RYSUNEK 2. Dobowy przebieg parowania E [mm], temperatury powietrza t [$^{\circ}\text{C}$] i promieniowania słonecznego całkowitego T [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$] dla dni pochmurnych w okresie 1997–1999 w Ursynowie
 FIGURE 2. Course of daily evaporation E [mm], air temperature t [$^{\circ}\text{C}$] and total radiation T [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$] for cloudy days in period 1997–1999 in Ursynów

2. Podział na ekstremalne typy dni: pogodny i pochmurny, pozwala na dokładne określenie parowania w danym dniu, uwzględniając warunki pogodowe, tj. zachmurzenie i czynniki solarne.
3. Parowanie podczas dni pogodnych jest prawie dwa razy większe od parowania w czasie dni pochmurnych w ciągu dnia. Dla dni pogodnych największa wartość parowania wynosi 6,0 mm, a dla dni pochmurnych 3,0 mm.
4. Przyrost poziomu wody w ewaporometrze (rejestrowany jako ujemne wartości parowania) zaznacza się nie tylko podczas występowania opadu atmosferycznego (co jest oczywiste), ale także podczas dni pogodnych i pochmurnych w godzinach rannych, gdy opad nie występuje. Wynika to m.in. z wysokiej wilgotności względnej powietrza w tych godzinach (ponad 90%), a także zmian objętości wody w zbiorniku ewaporometru w wyniku zmian temperatury. Przy wzroście temperatury wody o 10°C, zmiana poziomu wynikająca ze zmiany objętości wynosi 0,35–0,5 mm.
5. W niniejszym opracowaniu po raz pierwszy rozpatrywany jest tak szczegółowy zapis dobowego parowania. Kolejnym etapem badań będzie analiza parowania dziennego i nocnego w stosunku do parowania całodobowego oraz ilościowe określenie różnic w intensywności parowania przypadającą na jedną godzinę dnia i nocy.

Literatura

- BAC S. 1983: Parowanie z wolnej powierzchni wody jako podstawa oceny wielkości parowania potencjalnego. *Zesz. Prob. Postępów Nauk Roln.* 277.
- KACZMAREK Z. 1960: O dobowym przebiegu parowania z powierzchni wody. *Przeg. Geof.* 4.
- ŁYKOWSKI B., ROZBICKI T. 1994: Porównanie parowania z ewaporometrów Piche'a i Wilda z ewaporometrem wzorcowym pan A. *Przeg. Nauk. SGGW, Wyzd. MiŚ* 5.
- OSTROMEŃSKI J. 1956: Przewidywane zużycie wody na zwiększoną produkcję użytków rolnych i łąkowych. *Prace i St. Komit. Gosp. Wodn.* T. I. PWN, Warszawa.
- RADOMSKI Cz. 1987: *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa.
- ROZBICKI T., ROZBICKA K. 2001: Wielomianowy model zdolności ewaporacyjnej powietrza w Warszawie – Ursynowie. *Przeg. Nauk. SGGW, Wyzd. MiŚ*, 19.
- RÓŹDŻYŃSKI K. 1996: *Miernictwo meteorologiczne*. T. 2. IMGW, Warszawa.

Summary

The paper presents courses of evaporation for days selected in two types of weather: sunny days and cloudy ones. Daily sums of evaporation for sunny days are higher than sums of evaporation for cloudy days more or less twice. Increase of water level recorded as negative values of evaporation appears in the morning during sunny days and cloudy ones as well. It could be explained by very high value of air humidity (more than 90%) and thermal changes of water volume in evaporimeter.

Author's address:

K. Rozbicka
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Agnieszka BŁĘDZIŃSKA

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Meteorologii i Klimatologii

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Division of Meteorology and Climatology

Związek między częstością występowania opadu a kierunkiem napływu mas powietrza w rejonie Ursynowa

The relationship between precipitation frequency and air-mass direction in Ursynow

Wstęp

W Polsce najczęściej występują fronty chłodne i pojawiają się średnio w roku w ciągu 126 dni. Fronty zokludowane wszystkich rodzajów łącznie (tj. o charakterze ciepłym, chłodnym i nieokreślonym) pojawiają się średnio w ciągu 95 dni w roku – są drugie co do liczebności występowania. Spośród frontów zokludowanych ponad dwukrotnie więcej jest frontów zokludowanych o charakterze chłodnym aniżeli o charakterze ciepłym. Trzecie miejsce, co do częstości występowania, zajmują fronty ciepłe – pojawiają się one 65 dni w roku. Najrzadziej w Polsce występują fronty stacjonarne – średnio tylko 16 dni w roku. Fronty ciepłe i fronty zokludowane o charakterze ciepłym występują częściej w chłodnym półroczu. Natomiast fronty chłodne i fronty zokludowane występują częściej w ciepłym półroczu.

Prawie w 50% fronty atmosferyczne przemieszczają się nad Polską z zachodu na wschód i w 25% z północnego zachodu na południowy wschód, czyli 75% frontów napływa z wycinka W-NW. Z kierunków od SW, W, NW i N przemieszcza się nad Polską 85% frontów. Z pozostałych kierunków napływa nad Polskę nie więcej niż po 2–3% frontów. Fronty ciepłe w 90% napływają z kierunków SW-NW, przy czym z kierunków N-NE tylko w chłodnej porze roku. Fronty zokludowane o charakterze ciepłym napływają przede wszystkim z kierunków SW-W, natomiast z pozostałych kierunków prawie wyłącznie chłodną porą roku lub wiosną. Fronty chłodne w ponad 80% napływają z kierunków W-NW i w niecałych 10% z północy. Bardzo podobnie przemieszczają się fronty zokludowane o charakterze chłodnym. Fronty zokludowane o charakterze nieokreślonym najczęściej napływają z zachodu.

W Polsce występuje około 140 dni bezfrontowych w roku. Średnia liczba dni bezfrontowych w poszczególnych miesiącach wynosi się od 10 do 16. Długość okresów bezfrontowych wynosi od jednego dnia do trzech tygodni. Okresy bezfrontowe występują częściej w chłodnej niż w cieplej porze roku.

Chłodna pora roku to okres, w którym przeciętna temperatura powierzchni Oceanu Atlantyckiego, średnich szerokości geograficznych, jest wyższa od przeciętnej temperatury lądów w tych samych szerokościach geograficznych. Podczas cieplej pory roku panują odwrotne stosunki termiczne. W chłodnej porze roku morskie masy powietrza napływają nad chłodniejszy ląd, co staje się przyczyną ich oziębiania od dołu, wskutek tego w tej porze roku w Polsce wzrasta wilgotność względna, występuje przewaga chmur warstwowych, maleje liczba dni słonecznych i wzrasta liczba godzin z opadami atmosferycznymi. W cieplej porze roku morskie masy powietrza, napływające nad ciepły ląd, ogrzewają się od dołu, co staje się przyczyną intensywnej pionowej wymiany powietrza, powstawania w ciągu dnia chmur kłębiastych nie pokrywających całkowicie nieba i opadów tak zwanych wewnątrzmasowych.

Przebieg i rozmieszczenie opadów atmosferycznych ulega bardzo dużemu zróżnicowaniu w zależności od wielu czynników. Wielu badaczy zwraca uwagę na fakt, że większe osiedle ludzkie, jakim jest duże miasto, wytwarza własny klimat, wpływając na wzrost wartości jednych, a spadek innych elementów meteorologicznych (Schmuck 1967). Badania takie są cenne przy charakterystyce kli-

matu ogólnego poszczególnych regionów, np. charakterystyce rozkładu opadów w terenie urzeźbionym oraz na obszarach zurbanizowanych i przemysłowych.

W klimatologii do pełnej charakterystyki stosunków opadowych nie wystarcza znajomość samej wysokości opadów, wyrażonej w postaci średnich i skrajnych sum miesięcznych lub rocznych. Duże znaczenie ma również częstość występowania opadów atmosferycznych. Częstość tę można wyrazić w postaci liczby dni z opadem w ciągu pewnego okresu (np. pory roku) (Olechnowicz-Bobrowska 1968).

W niniejszym opracowaniu dokonano analizy częstości występowania opadu atmosferycznego w zależności od kierunku napływu powietrza wyrażonego kierunkiem wiatru w rejonie Ursynowa.

Materiał i metoda

Do obliczenia częstości występowania opadu w zależności od kierunku wiatru wykorzystano dane meteorologiczne ze stacji meteorologii SGGW w Warszawie-Ursynowie. Są to wartości prędkości i kierunku wiatru zmierzone na wysokości 22 m n.p.g. oraz wartości wysokości opadu od stycznia 1997 roku do listopada 2000 roku. Za dzień z opadem przyjęto każdy dzień, w którym zmierzona wysokość opadów wynosiła co najmniej 0,1 mm. Obliczenia przeprowadzono dla 8-kierunkowej róży wiatrów. Jako kierunek wiatru przyjęto średni kierunek wiatru, jaki wystąpił w danym dniu pomiarowym. Wyniki zestawiono osobno dla pół-

roczna chłodnego (X–III) i półroczna ciepłego (IV–IX) oraz dla poszczególnych pór roku. Latem 1997 roku i jesienią 2000 roku rozpatrzono mniejszą liczbę dni, co było spowodowane długą przerwą w rejestracji.

Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono rozkład częstości liczby dni z opadem w zależności od kierunku wiatru dla półroczna ciepłego i chłodnego. W tabeli 2 przedstawiono rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczbę dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla półroczna ciepłego i chłodnego. Na rysunku 1 przedstawiono typowy rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla półroczna ciepłego (1998 rok), który jest bardzo podobny w pozostałych półroczach ciepłych badanego okresu. Na podstawie tych wartości można stwierdzić, że w półroczu ciepłym najczęściej występujące kierunki wiatru to: W, SE oraz SW. Do najrzadziej występujących kierunków wiatru możemy zaliczyć: N, NW i NE. Dominującymi kierunkami wiatru, przy których wystąpił opad w półroczu ciepłym, były: W i SW. Najmniej opadów wystąpiło przy kierunkach wiatru: N, NW i NE (w 1999 roku tylko N i NW). Największa częstość liczby dni z opadem w stosunku do liczby dni występujących przy danym kierunku wiatru (przy dużej liczbie dni z opadem) zaobserwowano przy kierunku W (w 1998 roku 52%, a w pozostałych latach 37%) i SW (około

40%). Najmniejszą częstość opadu przy danym kierunku wiatru zaobserwowano przy kierunkach NE w roku 1997 i 2000 (0%), SE w 1998 roku (9,5%) oraz kierunku E w 1999 roku (4,3%).

Na rysunku 2 przedstawiono typowy rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla półroczna chłodnego (1997/1998), który w pozostałych półroczach chłodnych rozpatrywanego okresu przedstawia się analogicznie. W półroczu chłodnym w znacznej przewadze występowały wiatry z kierunku W, a w następnej kolejności z kierunku SW i SE. Najrzadziej występował wiatr z kierunku N, NW i NE. Opad najczęściej występował przy wiatrach z kierunku W, SW i SE, a najrzadziej przy kierunkach: N, NE i NW. Największą częstość opadu zaobserwowano przy kierunku W (około 60%). W półroczu chłodnym 1997/1998 dużą częstość opadu zaobserwowano również przy kierunkach NE i NW, na tych kierunkach jednak było mało dni z opadem. Najmniejszą częstość zaobserwowano przy kierunku SW (28%) w półroczu chłodnym 1997/1998, na kierunku E (19%) i SE (20%) w półroczu chłodnym 1998/1999 oraz na kierunkach S (11%) w półroczu chłodnym 1999/2000.

W tabeli 3 przedstawiono rozkład częstości liczby dni z opadem w zależności od kierunku wiatru dla poszczególnych pór roku. W tabeli 4 przedstawiono rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczbę dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla poszczególnych pór roku. Rysunek 3a przedstawia rozkład częstości liczby dni

TABELA 1. Rozkład częstości liczby dni z opadem w zależności od kierunku wiatru dla półrocza ciepłego i chłodnego
TABLE 1. Days with precipitation and wind direction distribution for winter and summer half-year periods

Okresy/Periods		Kierunek wiatru/Direction of wind								Suma Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Półrocze ciepłe 1997 Summer half-year period	n ‰ ¹	0 0	0 0	2 6,5	4 12,9	3 9,7	12 38,7	9 29,0	1 3,2	31 100
Półrocze chłodne 1997/1998 Winter half-year period	n ‰ ¹	0 0	5 6,6	4 5,3	9 11,8	5 6,6	10 13,2	38 50,0	5 6,6	76 100
Półrocze ciepłe 1998 Summer half-year period	n ‰ ¹	1 1,6	4 6,5	5 8,1	4 6,5	6 9,7	14 22,6	27 43,5	1 1,6	62 100
Półrocze chłodne 1998/1999 Winter half-year period	n ‰ ¹	0 0	1 1,3	4 5,0	7 8,8	7 8,8	17 21,3	42 52,5	2 2,5	80 100
Półrocze ciepłe 1999 Summer half-year period	n ‰ ¹	0 0	5 10,0	1 2,0	7 14,0	8 16,0	12 24,0	15 30,0	2 4,0	50 100
Półrocze chłodne 1999/2000 Winter half-year period	n ‰ ¹	0 0	1 1,2	3 3,7	8 9,9	2 2,5	6 7,4	56 69,1	5 6,2	81 100
Półrocze ciepłe 2000 Summer half-year period	n ‰ ¹	0 0	0 0,0	3 7,7	1 2,6	5 12,8	14 35,9	16 41,0	0 0,0	39 100

Objaśnienia/Explanation:

n – liczba przypadków/number of cases,

‰¹ – częstość liczby dni w zależności od kierunku wiatru / wind direction days frequency.

TABELA 2. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczba dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla półrocza ciepłego i chłodnego

TABLE 2. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation for winter and summer half-year periods

Okresy/Periods		Kierunek wiatru/Direction of wind								Suma Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Półrocze ciepłe 1997 Summer half-year period	n	0	1	14	10	12	25	24	3	89
	$\%^1$	0	1,1	15,7	11,2	13,5	28,1	27,0	3,4	100
	$\%^2$	–	0,0	14,3	40,0	25,0	48,0	37,5	33,3	34,8
Półrocze chłodne 1997/1998 Winter half-year period	n	0	8	11	25	17	36	72	5	174
	$\%^1$	0	4,6	6,3	14,4	9,8	20,7	41,4	2,9	100
	$\%^2$	–	62,5	36,4	36,0	29,4	27,8	52,8	100,0	43,7
Półrocze ciepłe 1998 Summer half-year period	n	1	8	15	42	26	34	52	5	183
	$\%^1$	0,5	4,4	8,2	23,0	14,2	18,6	28,4	2,7	100
	$\%^2$	100,0	50,0	33,3	9,5	23,1	41,2	51,9	20,0	33,9
Półrocze chłodne 1998/1999 Winter half-year period	n	0	3	21	35	19	35	67	2	182
	$\%^1$	0,0	1,6	11,5	19,2	10,4	19,2	36,8	1,1	100
	$\%^2$	–	33,3	19,0	20,0	36,8	48,6	62,7	100,0	44,0
Półrocze ciepłe 1999 Summer half-year period	n	0	14	23	39	33	30	40	4	183
	$\%^1$	0	7,7	12,6	21,3	18,0	16,4	21,9	2,2	100
	$\%^2$	–	35,7	4,3	17,9	24,2	40,0	37,5	50,0	27,3
Półrocze chłodne 1999/2000 Winter half-year period	n	0	2	5	22	19	30	92	10	180
	$\%^1$	0	1,1	2,8	12,2	10,6	16,7	51,1	5,6	100
	$\%^2$	–	50,0	60,0	36,4	10,5	20,0	60,9	50,0	45,0
Półrocze ciepłe 2000 Summer half-year period	n	0	1	15	33	23	32	43	1	148
	$\%^1$	0	0,7	10,1	22,3	15,5	21,6	29,1	0,7	100
	$\%^2$	–	0,0	20,0	3,0	21,7	43,8	37,2	0,0	26,4

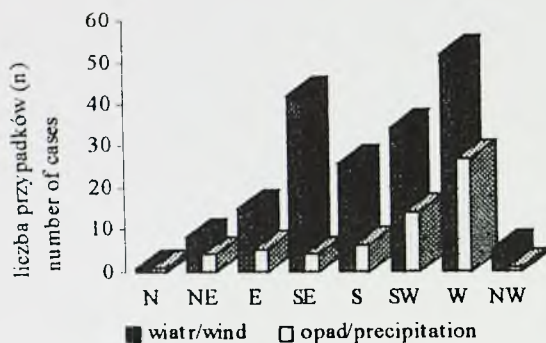
Objaśnienia/Explanation:

n – liczba przypadków / number of cases,

$\%^1$ – częstość liczby dni w zależności od kierunku wiatru / wind direction days frequency,

$\%^2$ – częstość opadu przy danym kierunku wiatru / precipitation with wind direction days frequency,

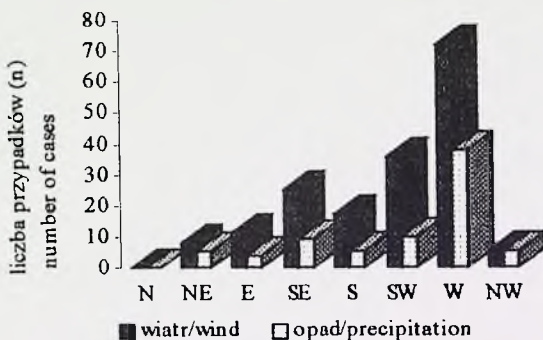
– dany kierunek wiatru w ogóle nie wystąpił / this wind direction did not occur.



RYSUNEK 1. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru w półroczu ciepłym 1998

FIGURE 1. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation in summer half-year period in 1998

RYSUNEK 2. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru w półroczu chłodnym 1997/1998



z opadem w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku, charakterystyczny dla wiosny 1998 roku, a rysunek 3b rozkład tej częstości dla wiosny 2000 roku. Na podstawie tych danych można zaobserwować, że najczęściej występujące kierunki wiatru to W, SE (oprócz 1997 roku) oraz SW (lata 1997 i 1998). Najmniej wiatrów wystąpiło przy kierunkach N, NE i NW. Najwięcej dni z opadem podczas wiosny wystąpiło przy kierunkach wiatru W, SW (lata 1997, 1998) oraz S (lata 1998, 1999). Najmniej takich dni wystąpiło przy kierunkach N i NE. Największą częstość dni z opadem zaobserwowano przy kierunkach W i SW. Duża częstość wystąpiła również przy kierunku NW, jednak ten

kierunek wiatru wystąpił bardzo rzadko (2, 3 razy w badanym okresie). Najmniejszą częstość zaobserwowano przy kierunku NE i SE (w 1998 roku przy największej liczbie dni z wiatrem z tego kierunku).

Na rysunku 4 przedstawiono typowy rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru w okresie lata (1998 roku). Jest on zbliżony dla tej pory roku w innych latach. Najwięcej wiatrów wystąpiło przy kierunkach W i SW, a najmniej przy kierunkach NW, N i NE. Opad najczęściej wystąpił przy kierunku W i SW, najrzadziej zaś przy kierunkach z sektora N. Największą częstość liczby dni z opadem zaobserwowano

TABELA 3. Rozkład częstości liczby dni z opadem w zależności od kierunku wiatru dla poszczególnych pór roku
TABLE 3. Days with precipitation and wind direction distribution for seasons of year

Okresy/Seasons		Kierunek wiatru/Direction of wind								Suma Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Wiosna 1997 Spring 1997	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0, 0,0	2 7,1	3 10,7	2 7,1	11 39,3	8 28,6	2 7,1	28 100
Lato 1997 Summer 1997	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0 0,0	0 0,0	2 25,0	0 0,0	2 25,0	4 50,0	0 0,0	8 100
Jesień 1997 Autumn 1997	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	4 12,9	1 3,2	4 12,9	3 9,7	5 16,1	12 38,7	2 6,5	31 100
Zima 1997 Winter 1997	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	1 2,9	3 8,8	4 11,8	3 8,8	1 2,9	20 58,8	2 5,9	34 100
Wiosna 1998 Spring 1998	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	2 5,9	2 5,9	3 8,8	4 11,8	11 32,4	10 29,4	2 5,9	34 100
Lato 1998 Summer 1998	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0 0,0	3 8,8	2 5,9	1 2,9	8 23,5	20 58,8	0 0,0	34 100
Jesień 1998 Autumn 1998	$\frac{n}{\%}$	1 2,6	3 7,7	3 7,7	4 10,3	3 7,7	8 20,5	17 43,6	0 0,0	39 100
Zima 1998 Winter 1998	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0 0,0	1 2,5	2 5,0	2 5,0	10 25,0	24 60,0	1 2,5	40 100
Wiosna 1999 Spring 1999	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0 0,0	1 3,6	4 14,3	6 21,4	4 14,3	11 39,3	2 7,1	28 100
Lato 1999 Summer 1999	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	4 15,4	0 0,0	3 11,5	5 19,2	7 26,9	6 23,1	1 3,8	26 100
Jesień 1999 Autumn 1999	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	2 6,5	2 6,5	6 19,4	1 3,2	4 12,9	14 45,2	2 6,5	31 100
Zima 1999 Winter 1999	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0 0,0	0 0,0	0 0,0	0 0,0	2 5,0	37 92,5	1 2,5	40 100
Wiosna 2000 Spring 2000	$\frac{n}{\%}$	0 0,0	0 0,0	3 11,1	4 14,8	3 11,1	5 18,5	10 37,0	2 7,4	27 100

cd. tab.1 3.
table 3 cont.

Okresy/Seasons		Kierunek wiatru/Direction of wind								Suma Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Lato 2000 Summer 2000	n % ¹	0 0,0	0 0,0	1 3,7	0 0,0	3 11,1	10 37,0	13 48,1	0 0,0	27 100
Jesień 2000 Autumn 2000	n % ¹	0 0,0	0 0,0	0 0,0	5 33,3	3 20,0	5 33,3	2 13,3	0 0,0	15 100

Objaśnienia jak w tabeli 1.
Explanation like in table 1.

TABELA 4. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczba dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla poszczególnych pór roku

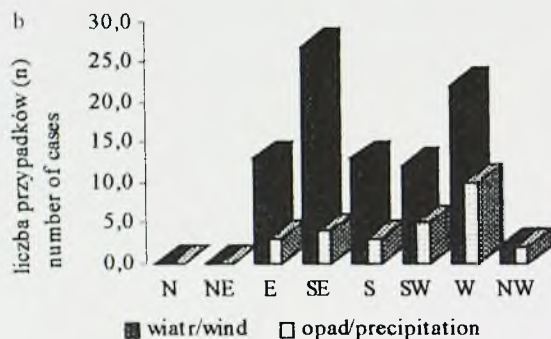
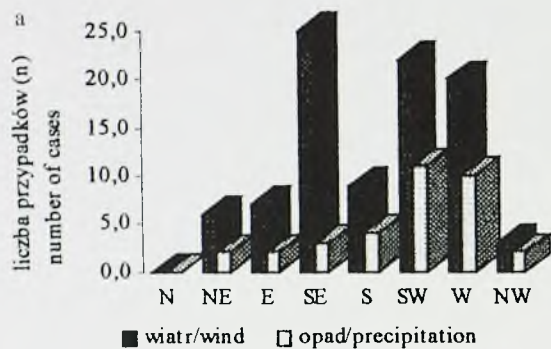
TABLE 4. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation for seasons of year

Okresy/Seasons		Kierunek wiatru/Direction of wind								Suma Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Wiosna 1997 Spring 1997	n	0	2	9	9	11	29	25	2	87
	% ¹	0,0	2,3	10,3	10,3	12,6	33,3	28,7	2,3	100
	% ²	—	0,0	22,2	33,3	18,2	37,9	32,0	100,0	32,2
Lato 1997 Summer 1997	n	0	0	7	4	1	4	5	0	21
	% ¹	0,0	0,0	33,3	19,0	4,8	19,0	23,8	0,0	100
	% ²	—	—	0,0	50,0	0,0	50,0	80,0	—	38,1
Jesień 1997 Autumn 1997	n	0	4	3	12	10	12	28	4	73
	% ¹	0,0	5,5	4,1	16,4	13,7	16,4	38,4	5,5	100
	% ²	—	100,0	33,3	33,3	30,0	41,7	42,9	50,0	42,5
Zima 1997 Winter 1997	n	0	3	6	10	7	16	38	2	82
	% ¹	0,0	3,7	7,3	12,2	8,5	19,5	46,3	2,4	100
	% ²	—	33,3	50,0	40,0	42,9	6,3	52,6	100,0	41,5
Wiosna 1998 Spring 1998	n	0	6	7	25	9	22	20	3	92
	% ¹	0,0	6,5	7,6	27,2	9,8	23,9	21,7	3,3	100
	% ²	—	33,3	28,6	12,0	44,4	50,0	50,0	66,7	37,0

Lato 1998 Summer 1998	n $\%^1$ $\%^2$	0 0,0 —	0 0,0 —	7 7,6 42,9	9 9,8 22,2	11 12,0 9,1	21 22,8 38,1	41 44,6 48,8	3 3,3 0,0	92 100 37,0
Jesień 1998 Autumn 1998	n $\%^1$ $\%^2$	1 1,1 100,0	4 4,4 75,0	11 12,1 27,3	28 30,8 14,3	10 11,0 30,0	15 16,5 53,3	22 24,2 77,3	0 0,0 —	91 100 42,9
Zima 1998 Winter 1998	n $\%^1$ $\%^2$	0 0,0 —	2 2,2 0,0	6 6,7 16,7	9 10,0 22,2	11 12,2 18,2	19 21,1 52,6	42 46,7 57,1	1 1,1 100,0	90 100 44,4
Wiosna 1999 Spring 1999	n $\%^1$ $\%^2$	0 0,0 —	2 2,2 0,0	16 17,4 6,3	22 23,9 18,2	19 20,7 31,6	10 10,9 40,0	20 21,7 55,0	3 3,3 66,7	92 100 30,4
Lato 1999 Summer 1999	n $\%^1$ $\%^2$	0 0,0 —	8 8,7 50,0	9 9,8 0,0	14 15,2 21,4	18 19,6 27,8	20 21,7 35,0	21 22,8 28,6	2 2,2 50,0	92 100 28,3
Jesień 1999 Autumn 1999	n $\%^1$ $\%^2$	0 0,0 —	5 5,5 40,0	9 9,9 22,2	24 26,4 25,0	8 8,8 12,5	14 15,4 28,6	28 30,8 50,0	3 3,3 66,7	91 100 34,1
Zima 1999 Winter 1999	n $\%^1$ $\%$	0 0,0 —	1 1,1 0,0	0 0,0 —	4 4,4 0,0	10 11,0 0,0	16 17,6 12,5	55 60,4 67,3	5 5,5 20,0	91 100 44,0
Wiosna 2000 Spring 2000	n $\%^1$ $\%$	0 0,0 —	0 0,0 —	13 14,6 23,1	27 30,3 14,8	13 14,6 23,1	12 13,5 41,7	22 24,7 45,5	2 2,2 100,0	89 100 30,3
Lato 2000 Summer 2000	n $\%^1$ $\%$	0 0,0 —	1 1,1 0,0	3 3,4 33,3	12 13,8 0,0	12 13,8 25,0	23 26,4 43,5	35 40,2 37,1	1 1,1 0,0	87 100 31,0
Jesień 2000 Autumn 2000	n $\%^1$ $\%$	0 0,0 —	0 0,0 —	1 2,0 0,0	23 46,9 21,7	10 20,4 30,0	10 20,4 50,0	5 10,2 40,0	0 0,0 —	49 100 30,6

Objaśnienia jak w tabeli 2.

Explanation like in table 2.

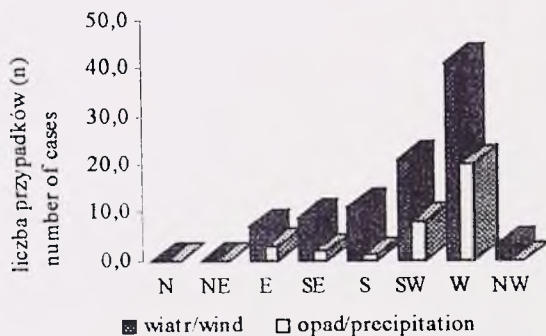


RYSUNEK 3. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru podczas wiosny: a – 1998 roku, b – 2000 roku

FIGURE 3. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation in spring: a – 1998, b – 2000

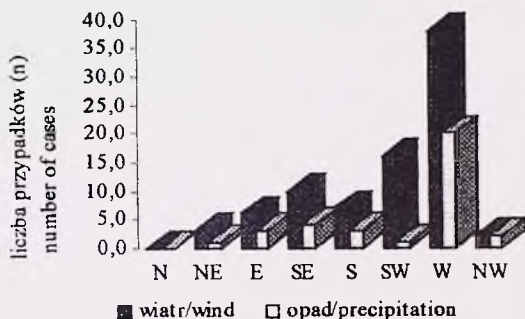
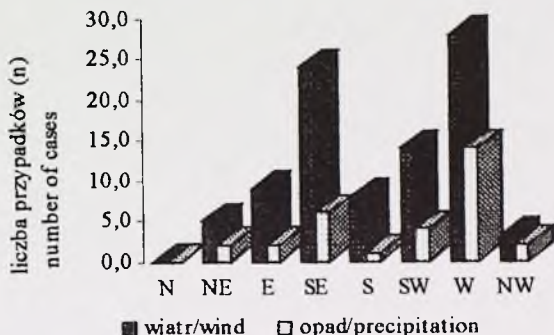
RYSUNEK 4. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru podczas lata 1998 roku

FIGURE 4. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation in summer 1998



RYSUNEK 5. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru podczas jesieni 1999 roku

FIGURE 5. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation in autumn 1999



RYSUNEK 6. Rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru podczas zimy 1997 roku

FIGURE 6. Wind direction frequency distribution and number of days with precipitation in winter 1997

przy kierunku W, SW oraz NW w 1999 roku, jednak przy małej liczbie dni z opadem. Najmniejsza częstość wystąpiła przy kierunkach E (lata 1997 i 1999), NW (lata 1998 i 2000) oraz NE (2000 rok).

Na rysunku 5 przedstawiono typowy rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru dla jesieni (1999 rok). Najczęściej występujące kierunki wiatru to SE, W i SW. Najrzadziej występujące kierunki wiatru podczas tej pory roku to: N i NW. Największa liczba dni z opadem w zależności od kierunku wiatru na jesieni wystąpiła dla wiatru o kierunkach W, SW i SE. Najmniej dni z opadem było przy wietrze o kierunkach N, NE i E. Największą częstość

liczby dni z opadem zaobserwowano przy kierunku W (1997–1999) i SE, SW w 2000 roku. Najmniejszą częstość zaobserwowano przy wiatrach o kierunku N, NW oraz NE i E w latach 1999–2000.

Na rysunku 6 przedstawiono typowy rozkład częstości liczby dni w zależności od kierunku wiatru oraz liczby dni z opadem przy danym kierunku wiatru podczas zimy. Najczęściej wiatr występował z kierunku W i SW, a najrzadziej z kierunku N i NW. W tej porze roku można zaobserwować wyraźną przewagę liczby dni z opadem dla wiatrów o kierunku W. Najmniej dni z opadem występuje przy wietrze z kierunku N i NE, w 1999 roku również przy kierunkach E, SE i E. Największą częstość liczby dni z opadem

zaobserwowano przy kierunku W, w latach 1997 i 1998 również przy kierunku NW, jednak dla małej liczby dni z opadem. Najmniejszą częstość zaobserwowano dla wiatru o kierunku NE (lata 1998 i 1999), SW (1997 rok).

Podsumowanie i wnioski

Przy najczęściej występujących wiatrach (z kierunku W) zaobserwowano największą częstość liczby dni z opadem oraz dużą częstość opadu przy danym kierunku wiatru. Częstość ta waha się od 37% w półroczu ciepłym 2000 roku do 63% w półroczu chłodnym 1998/1999 (tab. 2). Przy podziale na pory roku częstość ta wynosi od 77% jesienią 1998 roku do 29% latem 1999 roku (tab. 4). Większe wartości tej częstości występują w pojedynczych przypadkach na kierunkach N, NE, NW, ale przy liczebności (n) wynoszącej kolejno 1, 4 i 2.

Drugim najczęściej występującym kierunkiem wiatru, przy którym wystąpił opad, jest kierunek SW. Częstość opadu przy tym kierunku wiatru wynosi od 20% dla półrocza chłodnego 1999/2000 do 49% dla półrocza chłodnego 1998/1999 (tab. 2). W poszczególnych porach roku częstość ta waha się od 6,3% zimą 1997 roku do 53% jesienią 1998 roku (tab. 4).

Trzecim najczęściej występującym kierunkiem wiatru, przy którym wystąpił opad jest kierunek SE. Częstość opadu przy tym kierunku wynosi od 3% dla półrocza ciepłego 2000 roku do 40% dla półrocza ciepłego 1997 roku (tab. 2), a dla podziału na pory roku wartości te wynoszą odpowiednio 0% zimą 1999 roku

i latem 2000 roku oraz 40% zimą 1997 roku (tab. 4).

Do najrzadziej występujących kierunków, przy których opad wystąpił najrzadziej, można zaliczyć kierunki NE, NW i N. Częstość opadu przy kierunku NE wyniosła od 0% dla półrocza ciepłego 1997 roku do 63% dla półrocza chłodnego 1997/1998 (tab. 2). Dla podziału na pory roku wartości te wynoszą odpowiednio 0% dla wiosny 1997 i 1999 roku i zimy 1998 i 1999 roku oraz lata 2000 do 100% jesienią 1997 roku (przy zaobserwowanych 4 przypadkach) (tab. 4). Częstość opadu przy wietrze kierunku NW wyniosła od 0% dla półrocza ciepłego 2000 roku do 100% dla półrocza chłodnego 1997/1998 (5 przypadków) oraz półrocza chłodnego 1998/1999 (2 przypadki) (tab. 2). Przy podziale na pory roku częstość opadu przy wietrze z tego kierunku wynosi od 0% latem 1998 roku i 2000 roku do 100% wiosną 1997 roku, wiosną 2000 roku, zimą 1997 roku (po 2 przypadki) oraz zimą 1998 roku (1 przypadek) (tab. 4).

Literatura

- OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B. 1968: Rozkład dni z opadem w Polsce. *Przegląd Geofizyczny* 4, 375–385.
- PARCZEWSKI W. 1978: Materiały do wykładów z meteorologii i klimatologii. Wydaw. PW, Warszawa.
- SCHMUCK A. 1967: Wpływ miasta na opady atmosferyczne. *Przegląd Geofizyczny* 3–4, 293–309.

Summary

The research was realized in the period from January 1997 to December 2000. The following characteristics were worked out:

days with precipitation and wind direction distribution for winter half-year and summer half-year periods and for whole year, wind direction frequency distribution and number of days with precipitation winter and summer half-year and seasons of year. The greatest number of days with precipitation was registered for W wind direction. High frequency of days with precipitation was registered for thin or thin range of wind direction. Greater number of these frequency were registered with single cases for directions N, NE, NW but with low number of these days. Second most frequent wind direction with precipita-

tion is SW and third is SE. Directions NE, NW, N are the least frequent when precipitation is occurred.

Author's address:

A. Błędzińska
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Bonifacy ŁYKOWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Meteorologii i Klimatologii

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Devision of Meteorology and Climatology

Termiczne róże wiatru w Ursynowie -SGGW

Thermal wind roses at Ursynów WAU

Wprowadzenie

W przebiegu rocznym temperatury powietrza występują często zmiany temperatury z dnia na dzień, które mają charakter nieokresowy. Zmiany te są wywołane napływem (adwekcją) mas atmosferycznych z różnych kierunków, mających różne właściwości fizyczne (temperaturę, wilgotność i inne). W meteorologii wykonuje się pomiary kierunku i prędkości tzw. wiatru dolnego, który jest pod działaniem siły tarcia i dlatego kierunek tego wiatru z pewnym przybliżeniem odzwierciedla kierunek napływu danej masy atmosferycznej. Ze względów praktycznych (działalność człowieka, życie roślin i zwierząt odbywa się na powierzchni ziemi) w klimatologii posługuje się głównie parametrami wiatru dolnego. Natomiast dla określonych potrzeb (służba pogody, transport lotniczy i inne) wykonywane są także pomiary kierunku i prędkości wiatru tzw. górnego, który to wiatr występuje powyżej ok. 500 m n.p.g. (nie działa siła tarcia o podłoże).

Do badań nad związkami między temperaturą powietrza a kierunkiem wiatru (napływem mas atmosferycznych) stosowana jest termiczna róża wiatrów, którą można przedstawić zarówno w postaci liczbowej (tabelarycznej), jak i w formie graficznej, na wykresie. Ciekawą formę termicznej róży wiatru zastosował Schmuck (1949).

Materiał i metoda

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów kierunku i prędkości wiatru oraz temperatury powietrza na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW ($\varphi = 52^{\circ}09'$, $\lambda = 21^{\circ}03'$, $H = 102,5$ m n.p.g.). Obliczenia wykonano na podstawie pomiarów o godz.: 0, 6, 12, 18 GMT. Opracowano termiczne róże wiatru oddzielnie dla okresów 1960–1975 oraz 1993–2000. Wydzielenie tych okresów jest związane ze zmianami w otoczeniu stacji. Do 1975 roku tereny wokół stacji Ursynów-SGGW były użytkowane rolniczo,

a odległość od najbliższych osiedli mieszkaniowych Warszawy wynosiła 2,5 km. Od 1975 roku rozpoczęto budowę zespołu osiedli mieszkaniowych gminy Warszawa-Ursynów (obecnie około 140 tys. mieszkańców) i do 1980 roku zwarta zabudowa mieszkaniowa zbliżyła się na odległość 450–700 m od stacji meteorologicznej na kierunkach: ESE, S, SW. Ten fakt został wykorzystany do podjęcia próby określenia wpływu osiedli mieszkaniowych Ursynowa i Natolina na parametry termicznej róży wiatru na stacji Ursynów- SGGW.

Charakterystykę warunków termicznych występujących w badanym okresie opracowano, przyjmując stację meteorologiczną Warszawa-Okęcie jako stację odniesienia (Atlas... 1973, Miesięczny... 1980–2000).

Wyniki

W tabeli 1 przedstawione zostały podstawowe charakterystyki temperatury powietrza na stacji Warszawa-Okęcie w celu porównania warunków termicznych występujących w latach 1960–1975 i 1993–2000. Stacja Okęcie może być reprezentatywna w dłuższym okresie, gdyż ze względu na lotnisko komunika-

cyjne nie zachodzą w otoczeniu stacji istotne zmiany (zwłaszcza w zabudowie). Z liczb zawartych w tabeli 1 wynika, że okres 1960–1975 charakteryzował się wyraźnie niższą temperaturą powietrza w styczniu aniżeli w latach 1993–2000, natomiast temperatura lipca była w rozważanych okresach bardzo zbliżona. W latach 1960–1975 (przed wybudowaniem osiedli Ursynowa i Natolina) temperatura powietrza na stacjach Ursynów-SGGW i Okęcie zarówno w styczniu, jak i w lipcu była bardzo zbliżona, a w latach 1993–2000, w obydwu miesiącach, temperatura w Ursynowie była wyższa aniżeli na Okęciu. Nasuwa się więc przypuszczenie, że po wybudowaniu osiedli mieszkaniowych Ursynowa temperatura powietrza na tym obszarze wzrosła. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że okres lat 1993–2000 jest zbyt krótki do porównań.

W tabeli 2 zamieszczone zostały liczbowe dane termicznej róży wiatru dla rozważanych miesięcy i okresów lat, a na rysunku 1 przedstawione zostały graficzne (rozwinęte) termiczne róży wiatru dla rozważanych przypadków.

Z analizy danych zawartych w tabeli 2 wynika, że w styczniu najniższa temperatura występowała przy kierunku wiatru ENE ($-8,7^{\circ}\text{C}$) w okresie 1960–1975 i $-7,2^{\circ}\text{C}$ na kierunku N w okresie 1993–2000. Niewiele wyższe wartości tempe-

TABELA 1. Średnie wartości temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$)

TABLE 1. Mean values of air temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Stacja/Station	Okresy/Periods			
	Styczeń/January		Lipiec/July	
	1960–1975	1993–2000	1960–1975	1993–2000
Warszawa-Okęcie	– 3,9	–1,4	18,3	18,5
Warszawa-Ursynów	–3,8	–0,8	18,0	19,3

TABELA 2. Charakterystyki termiczne róż wiatru na stacji Ursynów-SGGW

TABLE 2. Characteristics of thermal wind roses at Ursynów WAU meteorological station

Styczeń/January

Kierunek Direction	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C Calm
Rok Year																	
1961	-7,9	-7,5	-8,2		-7,1	0,1	-2,2	-4,4	1,4		-2,7	-3,1	-4,8	-0,5	-2,6	0,6	
1962	-8,2	-10,1	-9,2		-14,5		1,9	-0,9	2,2	2,2	1,8	0,1	-0,1		0,4	-2,2	
64	-7,5	-0,5			-8,1		-6,3	-2,8	-3,8	-1,1	-5,3	-1,4	-2,8	-2,0	-5,4	-2,0	-5,9
65	-2,1		-1,0		-1,6	-0,7	-3,4		0,2	0,6	1,4		0,2		-2,2	-0,2	-0,6
66	-6,0	-6,7	-6,0		-6,0		-4,9	-3,4	0,5		3,5		-4,5		-3,2	-3,7	-8,0
67	-6,7		-9,5		-13,0		-7,5	-3,2	-5,2		-2,0		-2,0		-6,2		-3,9
68	-7,0	-10,3			-6,0		-7,0		-3,3	-7,8	-3,4	-6,6	-1,8		-2,6		-4,4
69	-5,5				-9,5	1,4	-5,3		-11,0	-2,7	0,1	0,6	-8,3		-1,8		-11,5
1970	-9,8	-8,9	-8,0	-6,2	-10,4		-3,2	2,9	-0,9	0,7	-2,8		-7,9		-3,7		-0,2
71	-7,0	-11,0	-12,6		-5,3		-2,1	-5,0	-1,6	6,8	1,0		-8,0				-7,0
72	-6,2		-7,8	-11,3	-8,2		-7,5	-1,3	-4,4		-5,6		-2,3		-3,5		
73	-0,8	-4,0	-3,9		-3,9		-5,0	2,6	-3,1		-2,3		-0,7		-1,9	-0,3	2,7
74					-2,7		-4,4	1,8	1,2	1,3	1,2		2,0		1,0	1,4	3,4
75	-4,6				-0,4		2,4		2,6	4,2	3,8		3,5		2,9		
Średnia Mean	-6,1	-7,4	-7,4	-8,7	-6,9	0,3	-3,9	-1,4	-1,8	0,5	-0,8	-2,1	-2,7	-1,3	-2,2	-0,9	-3,5

ed. tabeli 2
cont. tab. 2

Styczeń January

Kierunek Direction	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C Calm
Rok Year																	
1993																	
94		1,1			2,4	0,1	3,90	3,50	3,4	1,40	3,1	3,00	2,1	-0,30	0,6		3,0
95	-2,2	-3,6		-3,8	-6,5	-6,7	-4,40	-1,40	-0,4	2,50	2,0	0,80	-0,5	-0,60	-1,6		-8,6
96	-9,7	-4,3	-14,4	-10,8	-7,1	-1,8	-0,30			-5,40	-0,7	-4,00	-3,0	-4,90			-7,1
97				-10,3	-8,5	-7,7	-4,10	-5,10		-2,60	-3,2	-3,10	-2,5				-12,4
98		-1,0	1,8	-4,6	-0,3	-2,1	-2,00	1,80	3,1	3,30	3,3	0,80	1,7	-1,60	3,7		-4,2
99	-15,7	-3,5	-7,8	-10,1	-2,4	-1,30	-0,50	-1,2	1,20	1,6	3,40	3,1	-2,50	0,4	-5,20		-1,5
2000	-1,4			1,4	-8,5	-5,8	-2,25	-3,03	0,5	-1,93	1,8	-0,05	-0,2	-0,16	0,8	-1,85	-13
2001		0,8	1,4	1,6	0,4	-1,2	-2,10	-2,10	1,1	3,9	0,4	5,20	1,4	1,00	0,5	1,60	0,8
Średnia Mean	-7,2	-1,8	-4,8	-5,2	-4,0	-3,5	-1,60	-1,00	1,1	0,30	1,1	0,80	0,2	-1,30	0,7	-1,80	-5,4

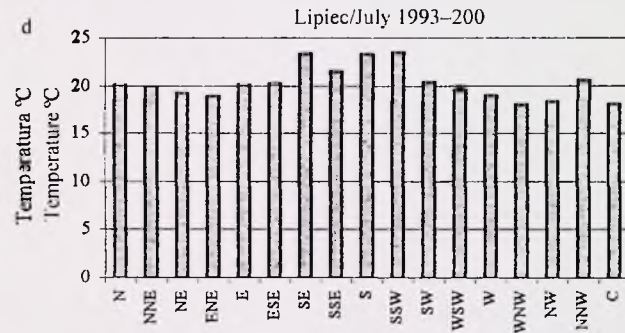
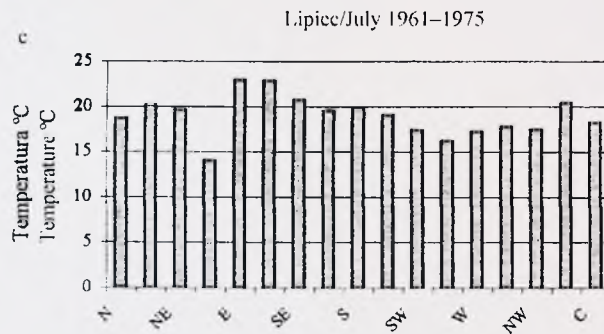
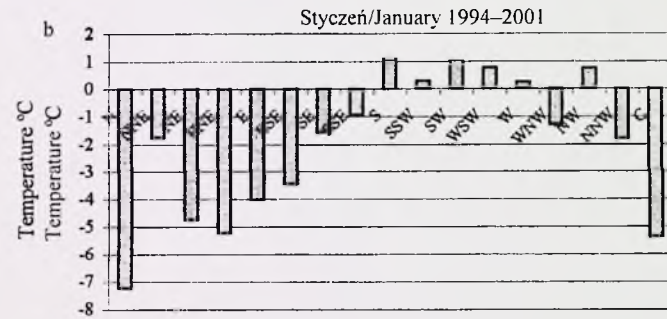
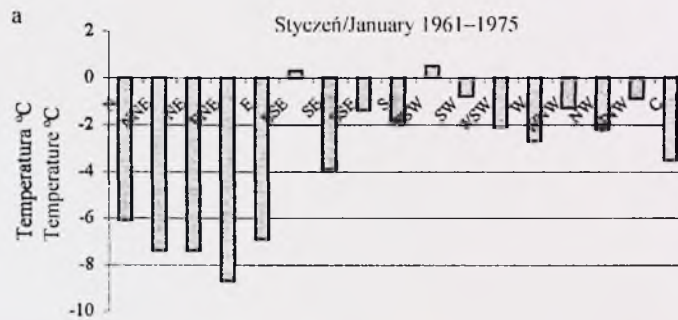
cd. tab. 2
cont. tab. 2

Lipiec/July

Kierunek Direction	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C Calm
Rok Year																	
1961	18,8	24,2	20,2	13,0			19,1	15,1	18,9	16,3	16,2	14,7	16,2	17,3	16,5	13,1	22,6
1962	19,3	17,0	16,1				16,0		20,4	13,2	16,2	15,8	15,0	16,1	18,5		
63	18,2	21,2	19,2		31,2	22,0	21,0	24,0	17,8	22,5	17,0	18,9	18,1	20,1	21,4	21,2	20,8
64	21,5	23,4			25,2		13,6		20,4		18,5		17,7		17,3		18,7
65	23,0		16,7		18,6		22,8		15,7		15,1	14,6	15,5		14,5		16,7
66	18,0		23,4		23,0		20,7		19,2		18,6		17,2		15,5		18,3
67	19,3		23,4		20,1		21,4		21,7		17,1	18,2	19,0		18,8		18,5
68	16,8	18,0	18,1		18,2		22,2		20,7	13,6	17,9		16,3		15,6		16,8
69	18,4				22,3	30,0	23,1		17,5	26,3	14,9	23,0	17,9		17,6	18,0	17,0
1970	15,8		20,2		23,7		21,2	20,1	17,7		15,6	13,6	16,7		17,4		17,5
71	17,7	15,4	15,6	14,9	25,6	16,4	24,5	20,4	22,9	28,0	16,0	10,6	17,8		19,5	17,9	15,5
72	18,8		22,2		25,4		19,8		26,2		21,2		19,4		18,1		20,4
73	18,4	21,9	20,3		19,1		24,0	19,3	14,8	11,0	18,8		16,4		14,8		17,4
74	17,5				22,4		17,7	17,8	19,0	21,4	16,0		14,8		16,5		16,2
75	19,0		20,3		22,8		23,3		24,1		21,3		19,6		21,2	31,6	18,4
Srednia Mean	18,7	20,2	19,6	14,0	22,9	22,8	20,7	19,5	19,8	19,0	17,4	16,2	17,2	17,8	17,5	20,4	18,2

ed. tabeli 2
cont. tab. 2

Kierunek Direc- tion	Lipiec/July																
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C Calm
Rok Year																	
1993	24,0	15,3		19,8		19,9		17,7	17,6	23,6	20,3	17,5	15,9	16,4	15,9		17,5
94	21,9	19,1	21,7	20,7	26,3	26,4	26,2	24,3		31,6		28,0	25,7		24,2	29,1	21,7
95	21,4	23,4	20,1	17,0	20,1	21,3	21,6	24,2	27,0	25,2	17,7	19,8	18,4	20,8	15,8		20,6
96	17,8			15,4	18,9	15,5		19,3	19,5	17,6		18,1	16,4	17,3	15,3	16,4	14,9
97	18,0	21,2	19,6	16,3	19,7						22,5	18,1		16,9		17,3	15,7
98	19,0	23,7		23,0	19,9	21,1	22,1	21,1	29,9	18,9	19,0	21,7	18,8	18,2	17,0		
99	21,2	18,9	18,9	22,0	21,3	21,4	23,4	26,1	22,4	26,2	22,5	19,5	19,1	21,2	19,2	25,5	19,2
2000	17,8	17,4	15,8	17,0	14,7	15,9	23,4	17,6		21,0	22,0	15,2	17,6	17,3	19,5	16,0	16,2
Śred- nia Mean	20,1	19,8	19,2	18,9	20,1	20,2	23,3	21,5	23,3	23,4	20,3	19,5	18,9	18,0	18,3	20,6	18,1



RYSUNEK I. Termiczne róże wiatru na stacji Ursynów-SGGW
FIGURE I. Thermal wind roses at Ursynów WAU meteorological station

ratury występują przy kierunkach wiatru od N do E (około -5°C do $-7,0^{\circ}\text{C}$), a w okresie 1993–2000 nawet ESE ($-3,5^{\circ}\text{C}$). Można to przypisać napływowi chłodnego powietrza polarno-kontynentalnego z Azji. Bardzo dobrze ilustruje powyższe charakterystyki rysunek 1a. Najwyższa temperatura powietrza w styczniu w okresie 1960–1975 miała miejsce przy kierunkach wiatru z ESE, SSW i była dodatnia ($0,3$ – $0,5^{\circ}\text{C}$), a w latach 1994–2001 dodatnia temperatura w styczniu wystąpiła przy kierunkach wiatru od S do W ($0,3$ – $1,1^{\circ}\text{C}$).

W lipcu najwyższa temperatura powietrza jest związana z napływem powietrza z kierunku E i ESE ($22,9^{\circ}\text{C}$), a przybliżone wartości temperatury występują przy kierunkach napływu powietrza z SE, S, SSE, NE, N i NNW. Zróżnicowanie temperatury w zależności od kierunku wiatru w lipcu jest stosunkowo małe (od $22,9^{\circ}\text{C}$ do $17,2^{\circ}\text{C}$). Ze względu na to, że niektóre kierunki wiatru nie występowały we wszystkich przypadkach, przy małej liczbie danych niektóre średnie miesięczne wartości zostały pominięte w analizie (np. ENE, ESE z okresu 1961–2000). Różne wiatru na rysunku 1 c, d pokazują, że w okresie 1960–1975 w lipcu zaznacza się większe zróżnicowanie temperatury powietrza w zależności od kierunku wiatru aniżeli w latach 1993–2000, szczególnie przy kierunkach z sektorów SW, WSW, W. Przy analizie wyników pominięto przypadki ciszy, gdyż o wartościach temperatury decydują wtedy w znacznym stopniu pojedyncze sytuacje pogodowe i zagadnienie to należy potraktować jako oddzielny problem badawczy.

Podsumowanie i wnioski

Porównanie róż wiatru w okresach lat 1961–1975 (styczeń mroźny, lipiec normalny) i 1993–2000 (styczeń zbliżony do normy, lipiec normalny) wskazuje, że nawet w okresie mroźnej zimy, przy kierunku wiatru SSW, może wystąpić dodatnia wartość średniej temperatury w styczniu. W przypadku niezbyt chłodnej zimy, dodatnia temperatura stycznia występuje przy kierunkach wiatru z całego kwartału sektorów od S do W.

Najniższa temperatura powietrza w styczniu jest związana z kierunkiem wiatru NNE i NE w przypadku mroźnych zim oraz N, ENE, NE, E, a nawet ESE w przypadku zim zbliżonych do normy.

W badanych okresach lat lipiec charakteryzował się podobnymi warunkami termicznymi, zbliżonymi do normy wieloletniej.

Próba oceny oddziaływania aglomeracji warszawskiej oraz istotnych zmian w otoczeniu stacji Ursynów-SGGW (lata 1960–1975 – tereny rolnicze, 1993–2000 – osiedla mieszkaniowe Ursynowa-Natolina) nie dała wyraźnych wyników, głównie ze względu na zbyt krótki okres pomiarowy kierunków wiatru po wybudowaniu osiedli. Dodatkową trudność w badaniach stanowi znaczne zróżnicowanie temperatury w styczniu w okresie przed wybudowaniem osiedli (wystąpiły ostre zimy) i po wybudowaniu (zimy zbliżone do normy).

Mając na uwadze, że temperatura lipca w rozważanych okresach była zbliżona do normy, można na podstawie porównań ze stacją Warszawa-Okęcie przyjąć sugestię, że temperatura powietrza w li-

pcu (ewentualnie w półroczu letnim) wzrosła po wybudowaniu osiedli o $0,8^{\circ}\text{C}$. Z kolei z wykresu róż wiatru (rys. 1c,d) wynika, że w latach 1993–2000 wystąpiło podwyższenie temperatury, lecz na kierunkach SW, WSW, W, a w tych sektorach, w otoczeniu stacji Ursynów- - SGGW, nie zaszły większe zmiany.

Literatura

- Atlas klimatyczny Polski 1973. Wydaw. Kom. i Łącz., Warszawa.
- Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny* 1980–2000.
- SCHMUCK A. 1949: Wiatr a temperatura i parowanie we Wrocławiu. *Prace Wrocl. Tow. Nauk. Seria B*, 12, 5–22.

Summary

Mean values of air temperature of each direction of wind was calculated (tab. 2). Ursynów District (approx. 1500 ha) is a study area. Until 1975 it was agriculturally utilized area and since 1980 was appropriated for housing. Thermal wind roses for the periods 1960–1975 and 1993–2000 is given in fig. 1.

Author's address:

B. Łykowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Małgorzata KLENIEWSKA

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Wyniki badań zależności stężenia dwutlenku siarki od temperatury powietrza w Warszawie-Ursynowie Results of the research on relationship between sulphur dioxide concentration and air temperature in Warsaw-Ursynów

Wstęp

Warunki meteorologiczne odgrywają ważną rolę w procesach rozprzestrzeniania i przemian zanieczyszczeń w atmosferze, przez co wpływają w znaczący sposób na jakość powietrza atmosferycznego. Znajomość zależności stężenia zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym od wartości poszczególnych czynników meteorologicznych (temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, kierunku i prędkości wiatru, wysokości opadu) jest istotna przede wszystkim dla celów prognozowania jakości powietrza atmosferycznego. Zależność stężenia dwutlenku siarki od wilgotności względnej powietrza oraz kierunku i prędkości wiatru w Ursynowie były już przedmiotem badań (Kleniewska 2000 i 2001).

W niniejszej pracy przedstawiono wstępne analizy zależności stężenia dwutlenku siarki od temperatury powietrza.

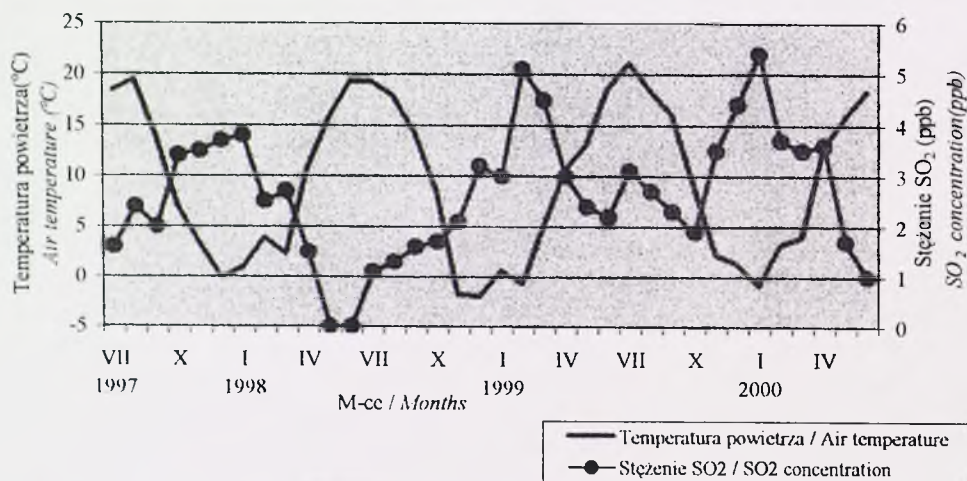
Materiał i metoda

Jako materiał wyjściowy posłużyły średnie wartości 10-minutowe dla każdej godziny (średnia z okresu 10 minut poprzedzających pełną godzinę) temperatury powietrza i stężenia dwutlenku siarki ze stacji Warszawa-Ursynów-SGGW za okres od VII 1997 roku do VI 2000 roku. Na ich podstawie obliczono średnie dobowe i miesięczne wartości omawianych parametrów. Na podstawie wartości średnich dobowych obliczono średnie stężenie dwutlenku siarki w założonych przedziałach temperatury powietrza z krokiem co dwa stopnie dla półroczy chłodnych, tj. od X 1997 roku do III 1998 roku, od X 1998 roku do III 1999 roku, od X 1999 roku do III 2000 roku. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach od 1 do 8.

Wyniki

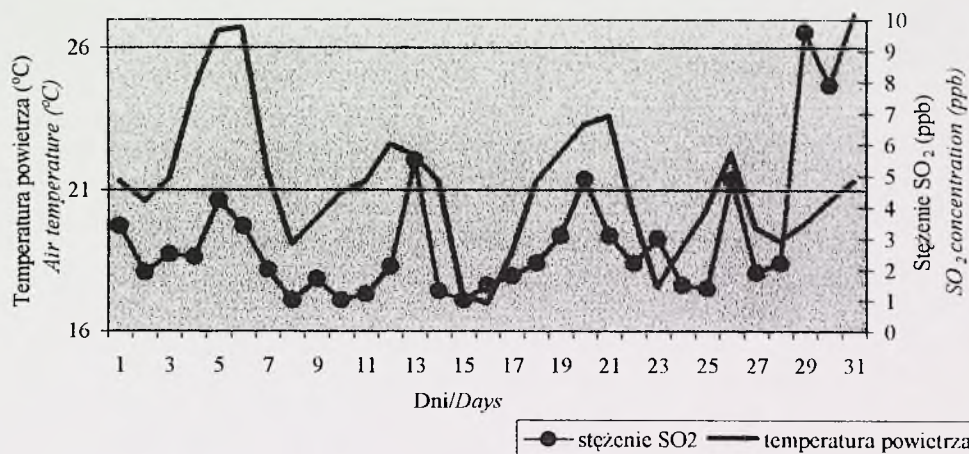
Na rysunku 1 przedstawiono roczny przebieg stężenia dwutlenku siarki i temperatury powietrza w rozpatrywanym okresie, wykonany na podstawie wartości średnich miesięcznych. Zaznacza się wzrost stężenia dwutlenku siarki przy spadku temperatury powietrza i odwrotnie. Zależność taką stwierdzili między innymi Miczyński i inni (1997) oraz Surajak i Tomaszewska (1992), którzy wykazali, że przy spadku temperatury powietrza stężenie dwutlenku siarki wzrasta. Taki związek stężenia dwutlenku siarki i temperatury powietrza nie jest jednak charakterystyczny dla całego rozpatrywanego okresu. Obserwowana jest zarówno wprost proporcjonalna, jak i odwrotnie proporcjonalna zależność badanych parametrów.

Juda i Chróściel (1980), przedstawiając wyniki badań nad przemianami dwutlenku siarki w atmosferze, wykazali, że przy spadku temperatury powietrza współczynnik przemiany dwutlenku siarki rośnie, a więcej przereagowanego dwutlenku siarki oznacza mniejsze jego stężenie w powietrzu. Wprost proporcjonalna zależność stężenia dwutlenku siarki od temperatury powietrza zaznacza się przede wszystkim w cieplej porze roku (rys. 2 i 3). Zjawisko mniejszego stężenia dwutlenku siarki przy niższej temperaturze można wyjaśnić tym, że reakcja konwersji dwutlenku siarki do trójtlenku siarki zachodzi z wydzielaniem ciepła, a optymalne warunki dla jej przebiegu to temperatura wewnętrzna reakcji 400–600°C, stąd niska temperatura otoczenia powoduje szybsze odprowadzenie ciepła reakcji i wzrost wydajności utleniania.



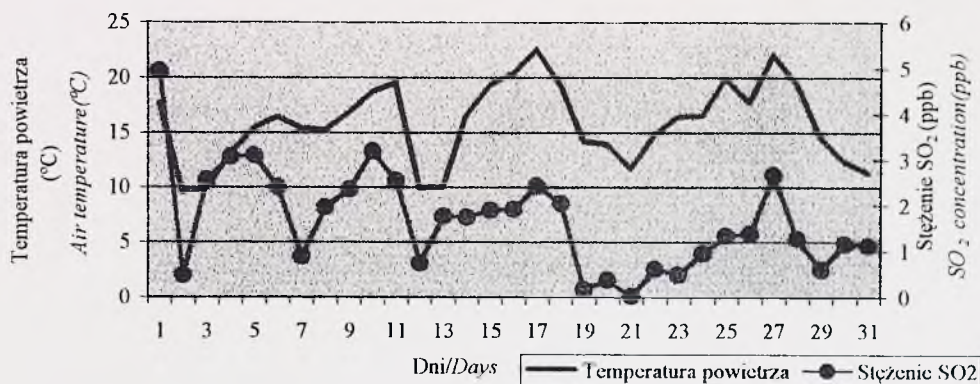
RYSUNEK 1. Przebieg roczny stężenia dwutlenku siarki (ppb) i temperatury powietrza (°C) od lipca 1997 roku do czerwca 2000 roku w Warszawie-Ursynowie

FIGURE 1. Annual course of sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) since July 1997 to June 2000 in Warsaw-Ursynów



RYSUNEK 2. Przebieg miesięczny stężenia dwutlenku siarki (ppb) i temperatury powietrza (°C) w lipcu 1999 roku w Warszawie-Ursynowie

FIGURE 2. Monthly course of sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) in July 1999 in Warsaw-Ursynów



RYSUNEK 3. Przebieg miesięczny stężenia dwutlenku siarki (ppb) i temperatury powietrza (°C) w maju 2000 roku w Warszawie-Ursynowie

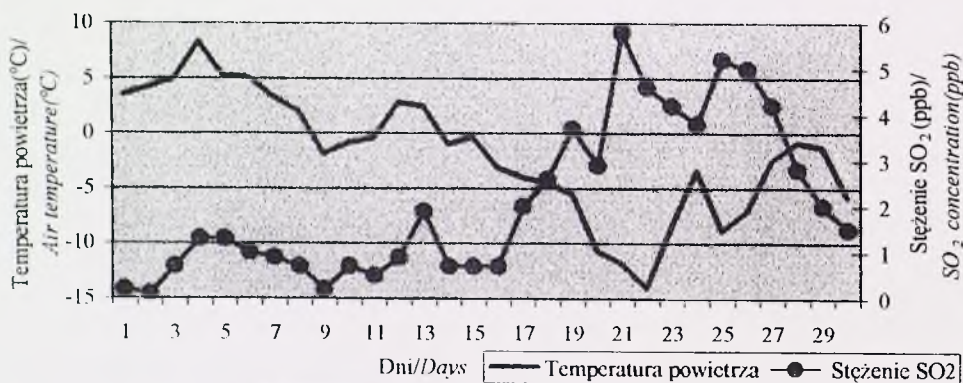
FIGURE 3. Monthly course of sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) in May 2000 in Warsaw-Ursynów

W pracy autorki (Kleniewska 2000) dotyczącej wpływu wilgotności względnej na stężenie dwutlenku siarki wykazano, że przy spadku wilgotności względnej powietrza stężenie dwutlenku siarki rośnie, co jest wynikiem spadku wydajności reakcji katalitycznego utleniania dwutlenku siarki zachodzącego w fazie cieplej. Oznacza to, że przy wzroście temperatury powietrza, wynikający z niego spadek wilgotności względnej może być przyczyną wzrostu stężenia dwutlenku siarki.

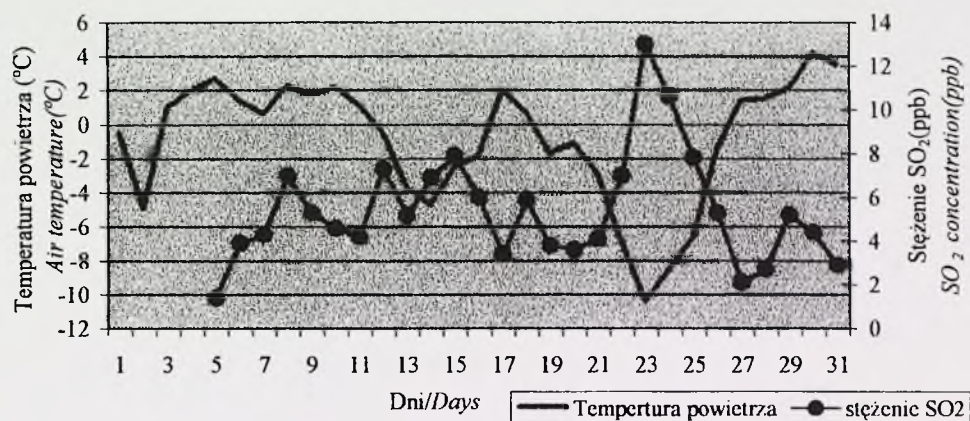
W chłodnej porze roku nie można jednoznacznie stwierdzić, że przy wzroście temperatury powietrza stężenie dwutlenku siarki rośnie. Na rysunku 4 przedstawiono przebieg stężenia dwutlenku siarki i temperatury powietrza w listopadzie 1998 roku. W pierwszej połowie miesiąca, gdy średnia dobowa temperatura powietrza jest dodatnia i wyższa od -5°C , stężenie SO_2 zmienia się wprost proporcjonalnie do temperatury, natomiast w drugiej połowie miesiąca, przy temperaturze powietrza poniżej -5°C ,

obserwuje się wzrost stężenia dwutlenku siarki przy spadku temperatury powietrza. Maksimum stężenia dwutlenku siarki przy znacznym spadku temperatury powietrza można zaobserwować również na rysunku 5 (sytuacja taka jest prawdopodobnie spowodowana zwiększoną emisją z urządzeń grzewczych).

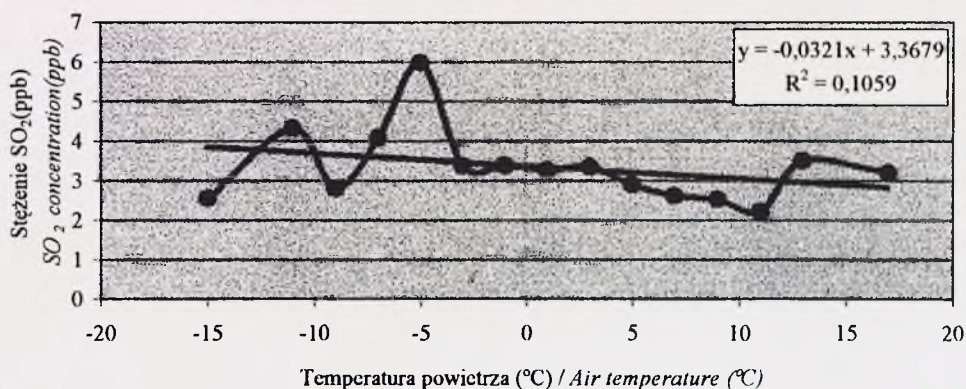
Na rysunku 6 przedstawiono średnie stężenie dwutlenku siarki obliczone dla założonych przedziałów temperatury powietrza w półroczu chłodnym 1997–1998. Zaznaczają się tu wyraźnie dwa maksima stężenia dwutlenku siarki – przy temperaturze powietrza -5°C i -11°C . Takie zależności otrzymała również Tomaszewska (1994) w swoich badaniach zależności stężeń zanieczyszczeń powietrza od elementów meteorologicznych w Krakowie. W półroczach chłodnych 1998–1999 (rys. 7) i 1999–2000 (rys. 8) w przebiegu stężenia dwutlenku siarki w zależności od temperatury powietrza obserwujemy wzrost stężenia dwutlenku siarki przy spadku temperatury powietrza.



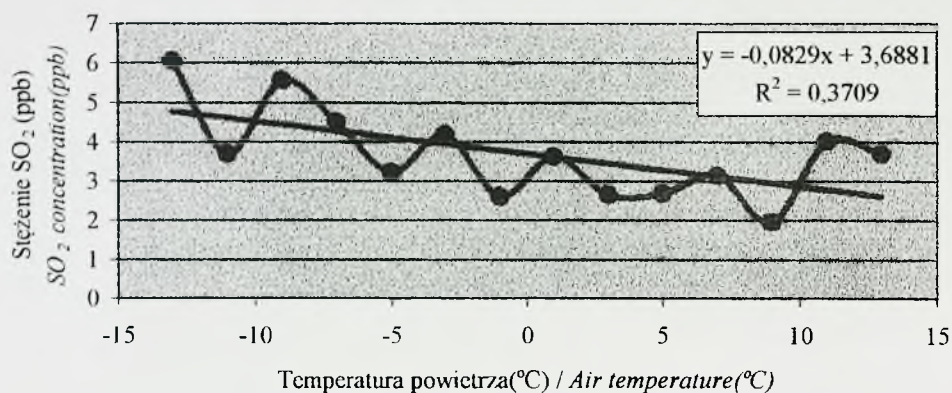
RYSUNEK 4. Przebieg miesięczny stężenia dwutlenku siarki (ppb) i temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w listopadzie 1998 roku w Warszawie-Ursynowie
 FIGURE 4. Monthly course of sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature ($^{\circ}\text{C}$) in November 1998 in Warsaw-Ursynów



RYSUNEK 5. Przebieg miesięczny stężenia dwutlenku siarki (ppb) i temperatury powietrza (°C) w styczniu 2000 roku w Warszawie-Ursynowie
 FIGURE 5. Monthly course of sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) in January 2000 in Warsaw-Ursynów

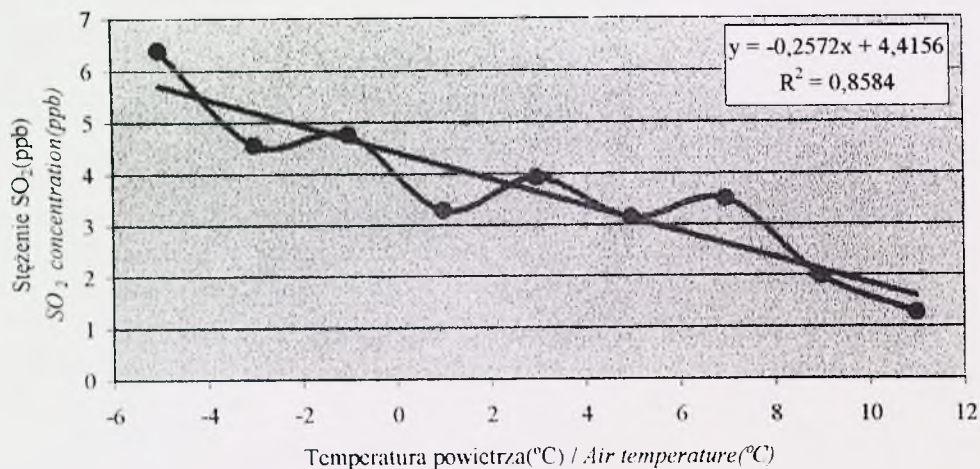


RYSUNEK 6. Zależność stężenia dwutlenku siarki (ppb) od temperatury powietrza (°C) w półroczu zimowym 1997–1998 w Warszawie-Ursynowie
 FIGURE 6. Relationship between sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) in winter half-year 1997–1998 in Warsaw-Ursynów



RYСУNEK 7. Zależność stężenia dwutlenku siarki (ppb) od temperatury powietrza (°C) w półroczu zimowym 1998–1999 w Warszawie-Ursynowie

FIGURE 7. Relationship between sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) in winter half-year 1998–1999 in Warsaw-Ursynów



RYСУNEK 8. Zależność stężenia dwutlenku siarki (ppb) od temperatury powietrza (°C) w półroczu zimowym 1999–2000 w Warszawie-Ursynowie

FIGURE 8. Relationship between sulphur dioxide concentration (ppb) and air temperature (°C) in winter half-year 1999–2000 in Warsaw-Ursynów

Dla badanych półroczy otrzymano bardzo zróżnicowane współczynniki determinacji, od $R^2 = 0,1059$ dla półrocza 1997–1998 do $R^2 = 0,8584$ dla półrocza 1999–2000. W półroczu o najwyższym współczynniku determinacji zakres zanotowanej temperatury powietrza wynosi od -5°C do 10°C , dlatego dla pozostałych półroczy przeprowadzono dodatkowo analizę regresji w takim przedziale temperatury. Otrzymano wysokie współczynniki determinacji, stąd wniosek, że wpływ temperatury powietrza na kształtowanie się wielkości stężenia dwutlenku siarki jest różny w zależności od wartości tej temperatury.

Ustalono wstępnie 3 przedziały temperatury powietrza i charakterystyczne dla nich związki między temperaturą powietrza i stężeniem dwutlenku siarki. Pierwszy przedział obejmuje temperaturę powietrza powyżej 10°C (charakterystyczny spadek stężenia dwutlenku siarki przy spadku temperatury powietrza i odwrotnie), drugi przedział to temperatura powietrza poniżej -5°C (charakterystyczny spadek stężenia dwutlenku siarki oraz ze wzrostem temperatury powietrza i odwrotnie) i ostatni obejmuje temperaturę powietrza od 10°C do -5°C (charakterystyczny spadek stężenia dwutlenku siarki wraz ze wzrostem temperatury powietrza, współczynnik determinacji między tymi parametrami jest wyjątkowo wysoki $R^2 = 0,85$).

Wnioski

Istnieje pośredni związek między temperaturą powietrza i stężeniem dwutlenku siarki, wynikający z następujących zależności:

- spadek temperatury powietrza w półroczu chłodnym oznacza wzrost emisji (a tym samym i stężenia) dwutlenku siarki z urządzeń grzewczych;
- spadkowi temperatury powietrza towarzyszy wzrost wydajności reakcji utleniania dwutlenku siarki i tym samym spadek jego stężenia.

Z powyższych zależności wynika, że spadek temperatury powietrza może być przyczyną zarówno wzrostu, jak i spadku stężenia dwutlenku siarki – co dowodzi konieczności szukania związku między badanymi elementami w określonych przedziałach ich wartości. Stwierdzono 3 przedziały temperatury powietrza i charakterystyczne dla nich związki między temperaturą powietrza a stężeniem dwutlenku siarki

Literatura

- JUDA J., CHRÓŚCIEL S. 1980: Ochrona powietrza atmosferycznego, Wydaw. PW, Warszawa.
- KLENIEWSKA M. 2000: Wyniki badań zależności stężenia dwutlenku siarki od wilgotności względnej powietrza w Warszawie-Ursynowie. *Przeg. Nauk. Wyzd. IiKŚ SGGW* 18.
- KLENIEWSKA M. 2001: Wyniki badań zależności stężenia dwutlenku siarki od kierunku i prędkości wiatru w Warszawie-Ursynowie. *Przeg. Nauk. Wyzd. IiKŚ SGGW* 21.
- MICZYŃSKI J., KOZAK J.L., WACH T. 1997: Aspekty gazyfikacji na tle zmian zanieczyszczeń powietrza (na przykładzie Rabki) [w:] II Sympozjum „Ocena wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza”, Szklarska Poręba, Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- SURYJAK W., TOMASZEWSKA A.M. 1992: Wpływ warunków meteorologicznych na wielkość średniodobowych stężeń SO_2 w Ojcowskim Parku Narodowym. *Wiadomości IMiGW* 1–2.

TOMASZEWSKA A.M. 1994: Zależność stężeń zanieczyszczeń atmosfery w Krakowie od wybranych elementów meteorologicznych w okresie grzewczym 1992/1993. *Wiadomości IMiGW* 3.

Summary

The paper aimed at finding out relation between SO₂ concentration and air temperature. In warm half-year period decrease of SO₂ concentration accompanies decrease of air temperature and vice versa. In cold half-year period

influence of the temperature on SO₂ concentration is related to the value of temperature. The characteristic relationships between SO₂ concentration and air temperature should be calculated separately for 3 ranges of the temperature assigned temporarily.

Author's address:

M. Kleniewska
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Małgorzata KLENIEWSKA, Bonifacy ŁYKOWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Próba zastosowania wskaźnika zanieczyszczenia WZ do wyznaczenia zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki w okresie zimy

The attempt of meteorological index WZ method use for the valuation of air pollution with sulphur dioxide in winter

Wstęp

Warunki meteorologiczne wywierają zasadniczy wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza. Szczególne znaczenie mają ruchy poziome i pionowe powietrza, opady atmosferyczne (które usuwają z powietrza zanieczyszczenia oraz przyspieszają niektóre reakcje chemiczne), inwersja temperatury, zwłaszcza w dolnej troposferze (do 1 km od powierzchni ziemi), zmniejszająca wielkość wymiany powietrza, co sprzyja koncentracji zanieczyszczeń na niewielkim obszarze. Znaczne pogorszenie jakości powietrza występuje przy pogodzie związanej z układem wysokiego ciśnienia atmosferycznego (wyż). W okresie zimy pośredni wpływ na zanieczyszczenie powietrza wywiera temperatura, gdyż wraz ze spadkiem temperatury wzrasta intensywność ogrzewania, co prowadzi do zwiększonej emisji zanieczyszczeń, zwłaszcza SO₂ i pyłów.

Prowadzenie stałego monitoringu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w wielu punktach jest niemożliwe ze względu na znaczny koszt i czasochłonność opracowań wyników pomiaru. Dlatego poszukuje się prostych metod wyznaczania stężeń zanieczyszczeń na podstawie danych meteorologicznych. Chodzi szczególnie o możliwość prognozowania stężeń przekraczających progi ostrzegawcze. Dotyczy to głównie zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki i pyłem (Tomaszewska 1994, Walczewski 1994).

Materiał i metoda

W opracowaniu posłużono się danymi pomiarowymi stężenia SO₂ oraz danymi meteorologicznymi ze stacji Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Ursynowie (południowe, dalsze przedmieście Warszawy). Wszystkie po-

miary dokonywane są automatycznie (suma lub średnia z 10 minut) i gromadzone w komputerowej bazie danych. Podjęta została próba zastosowania meteorologicznego wskaźnika zanieczyszczenia WZ, opracowanego przez Walczewskiego (1997) do wyznaczania stężenia SO_2 w powietrzu atmosferycznym w okresie zimy. Wskaźnik WZ jest obliczany na podstawie danych meteorologicznych: średniej dobowej temperatury powietrza, prędkości wiatru na wysokości 10 m o godzinie 12 GMT, występowania inwersji temperatury powietrza w warstwie 0–24 m n.p.g., sumy dobowej opadu atmosferycznego i ciśnienia atmosferycznego. Minimalna wartość WZ może wynieść 0, maksymalna 16,5. Po raz pierwszy wskaźnik WZ został zastosowany z powodzeniem przez Walczewskiego (1997) w Krakowie do wyznaczenia zmian stopnia zanieczyszczenia powietrza SO_2 (bez wyznaczania związków ilościowych). W celu określenia ilościowego stężenia SO_2 w zależności od wskaźnika WZ zostały obliczone równania regresji prostoliniowej i kwadratowej.

Wyniki

W tabeli 1 zamieszczono wartości stężenia SO_2 i wskaźnika zanieczyszczenia WZ z okresu badań, a na rysunku 1 przebiegi miesięczne tych parametrów. Najwyższe wartości WZ, wynoszące 8,0–9,0, występują zawsze przy wysokich lub podwyższonych stężeniach SO_2 , natomiast przy wartościach WZ w pobliżu 0 zdarza się także nieco podwyższone stężenie SO_2 . Z wykresów zamieszczo-

nych na rysunku 1 wynika, że stosunkowo najlepsza zgodność przebiegu stężenia SO_2 i wskaźnika WZ występuje w styczniu, lutym i grudniu. W tych miesiącach zdarzają się tylko nieznaczne, większe rozbieżności w przebiegu stężenia SO_2 i WZ (23 I, 8 II, 10 i 27 XII). W pozostałych miesiącach zaznaczają się już większe rozbieżności w przebiegu rozważanych parametrów (19–22 X, 4–5, 24–26 i 29–30 XI, 22, 26–29 III). Ilościowe związki między stężeniem SO_2 i wartościami wskaźnika WZ wyznaczone zostały za pomocą równań regresji (tab. 2). Najwyższe współczynniki korelacji między tymi parametrami wystąpiły w styczniu i lutym ($r = 0,59$; $\alpha_{0,05} = 0,36$). W październiku i grudniu współczynniki korelacji osiągają krytyczną wartość na poziomie istotności 0,05 ($r = 0,36$). W marcu i listopadzie wartości współczynnika korelacji są wyraźnie nieistotne statystycznie. Błędy równań regresji są dość znaczne i nawet w styczniu i lutym wynoszą 29 i 34%. Należy jednak mieć na uwadze, że krok czasowy jednej doby jest w tego rodzaju obliczeniach zbyt krótki. Obliczenia zmian stężenia SO_2 z dnia na dzień, nawet z taką dokładnością, dla kilku kolejnych dni są bardzo przydatne do oceny zmian jakości powietrza atmosferycznego w służbie ostrzegawczej monitoringu atmosfery (Walczewski 1997).

Wnioski

Wskaźnik zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki (WZ) może być stosowany do oceny ilościowej oraz zmian stężenia SO_2 w atmosferze tylko w miesiącach zimowych (XII, I, II).

TABELA 1. Średnie wartości stężenia SO₂ (ppb) i wskaźnika meteorologicznego WZ
TABLE 1. Average values of SO₂ concentration (ppb) and meteorological index WZ

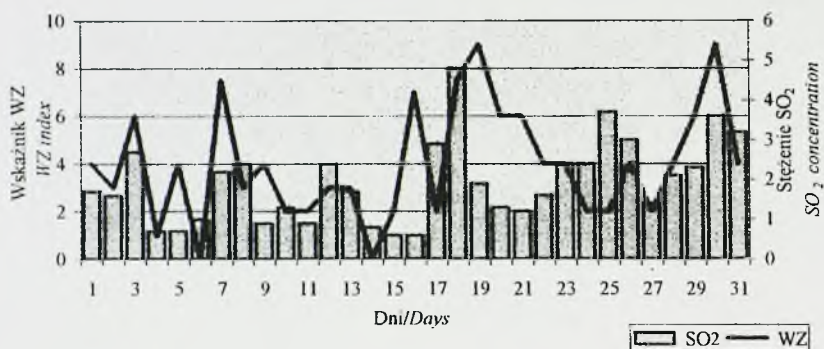
Ursynów SGGW

M-c Month	X 1999		XI 1999		XII 1999		I 2000		II 2000		III 2000	
Dzień Day	SO ₂	WZ	SO ₂	WZ	SO ₂	WZ	SO ₂	WZ	SO ₂	WZ	SO ₂	WZ
1	1,7	4,0	2,5	3,0	4,6	2,0			1,6	1,0	5,9	6,0
2	1,6	3,0	7,2	4,0	2,1	1,0			1,6	0,0	2,4	3,0
3	2,7	6,0	3,1	3,0	2,8	1,5			2,0	1,0	3,6	2,0
4	0,7	1,0	1,1	9,0	2,1	2,0			1,1	1,5	2,5	2,0
5	0,7	4,0	1,4	6,0	2,6	2,0	1,4	3,0	0,5	0,0	1,5	2,0
6	1,0	0,0	2,9	6,0	3,3	1,5	3,9	7,5	3,2	3,0	2,4	3,0
7	2,2	7,5	1,3	7,0	2,4	1,0	4,3	4,0	3,3	2,0	2,3	4,0
8	2,4	3,0	0,9	4,0	2,8	1,0	7,0	4,0	1,0	4,0	1,4	1,0
9	0,9	4,0	1,1	3,0	8,9	4,0	5,3	4,0	1,6	2,0	1,6	2,0
10	1,3	2,0	1,4	2,0	8,4	2,0	4,6	4,0	2,4	1,5	2,6	6,0
11	0,9	2,0	4,5	7,5	4,1	4,0	4,2	6,0	3,3	1,5	8,0	5,0
12	2,4	3,0	1,4	3,0	5,6	4,0	7,3	5,0	4,3	3,0	5,0	7,5
13	1,7	3,0	2,6	2,0	3,2	4,0	5,2	3,0	2,8	2,0	1,2	4,5
14	0,8	0,0	0,6	2,0	3,2	4,0	6,9	5,0	1,3	1,0	2,6	2,0
15	0,6	2,0	2,8	0,0	2,4	2,0	7,9	5,0	3,1	1,0	2,8	2,0
16	0,6	7,0	3,1	4,5	2,7	3,0	6,0	3,0	2,2	1,0	3,9	3,0
17	2,9	2,0	5,0	7,0	6,3	3,0	3,4	3,0	4,0	5,0	4,2	4,0
18	4,8	7,5	4,2	5,0	3,1	4,0	5,9	4,0	1,9	2,0	7,0	4,0
19	1,9	9,0	2,5	6,0	2,5	3,0	3,8	4,5	3,8	6,0	2,8	4,0
20	1,3	6,0	2,1	3,0	3,6	3,0	3,6	3,0	5,8	7,0	5,1	4,0
21	1,2	6,0	3,5	3,0	6,2	5,0	4,1	2,0	5,4	5,0	4,4	4,0
22	1,6	4,0	7,7	6,0	2,0	6,0	7,0	4,0	5,6	7,0	5,2	2,0
23	2,4	4,0	7,4	2,0	4,2	4,5	13,0	8,0	9,5	8,0	8,0	4,0
24	2,4	2,0	1,5	5,0	9,6	6,0	10,6	6,0	10,3	2,0	6,0	5,0
25	3,7	2,0	1,0	7,5	7,9	3,0	7,8	4,0	3,4	5,0	5,5	4,0
26	3,0	4,0	2,6	3,0	5,3	4,0	5,3	3,0	3,4	3,0	0,9	5,0
27	1,4	2,0	6,3	2,0	4,9	0,0	2,1	3,0	4,2	2,0	1,0	6,0
28	2,1	4,0	4,6	6,0	4,7	7,0	2,7	2,0	7,4	2,0	0,7	5,0
29	2,3	6,0	10,0	2,0	6,3	7,0	5,2	4,0	7,2	7,0	2,3	3,0
30	3,6	9,0	7,6	2,0	3,8	3,0	4,4	0,0				3,0
31	3,2	4,0			3,6	1,5	2,9	0,0				1,0

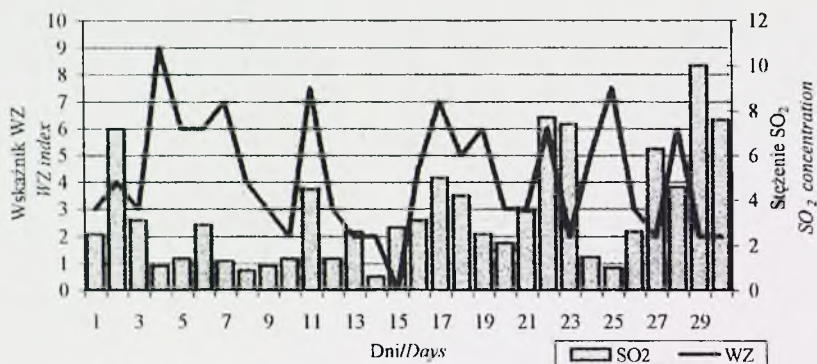
W pozostałych miesiącach okresu grzewczego (X, XI, III) wskaźnik WZ może być przydatny jedynie do oceny zmian w stężeniu SO₂ w okresach kilkudniowych.

Wartości wskaźnika WZ muszą być obliczane oddzielnie dla każdego miesiąca w okresie grzewczym, a także oddzielnie dla charakterystycznych jednostek fizjograficznych.

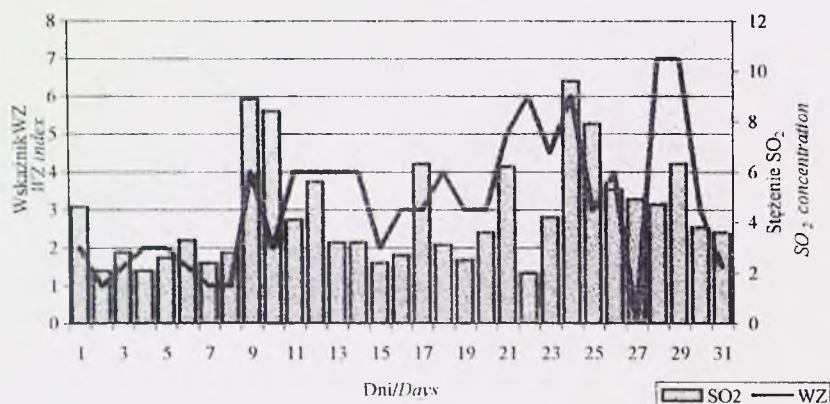
Istnieje możliwość zwiększenia dokładności obliczeń stężenia SO₂ na podstawie wskaźnika WZ przez poprawienie oceny niektórych parametrów meteorologicznych, a zwłaszcza wyznaczania inwersji temperatury powietrza oraz przez wprowadzenie dodatkowych parametrów do wzoru na obliczanie tego wskaźnika.



LISTOPAD 1999 / NOVEMBER 1999



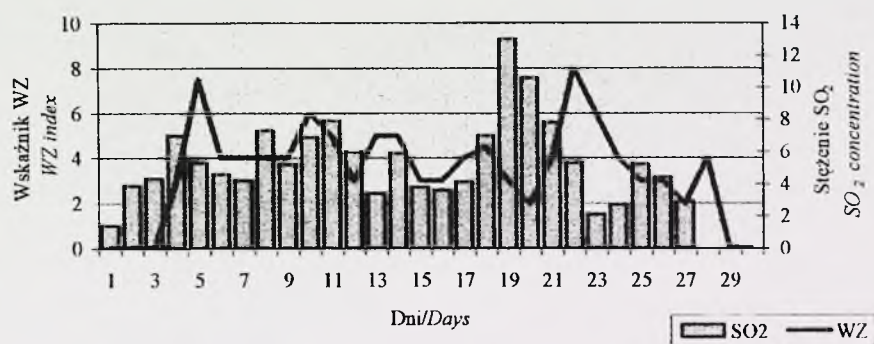
GRUDZIEŃ 1999 / DECEMBER 1999



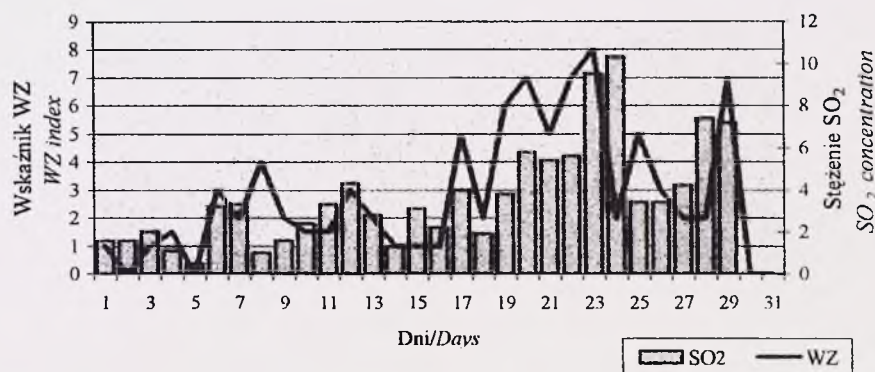
RYSUNEK 1. Porównanie miesięcznej zmienności wartości dobowych wskaźnika WZ i stężenia SO₂ (ppb) na stacji Ursynów-SGGW

FIGURE 1. Comparison of monthly variabilities of WZ index and SO₂ concentration (ppb, 24-hours means) at Ursynów WAU meteorological station

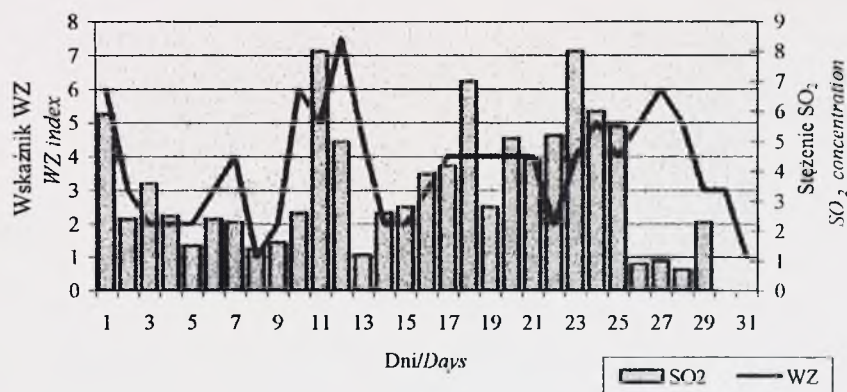
STYCZEŃ 2000 / JANUARY 2000



LUTY 2000 / FEBRUARY 2000



MARZEC 2000 / MARCH 2000



cd. rys. 1
cont. fig. 1

TABELA 2. Równanie regresji między wskaźnikiem WZ i stężeniem SO₂ (ppb)TABLE 2. The regression equations between of WZ index and SO₂ concentration (ppb)

Ursynów SGGW

Miesiąc Month	Postać równania Equation	r Coefficient correlation	Syx Mean absolute error
X 1999	$y = 1,31581 + 0,156177x$	0,36	0,77
XI 1999	$y = 4,33892 - 0,209303x$	0,18	2,01
XII 1999	$y = 2,98801 + 0,430017x$	0,36	1,54
I 2000	$y = 2,21431 + 0,827053x$	0,59	1,61
II 2000	$y = 1,7991 + 0,636141x$	0,59	1,29
III 2000	$y = 2,28584 + 0,334961x$	0,25	1,64

Objaśnienia/Explanation:

y – stężenie SO₂ / SO₂ concentration,

x – wskaźnik WZ / WZ index.

Literatura

- TOMASZEWSKA A. 1994: Prognozowanie średniodobowych stężeń SO₂ i pyłu w Krakowie za pomocą modelu statystycznego typu ARMAX. *Wiadomości IMGW* XVII, 3.
- WALCZEWSKI J. 1994: Problem prognozowania porannej ewolucji warstwy granicznej przy prognozowaniu porannych maksimów imisji. *Wiadomości IMGW* XVII, 3.
- WALCZEWSKI J. 1997: Wskaźnik meteorologiczny określający prawdopodobieństwo wzrostu zanieczyszczenia powietrza w okresie zimowym. *Wiadomości IMGW* XX, 1.

Summary

An aggregated WZ index is presented. Following meteorological elements were taken into account: air temperature, wind speed, existence of low inversion layer, precipitation, atmospheric pressure. The maxima of WZ correlate in time with appearance of maxima in air pollution variability. Application is possible in air pollution analysis and forecast.

Authors' address:

M. Kleniewska, B. Łykowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Hydraulic Engineering
and Environmental Recultivation
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Mieczysław POŁOŃSKI, Jolanta NAGRABA

Katedra Geoinżynierii SGGW

Zakład Technologii i Organizacji Robót Inżynieryjnych SGGW

Department of Geotechnical Engineering WAU

Technology and Engineering Management Division WAU

Analiza wykonania podpiwniczenia sali muzealnej w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie

Analysis of build a cellar for Polish Geological Institute in Warsaw

Wstęp

Budowa podpiwniczenia pod budynkiem zajmującym dużą powierzchnię, wyposażonym w pełną infrastrukturę techniczną i istniejącym od 1920 roku jest zagadnieniem interesującym z punktu widzenia inżynierskiego. Dotyczy to za-

równy zastosowanych technologii, jak i przyjętych rozwiązań organizacyjnych. W artykule opisano oba wymienione aspekty realizacji tego obiektu.

Zrealizowane podpiwniczenie mieści się pod salą muzealną Państwowego Instytutu Geologicznego, zlokalizowanego w obiekcie C kompleksu zabudowań przy

FOTOGRAFIA 1. Widok budynku muzeum
PIG
PHOTOGRAPHY 1.
View of the museum building



ul. Rakowieckiej 4 w Warszawie (fot. 1). Podpiwniczenie przeznaczone jest pod lokalizację biblioteki oraz magazynu rdzeni i pomieszczeń technicznych. Inwestycja jest skutkiem zarówno ogromnego zapotrzebowania na powierzchnie użytkowe inwestora, który ograniczony jest dostępnym miejscem pod zabudowę, jak i ceną gruntów w centrum miasta. Dzięki wykonanemu podpiwniczeniu powierzchnia obiektów Instytutu zwiększyła się o blisko 600 m², obejmując swym zasięgiem całą powierzchnię pod istniejącym budynkiem muzeum. Należy zauważyć, że osiągnięto to stosunkowo niewielkim kosztem.

Założenia projektowe

Podpiwniczenie realizowane było pod czterokondygnacyjnym budynkiem wykonanym z cegły. Na etapie wykonywania projektu nie dysponowano dokumentacją techniczną istniejącego obiektu (szczególnie jego części fundamentowej), co utrudniło zarówno przygotowanie samego projektu, jak i następnie jego realizację. Przygotowując projekt, założono, że budynek posadowiony jest na płycie.

Podpiwniczenie obejmujące powierzchnią całą salę muzealną posiada następujące wymiary: długość 43,37 m, szerokość 13,62 m oraz wysokość 2,89 m, co daje łączną powierzchnię zabudowy 590,70 m² i kubaturę 1707,12 m³. Na podstawie wykopów kontrolnych wykonanych w rejonie przewidywanego podpiwniczenia stwierdzono występowanie glin zwięzłych. Do obliczeń przyjęto ich następującą charakterystykę: ciężar obje-

ściowy gruntu $\rho = 2,2 \text{ T/m}^3$, spójność gruntu $C_u = 36 \text{ kPa}$, stopień plastyczności $I_l = 0,1$, kąt tarcia wewnętrznego gruntu $\varphi = 20^\circ$. W wykopach nie stwierdzono występowania wody gruntowej.

Fundamenty zaprojektowano w postaci stóp żelbetowych. Pod ściany wewnętrzne przewidziano ławy fundamentowe. Ściany wewnętrzne od poziomu ław do poziomu posadzki zaprojektowano z cegły pełnej czerwonej klasy 15 na zaprawie cementowej klasy 5. Powyżej poziomu posadzki przewidziano ściany murowane z bloczków YTONG o grubości 24 cm, na zaprawie cementowo-wapiennej klasy 3. Podłoże posadzki zaprojektowano w postaci płyty betonowej o grubości 10 cm z betonu klasy B15, na podsypce piaskowej o grubości 15 cm. Pod posadzką podpiwniczenia przewidziano izolację poziomą z folii PCV oraz warstwę styropianu o grubości 3 cm jako izolację termiczną i akustyczną. Podłoże dylatowano na pola o powierzchni $< 25 \text{ m}^2$. Ze względów ochrony konserwatorskiej przewidziano pozostawienie wystroju architektonicznego posadzki sali muzealnej bez zmian. Wymagało to dostosowania konstrukcji stropu do przenoszonych obciążeń oraz czasowego demontażu posadzki na terenie całego muzeum. Strop zaprojektowany został jako ustrój ciągły, gęsto żebrowy, ułożony na podkładzie z blachy trapezowej TR 136/327 $\times$ 0,88 zamocowanym do rygli ram. Całkowita grubość projektowanego stropu miała wynosić 21 cm, przy grubości płyty nad betonem równej 8 cm. W podpiwniczeniu założono następujące instalacje: odprowadzania ścieków, tryskaczy p.poż., oświetleniową, alarmową p.poż., teletechniczną, klimatyzacyjno-wentylacyjną oraz grzewczą.

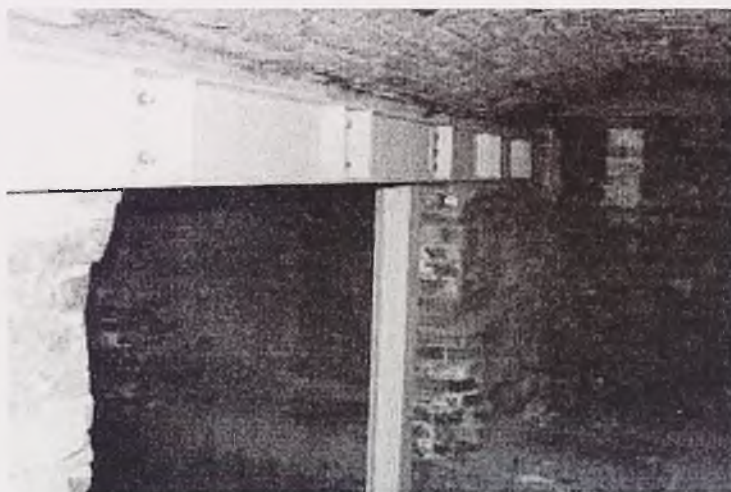
Planowana i zrealizowana technologia wykonania fundamentu pod budynkiem

Do wykonania wykopu pod budynkiem zaproponowano zastosowanie metody górniczej, która pozwalała na wybranie gruntu pod salą ekspozycyjną bez naruszenia stateczności budynku oraz posadzki muzeum. Przewidywano ręczne i mechaniczne odspajanie gruntu z wykorzystaniem młotów udarowych zasilanych sprężonym powietrzem. Urobiony grunt miał być ładowany małą ładowarką gąsienicową (ze względu na słaby spąg) na taśmociąg i nimi transportowany przez specjalnie wykonany otwór w ścianie piwnicy na zewnątrz budynku, skąd miał być wywożony samochodami poza obręb budowy.

W trakcie prowadzenia robót ziemnych stwierdzono inny, niż przyjęto w założeniach projektowych, rodzaj istnie-

jącej konstrukcji stropu. W rzeczywistości strop pod budynkiem stanowił wielonawowy układ sklepień ceglanych wsparty na poprzecznych ścianach nośnych, mury z cegły. Osiowy rozstaw ścian wynosił około 2,25 m.

Napotkane w trakcie rozpoczętych robót zmiany konstrukcji istniejących fundamentów zmusiły wykonawcę i projektanta do zmiany przyjętych rozwiązań. Zdecydowano się na pozostawienie istniejącego stropu, wprowadzając w miejsce istniejących ścian konstrukcję stalową (fot. 2). Fundamenty zaprojektowano jako stopy fundamentowe pod każdym słupem konstrukcji stalowej. Sklepienia ceglane zostały wzmocnione przez nałożenie betonu natryskowego (torkretu) o grubości 5 cm na siatce zbrojeniowej. Dzięki temu istniejąca posadzka w hali muzeum nie musiała być demontowana, a na terenie muzeum nie było śladów



FOTOGRAFIA 2. Stalowe podpory stropu
PHOTOGRAPHY 2. The steel support of the ceiling

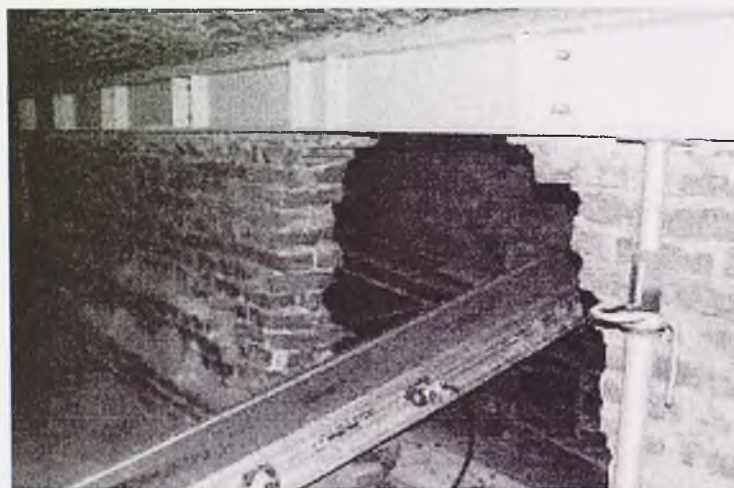
prrowadzenia tak poważnej inwestycji. Zrezygnowano również z podziału powierzchni podpiwniczenia na odrębne sale, wykonując je jako jedno duże pomieszczenie.

Napotkanie innej niż planowano konstrukcji fundamentu pociągnęło za sobą również konieczność zmiany sposobu prowadzenia robót. Okazało się, że wszystkie prace przy wydobywaniu gruntu należy wykonać ręcznie, bez możliwości użycia jakiegokolwiek sprzętu mechanicznego do odpajania gruntu. Wynikało to z ograniczonego frontu robót oraz konieczności zachowania nie zdemontowanej posadzki sali muzealnej w nienaruszonym stanie. Jedynie udało się zastosować taśmociągi do transportowania gruntu, co w pewnym stopniu usprawniło i przyspieszyło przeprowadzenie robót ziemnych (fot. 3).

Organizacja wykonania obiektu

Wykonawca przed przystąpieniem do planowanych robót sporządził rzetelny i realny harmonogram robót. Był to wykres Gantta sporządzony bez użycia narzędzi do analizy środków. W trakcie dalszych prac, pomimo zasadniczej zmiany rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, wykonawca i inwestor nie doprowadzili do wykonania aktualizacji pierwotnego harmonogramu.

W celu przeanalizowania planowanego i zrealizowanego sposobu wykonania obiektu w ramach przeprowadzonych badań sporządzono odrębny, sieciowy harmonogram. Pierwszą wersję sieci zależności sporządzono na podstawie istniejącego harmonogramu Gantta, projektu technicznego oraz obmiarów do kosztorysu ofertowego w postaci sieci jednopunktowej. Analizę harmonogramu wy-



FOTOGRAFIA 3. Transport gruntu z piwnicy
PHOTOGRAPHY 3. Ground transportation from the cellar

konano przy użyciu programu MS Project. Przy tworzeniu tej wersji harmonogramu przyjęto następujące założenia organizacyjne:

1. Roboty ziemne i fundamentowe wykonuje podwykonawca. Prace te obejmują: przygotowanie placu budowy, wykonanie robót rozbiórkowych i fundamentowych, montaż konstrukcji stalowej i ścian oraz wyłanie płyty stropowej oraz schodów.
2. Roboty wykończeniowe i instalacyjne wykonują pracownicy generalnego wykonawcy inwestycji. Zakres prac obejmuje: wykonanie robót instalacyjnych, wykończenia ścian płytami gipsowymi i bloczkami Ytong oraz wszystkie roboty malarskie.
3. Podwykonawca rozliczany jest z czasu, w jakim zobowiązał się wykonać roboty, sam planuje tryb pracy swoich pracowników – kalendarz oraz liczbę zatrudnionych osób.
4. Główny wykonawca zatrudnia: elektryków, hydraulików, tynkarzy, malarzy oraz wszystkich pracowników potrzebnych do wykonania robót w łącznej liczbie dziesięciu ludzi.
5. Dzień roboczy trwa 8 godzin, a w razie potrzeby wykorzystywana jest praca w nadgodzinach.
6. Tydzień pracy obejmuje 5 dni.
7. Termin rozpoczęcia inwestycji – 2 październik 2000 rok.

Czynnościom realizowanym przez podwykonawcę nie przypisywano zasobów. Dla zadań realizowanych przez głównego wykonawcę przypisano w niezbędnej liczbie zasobów o nazwie „robotnicy” i dostępności 10 ludzi bez rozróżnienia specjalności zawodowych. Są to oso-

by na stałe pracujące w firmie, z wieloletnim doświadczeniem zawodowym. Wśród nich są specjaliści: hydraulik, elektryk, specjalista od instalacji klimatyzacyjnych i wentylacji. Roboty wykonywano zespołowo pod kierunkiem osoby odpowiedzialnej za daną grupę prac.

Poniżej przedstawiono planowane terminy rozpoczęcia poszczególnych robót, wynikające z założeń do przetargu:

- 2.10.00 – rozpoczęcie inwestycji, roboty przygotowawcze i zabezpieczające,
- 9.10.00 – roboty rozbiórkowe i wykopy,
- 13.11.00 – roboty fundamentowe,
- 27.10.00 – montaż konstrukcji stalowej,
- 11.11.00 – zalewanie płyty stropowej i schodów,
- 18.12.00 – roboty wykończeniowe, instalacje elektryczne i p.poż.,
- 20.11.00 – pierwszy etap instalacji wodno-kanalizacyjnych,
- 2.01.01 – instalacje wentylacyjne,
- 16.02.01 – zakończenie inwestycji i odbiór techniczny.

Druga wersja harmonogramu sieciowego została zaktualizowana o rzeczywiste terminy rozpoczęcia poszczególnych robót, stopień zaangażowania robót oraz o zmiany technologiczne powstałe na etapie realizacji inwestycji. Datą weryfikacji robót był 28.04.2001 rok. Terminy zakończenia poszczególnych etapów robót przyjęto z dziennika budowy. Poniżej zestawiono chronologicznie najważniejsze wydarzenia w trakcie faktycznej realizacji robót:

- 8 listopada – rozpoczęcie prac na obiekcie,

- 13 listopada – po wykonaniu robót przygotowawczych podwykonawca zmienia kierownika budowy,
- 14 listopada – po wybraniu pierwszych warstw gruntu okazało się, że konstrukcja dotychczasowych fundamentów jest inna niż zakładano,
- 27 listopada – zmiana projektu fundamentów,
- 7 grudnia – początek montażu belek stalowych w miejscach wykutych w ścianach fundamentowych,
- 19 grudnia – rozpoczęcie wykonywanie stóp fundamentowych pod słupy oraz dalszy ciąg robót ziemnych i odkrywanie kolejnych korytarzy,
- 20 stycznia – koniec pierwszej części montażu słupów oraz betonowania stóp fundamentowych,
- 22 stycznia – początek wyburzania ścian pod konstrukcję stalową,
- 26 stycznia – rozpoczęcie pogłębianie piwnic do docelowego poziomu,
- 2 luty – koniec drugiej części montażu słupów oraz betonowania stóp fundamentowych,
- 5 luty – rozpoczęcie betonowania płyty posadzki,
- 9 luty – zakończenie robót ziemnych,
- 21 luty – rozpoczęcie kucia posadzek i układania chudego betonu,
- 25 luty – rozpoczęcie układania torkretu,
- 17 marzec – zakończenie torkretowania,
- 12 kwietnia – zakończenie prac przez podwykonawcę i rozpoczęcie robót instalacyjnych.

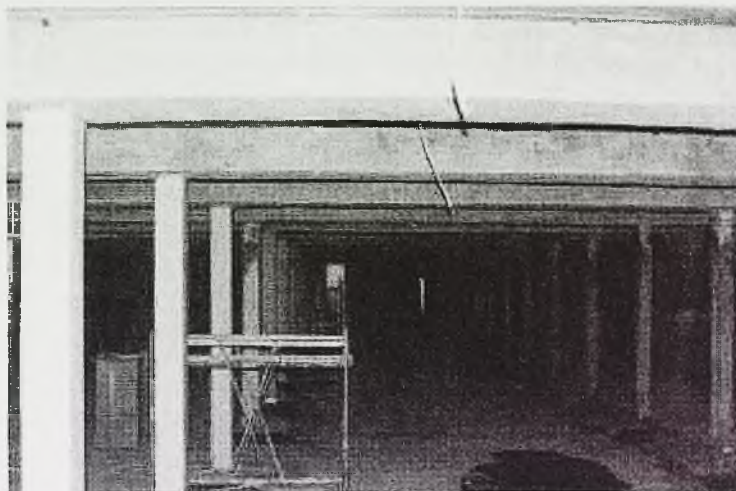
W pierwszej połowie kwietnia został ogłoszony przetarg na wykonanie regałów w powstającej bibliotece. Zbyt późny termin ogłoszenia przetargu nie został skoordynowany z harmonogramem pro-

wadzonych robót, co spowodowało opóźnienie realizacji inwestycji. W związku z tym musiano wstrzymać wylewanie posadzki do momentu otrzymania projektu szyn jezdnych do regałów. 27 kwietnia zakończono roboty instalacyjne oraz obudowanie ścian bloczkami Ytong i układanie ścian płytami gipsowo-kartonowymi. Jednak nadal wstrzymywano roboty z powodu opóźnień projektu szyn jezdnych. Ostatecznie do wykonania, po zamontowaniu szyn regałów, pozostało: wylanie posadzki w bibliotece, montaż szyn jezdnych, montaż płytek z gresu w korytarzach i hali biblioteki, montaż okien, drzwi, oświetlenia oraz malowanie (fot. 4).

Podsumowanie i wnioski

Przy planowaniu inwestycji dobra organizacja pracy to podstawa do osiągnięcia oczekiwanego efektu. Olbrzymie znaczenie ma dobrze opracowany i konsekwentnie realizowany harmonogram robót. Bardzo ważne jest także uaktualnianie danych i przewidywanie skutków wynikających ze zmian, jakie napotyka się przy wykonaniu przedsięwzięcia.

W badanej inwestycji wykonawca i projektant bardzo dobrze poradzi sobie z trudnym do realizacji obiektem od strony technicznej i technologicznej. Niestety, nie można tego powiedzieć o organizacji i skoordynowaniu obowiązków inwestora i wykonawcy w trakcie realizacji inwestycji. Projekt organizacji robót był dobrze przygotowany na etapie procedur przetargowych, nie był jednak konsekwentnie kontrolowany i uaktualniany. Zmiana warun-



FOTOGRAFIA 4. Widok wybudowanego podpiwniczenia muzeum PIG
 PHOTOGRAPHY 4. View of the new museum cellar

ków wykonania oraz brak koordynacji po- ciągnęły za sobą opóźnienie zakończenia inwestycji, a co za tym idzie dodatkowe podniesienie kosztów projektu.

Przeprowadzone obliczenia i analiza zbudowanego harmonogramu wykazały, że środki, jakimi dysponował wykonawca robót, były wystarczające i właściwie określone. Kolejność realizacji prac pozwalała na płynny przebieg robót, bez zbędnych przestojów w pracy.

Głównym problemem utrudniającym realizację analizowanej inwestycji był brak należytej współpracy inwestora i wykonawcy. Inwestor nie wymagał od generalnego wykonawcy uaktualnienia harmonogramu robót, podwykonawca również zrezygnował z wykonania harmonogramu dla własnych potrzeb. Po dokonaniu zmian projektowych nie skorygowano harmonogramu opracowanego w dokumentacji ofertowej. W związku z tym wszystkie urealnione terminy za-

kończenia robót były terminami przybliżonymi, nie objętymi żadnymi umowami wiążącymi. Doprowadziło to do opóźnienia w rozpoczęciu robót, braku koordynacji terminów przetargowych na dostawę urządzeń do wyposażenia budowanego pomieszczenia z toczącymi się robotami oraz braku jasno zdefiniowanego terminu zakończenia całości inwestycji.

Opóźnienie rozpoczęcia prac na budowie o ponad miesiąc spowodowane było brakiem uzyskania przez inwestora w odpowiednim terminie zezwolenia na budowę i dokumentacji potrzebnej do rozpoczęcia prac. Konsekwencją tego było przesunięcie terminów wykonania kolejnych grup robót. Roboty ziemne ze względu na zmianę warunków i technologii ich wykonania przedłużyły się co prawda o 2 tygodnie, jednak jest to usprawiedliwione zaistniałymi, a trudnymi do przewidzenia warunkami. Podwykonaw-

ca, starając się dotrzymać zobowiązań co do czasu zakończenia powierzonych mu robót (pomimo rozpoczęcia prac z miesięcznym opóźnieniem, w zmienionych warunkach technologicznych), zdecydował się na pracę w systemie trzyzmianowym, a więc pracował 24 godziny na dobę. Praca w nadgodzinach zawsze wpływa na podniesienie kosztów inwestycji, szczególnie jeśli dotyczy to najbardziej pracochłonnej części robót, tzn. w przypadku analizowanej inwestycji – robót ziemnych.

Niestety, wysiłek podwykonawcy został zmarnowany, a czas zaoszczędzony na tej grupie robót nie został efektywnie wykorzystany dla przyspieszenia realizacji całej inwestycji. Inwestor nie skoordynował terminu zakończenia robót z czynnościami przetargowymi na regały do biblioteki i zbyt późno uruchomił procedurę przetargową. Ponieważ regały te miały być samojezdne, na szynach stalowych, wykonanie ich wstrzymało ułożenie posadzki i robót wykończeniowych. Prace wykończeniowe musiano wstrzymać w momencie, gdy realizacja całej inwestycji dobiegała końca. Spowodowało to opóźnienie oddania całej inwestycji do eksploatacji i zamrożenie znacznych środków finansowych na okres kilku tygodni. Odpowiedzialność za taki stan rzeczy ponosi zarówno inwestor, jak i wykonawca prac. Inwestor nie wymagał ustalenia i dotrzymywania terminów wykonania robót, wykonawca zaś nie sporządził harmonogramu prac, który dla inwestora byłby podstawą do kontroli tempa prowadzonych prac i wcześniejszego uruchomienia procedury przetargowej na regały.

Brak właściwego planowania w przypadku analizowanej inwestycji był w dużej mierze spowodowany niepewnymi warunkami pracy i dużym prawdopodobieństwem ich zmian. Oczywiście, zawsze należy liczyć się ze zmianą warunków wykonania inwestycji, szczególnie w przypadku robót remontowych czy rozbudowy istniejących obiektów, jednak tym bardziej w takiej sytuacji należy zadbać o właściwe planowanie i koordynację prac przez wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego, a więc inwestora, projektanta i wykonawcę. Bezpośrednio obowiązek ten szczególnie spoczywa na inspektorze nadzoru i kierowniku budowy. W przeciwnym razie, za brak należytej współpracy i kontroli co najmniej jedna strona (a czasami obie) poniosą dodatkowe, zupełnie nieuzasadnione koszty.

Literatura

- Kosztorys inwestorski ET/63/00 wykonany przez Zakład Usług Technicznych Rady Stołecznej NOT.
- Kosztorys ofertowy wykonany przez PPU Budonex Sp. z o.o. (nr 76 – roboty ogólnobudowlane, 63 – roboty wod.-kanal., 64 – wentylacja mechaniczna, 65 – instalacje elektryczne, 66 – instalacje p.poż.).
- NAGRABA J. 2001: Analiza organizacji pracy na budowie z wykorzystaniem MS Project 98+ na podstawie budowy „Podpiwniczenie sali muzealnej w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie”. Maszynopis.
- POLONSKI M. 2001: Harmonogramy sieciowe w robotach inżynierskich. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- Projekt techniczny „Podpiwniczenie sali muzealnej w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie” wykonany przez PPU Budonex Sp. z o.o.
- ZIELINSKI B. 2000: Microsoft Project 98. Zarządzanie przedsięwzięciami. Wydaw. PLJ, Warszawa.

Summary

The aim of this paper is to present technology and organisation for build a cellar of Polish Geological Institute in Warsaw. The most interesting is, that cellar was build under existing, 70 year old, hose. In the second part of article are presented analysis of management works. There are present a few mistakes commission by investor and executor.

Authors' address:

M. Poloński, J. Nagraba
Warsaw Agricultural University –SGGW
Department of Geotechnical Engineering
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland
e-mail: polonski@alpha.sggw.waw.pl

Waldemar MISIAK

Katedra Geoinżynierii SGGW

Department of Geotechnical Engineering WAU

Zarządzanie środowiskiem w przedsiębiorstwie **Managing of company's environment**

Wstęp

Zarządzanie definiowane jest zazwyczaj jako działalność kierownicza, polegająca na formułowaniu celów i powodowaniu ich realizacji w organizacjach podległych zarządzającemu (Werner 1998).

W dotychczasowej praktyce zarządzania przedsiębiorstwo było oceniane z punktu widzenia efektywnego wykorzystania posiadanych zasobów od momentu zakupu surowców i minerałów do momentu sprzedania wyrobu. Przedsiębiorstwo dążyło do zmniejszenia kosztów własnych objętych rachunkiem ekonomicznym firmy, m.in. przeliczając część kosztów swej działalności na środowisko przyrodnicze (koszty zewnętrzne).

W celu ograniczenia kosztów zewnętrznych zaczęto wprowadzać ograniczenia prawno-administracyjne na korzystanie ze środowiska oraz opłaty za użytkowanie środowiska i wprowadzanie w nim zmian. Ograniczenia te i opłaty przenoszą część kosztów do rachunku ekonomicznego przedsiębiorstwa. Działanie takie

jest to przymus zewnętrzny, natomiast filozofią zarządzania ekologicznego ma być przymus wewnętrzny, wynikający ze świadomości ekologicznej pracowników przedsiębiorstwa, poczynając od zarządu, a na pracownikach fizycznych skończywszy.

Przedsiębiorstwa polskie muszą sprostać nowym problemom, które stwarzają zaostrzone rygory ochrony środowiska wynikające z działań dostosowawczych w procesie integracji z Unią Europejską. Należy liczyć się z dużą konkurencją firm zagranicznych w zakresie czystych technologii i produktów oraz ze wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa.

Ochrona środowiska musi stawać się coraz bardziej celem działalności całego przedsiębiorstwa. Konieczne jest działanie zintegrowane z innymi podstawowymi celami przedsiębiorstwa, a nie tylko stosowanie technologii „końca rury”, które rozwiązują częściowo niektóre problemy ochrony środowiska w przedsiębiorstwie.

Zarządzanie ochroną środowiska w przedsiębiorstwie ma spowodować

ograniczenia oddziaływania przedsiębiorstwa na środowisko do poziomu nie kolidującego z jego podstawową działalnością (Jabłoński 1999).

Stopniowe wprowadzanie metod zarządzania środowiskiem w przedsiębiorstwie wynika z konieczności spełniania przepisów prawa ochrony środowiska.

Zarządzanie środowiskowe

Zgodnie z normą ISO 14001, system zarządzania środowiskowego jest integralną częścią zarządzania przedsiębiorstwem. Norma ta zawiera zbiór wymogów służących do dokonania oceny systemu zarządzania środowiskowego danej organizacji oraz przyznawania na tej podstawie odpowiedniego certyfikatu lub udokumentowania zgodności postępowania z poczynioną uprzednio samodeklaracją.

Norma nie określa w sposób kategoryczny obszaru działania systemu zarządzania środowiskowego. Natomiast zaleca, aby wszystkie podstawowe elementy tego systemu, czyli struktura, odpowiedzialność, procedury i środki umożliwiające wdrażanie polityki ekologicznej, były spójne z innymi funkcjami firmy i całą strategią jej rozwoju.

Przyjęcie normy nie zapewnia natychmiastowej redukcji niekorzystnego wpływu na środowisko. Jest ona narzędziem realizacji celów środowiskowych narzucanych sobie przez samą organizację. Wdrożenie i przestrzeganie wymogów normy może doprowadzić do optymalizacji oddziaływania na środowisko (Polska norma 1998).

Przedsiębiorstwo, które ma zamiar wdrażać system zarządzania środowiskowego, musi:

- uzyskać zaangażowanie kadry zarządzającej w proces udoskonalania działań środowiskowych;
- przeprowadzić wstępny przegląd sytuacji środowiskowej;
- stworzyć politykę środowiskową.

Polityka środowiskowa powinna zawierać zobowiązania do przestrzegania regulacji prawnych i ciągłego doskonalenia i co najważniejsze określać inicjatywy przedsiębiorstwa w zakresie stosowania technologii przyjaznych środowisku, ograniczania zużycia zasobów naturalnych i wytwarzania odpadów.

Zagwarantowanie publicznej dostępności polityki pozwala na zweryfikowanie jej postanowień przez zainteresowane strony, które często pochodzą spoza przedsiębiorstwa, a są narażone na skutki jego działania.

System zarządzania środowiskowego jest z definicji ukierunkowany na ochronę środowiska naturalnego. Istotną sprawą związaną z wdrażaniem tego systemu jest uporządkowanie pod względem ekologicznym procesów technologicznych, które powinny być bezpieczne dla ludzi, zwierząt i roślin. Powstające w wyniku tych procesów wyroby, zgodnie z ideą systemu, muszą spełniać wszystkie wymogi związane z ochroną środowiska – w trakcie ich wytwarzania, użytkowania i likwidacji (Tkaczyk i Bąk 2000). Zależnie od podejścia do procesów projektowania, realizacji i eksploatacji, ten sam system zarządzania może się wykazywać mniejszą lub większą spraw-

nością procesu zarządzania środowiskowego.

Parametrem opisującym skuteczność procesu zarządzania środowiskowego nie jest cel ani rezultat, ale współczynnik określający stopień realizacji celu procesu.

Program zarządzania ochroną środowiska w przedsiębiorstwie

Program zarządzania środowiskiem ma na celu hierarchizację działań przedsiębiorstwa dotyczących procesów, projektów, usług i przedsięwzięć służących ochronie środowiska.

Podstawowym aspektem zarządzania ekologicznego jest integracja ochrony środowiska z ogólnym systemem zarządzania przedsiębiorstwem.

W programie należy wskazać elementy obu systemów, których integracja zapewni realizację założeń polityki ekologicznej w sposób najbardziej efektywny ekonomicznie i skuteczny ekologicznie. Dotyczy to dostosowania systemu ochrony środowiska do struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa, integracji systemów informacyjnych i obiegu dokumentacji, badań i projektów, szkolenia załogi itp.

Zarządzanie ochroną środowiska w przedsiębiorstwie wymaga opracowania i wdrożenia odpowiedniego systemu informacji, który powinien zapewniać niezbędne dane o ekologicznej uciążliwości procesów technologicznych, surowców i produktów będących końcowym efektem działalności przedsiębiorstwa.

W przedsiębiorstwach realizujących inwestycje z zakresu inżynierii środowi-

ska system zarządzania środowiskowego szczególnie powinien uwzględniać problemy realizacji procesów technologicznych prowadzących do powstania konkretnych rozwiązań technicznych. Inwestycje te szczególnie oddziałują na środowisko, które podlega wielorakim przekształceniom wraz z realizacją projektów technicznych. Jednak na etapie projektowania należy znać również wpływ środowiska przyrodniczego i społecznego na tę inwestycję.

Zasięg planowanych i realizowanych przedsięwzięć bywa tak duży, że istotne stają się wszystkie uboczne skutki, które trudno przewidzieć, niektóre z nich mogą ujawnić się dopiero po pewnym okresie od oddania obiektu do eksploatacji.

Projektowanie obiektów jest nieodłączne z projektowaniem procesu ich wykonania, jest zatem projektowaniem systemu złożonego z dwóch podsystemów: pierwszego, stanowiącego projekt obiektu (opis), i drugiego, stanowiącego projekt jego wykonania (przepis).

Najważniejszym etapem w trakcie tworzenia opisu systemu jest analiza systemu, którą należy prowadzić, badając i obserwując system rzeczywisty, czyli obszar, w który będziemy ingerować inwestycją, oraz rozpatrywać rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne, które muszą być zrealizowane, aby inwestycja spełniała swoje zadania.

W trakcie takiej analizy trzeba ustalić wiele istotnych faktów. Szczególnie istotne jest ustalenie, jakie skutki może wywołać w systemie stworzonym przez realizowaną inwestycję oraz w otoczeniu przyjęta technologia prac oraz ich organizacja, jak również, na które procesy tech-

nologiczne należy zwrócić szczególną uwagę, aby ich skutki oddziaływania na środowisko można było zminimalizować tak, aby ograniczenia ilościowe i jakościowe, jakie narzuca otoczenie na inwestycję, były w pełni respektowane, a cel został właściwie zrealizowany (Misiak 1995).

Przedsiębiorstwo musi przewidywać sytuacje awaryjne, które mogą zagrozić środowisku. Muszą być opracowane procedury postępowania w sytuacjach awaryjnych oraz wskazane osoby odpowiedzialne za zabezpieczenie przed awariami oraz organizujące akcje ratunkową.

Ważnym aspektem zarządzania środowiskiem jest kształtowanie świadomości ekologicznej i motywacji załogi. Program ochrony środowiska powinien określać wymogi w zakresie wiedzy i umiejętności konieczne do wdrożenia systemu zarządzania ochroną środowiska. Wymogi te powinny być brane pod uwagę przy doborze pracowników i ich szkoleniu.

Przedsiębiorstwo powinno organizować okresowe przeglądy funkcjonowania systemu zarządzania ochroną środowiska, których zadaniem byłoby ustalenie, czy system odpowiada potrzebom przedsiębiorstwa i czy prawidłowo przebiega jego wdrażanie.

Podsumowanie

Przedsiębiorstwa, które od wielu lat przestrzegają przepisów prawa ochrony środowiska są przygotowane do wdrażania systemu zarządzania środowiskowego zgodnego z normą ISO 14001. Wyżej

wymienione przepisy prawa będą coraz bardziej rygorystycznie egzekwowane, a więc i pozostałe przedsiębiorstwa powinny reorganizować swoje działania zgodnie z omówionymi w artykule zasadami. W wielu przedsiębiorstwach problemem jest włączenie załogi do działań na rzecz ochrony środowiska, które zwykle postrzegane są jako zadania zakładowych służb ochrony środowiska.

Wyniki badań przeprowadzonych w 1993 roku w siedemdziesięciu ośmiu polskich przedsiębiorstwach szczególnie uciążliwych dla środowiska dowodzą, że w zdecydowanej większości z nich nawet kierownicy zakładowych służb ochrony środowiska nie posiadali odpowiednich kompetencji decyzyjnych i kontrolnych (Broniewicz i in. 1993).

Tym bardziej należy podkreślić korzyści wynikające z wdrożenia przez przedsiębiorstwo systemu zarządzania środowiskowego, które są wielorakie (Tkaczyk i Bąk 2000):

- zwiększenie prestiżu – uzyskanie pozycji nowoczesnego przedsiębiorstwa,
- zmniejszenie liczby skarg zainteresowanych stron związanych z wykorzystywaniem środowiska,
- dążenie do spełniania wymagań prawnych w zakresie środowiska,
- zwiększenie zaufania klientów do oferowanych działań,
- zwiększenie konkurencyjności (posiadanie certyfikatu),
- możliwość spełniania podstawowych wymagań państw Unii Europejskiej,
- wzrost świadomości ekologicznej załogi,

- jasne określenie podziału odpowiedzialności i kompetencji poszczególnych pracowników,
- ciągła kompleksowa poprawa realizowanych procesów,
- przygotowanie do działań na wypadek ryzyka,
- zmniejszenie kosztów dotyczących odszkodowań i użytkowania środowiska,
- udogodnienia ubezpieczeniowe i kredytowe.

W Polsce liczba certyfikatów ISO 14001 wzrasta rokrocznie (8 w 1997 roku, a ponad 100 w 2000 roku). Kilkadziesiąt przedsiębiorstw wdraża aktualnie system zarządzania środowiskiem. Firmy posiadające certyfikat są pewniejszym partnerem dla inwestorów, firm ubezpieczeniowych, przedsiębiorstw współpracujących oraz społeczeństwa.

Literatura

- BRONIEWICZ E., POSKROBKÓ B., SADOWSKI A. 1993: Proekologiczne zachowanie jednostek gospodarczych w Polsce w warunkach wdrażania reformy rynkowej. BBiWE, Białystok.
- JABŁONSKI J. 1999: Wybrane problemy zarządzania środowiskowego. Wydaw. Politechniki Poznańskiej.
- MISIAK W. 1995: Wymagania stawiane przy projektowaniu inwestycji wodnomelioracyjnych zapewniające ograniczenia ingerencji w śro-

dowisko przyrodnicze. *Przeg. Nauk. Wýdz. MiŚ SGGW* 8, 153–160.

Polska norma PN-EN ISO 14001, 1998: Systemy zarządzania środowiskowego, specyfika i wytyczne stosowania.

SZYMAŃSKI J. 1999: Ustawa o odpadach a system zarządzania środowiskowego według ISO 14001. *Problemy ocen środowiskowych*, nr 4[7], 35–39.

TKACZYK S., BĄK G. 2000: Systemowe podejście do problematyki zarządzania środowiskowego w przedsiębiorstwie. *Czystsza Produkcja w Polsce*. SIMP 1, 7–14.

WERNER W.A. 1998: Zarządzanie w procesie inwestycyjnym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, w ARSZAWA.

Summary

Managing of company's environment to equal rigour of protection the environment which is result of European Unie integration process. Polish companies more often decided to implement environment managing system with norm ISO 14001. Implementation and keeping requirements of this norm may optimalize influence on environment. This article presents basic operations which have to be done in company which want to implement environment managing system, an showing profits of using this system.

Author's address:

W. Misiak
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Geotechnical Engineering
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Ocena oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań – przegląd metod

Assessment of indirect, cumulative impacts and impact interactions – methods review

Wstęp

Dla lepszego promowania idei rozwoju zrównoważonego sporządzane tradycyjne oceny oddziaływania na środowisko (OOS) wymagają dalszego ulepszania (Sadler 1998). Oceny środowiskowe powinny w większym stopniu zawierać ocenę oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań, szczególnie w sytuacji, gdy planowana inwestycja jest dodawana do istniejących już na danym obszarze. Ocena taka powinna także uwzględniać inne przewidywane projekty, w szczególności w odniesieniu do wartościowych elementów ekosystemów (The cumulative ... 1997).

Skutki środowiskowe wynikające z oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań mogą bowiem okazać się bardziej znaczące niż z oddziaływań bezpośrednich. Oszacowanie omawianych oddziaływań na

wczesnym etapie procesu realizacji inwestycji czy planowania może stwarzać trudności, gdyż najczęściej brak jest szczegółowych danych dotyczących natury, skali i lokalizacji przyszłych przedsięwzięć. Przewidywane oddziaływania, a także ich ocena nie mogą być w takiej sytuacji precyzyjne.

Celem oceny oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań jest przede wszystkim ich identyfikacja, a następnie skupienie się na ocenie tych oddziaływań, które mogą być istotne. Z tego względu stosowane metody i narzędzia można podzielić na te, których celem jest (Walker i Johnston 1999):

- identyfikacja, jak i kiedy oddziaływanie pośrednie, kumulacyjne lub interakcja oddziaływań może wystąpić;
- kwantyfikacja i przewidywanie wielkości i istotności oddziaływań na podstawie kontekstu i nasilenia.

Przegląd metod i narzędzi oceny

Opinia eksperta. Opinia ta jest efektywnym narzędziem przy ocenie oddziaływań pośrednich i kumulatywnych oraz interakcji oddziaływań. Do oceny oddziaływań pośrednich i kumulacyjnych oraz interakcji oddziaływań potrzebne jest zaangażowanie specjalistów ze znacznej liczby różnych dyscyplin naukowych. Specyfika oceny oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań bezwzględnie wymaga wzajemnej ich komunikacji i współpracy przy opracowywaniu raportu oceny. Zadaniem koordynatora zespołu jest ułatwienie wymiany poglądów między specjalistami z różnych dziedzin i wspólne wypracowanie raportu środowiskowego. Wzajemna współpraca ekspertów i projektantów przy rozważaniu interakcji oddziaływań ułatwia także identyfikację wcześniej nie scharakteryzowanych oddziaływań inwestycji na środowisko.

Opinia eksperta może być wykorzystana przy wszystkich typach projektów i dla wszystkich warunków środowiskowych. Jest narzędziem, które może być zastosowane na wszystkich etapach realizacji inwestycji. Chociaż istnieje wiele metod identyfikacji oddziaływań i ich oceny, to jednak nie jest możliwe przeprowadzenie żadnej z nich bez zasięgnięcia opinii eksperta (Canter 1996).

Konsultacje i kwestionariusze. Są one technikami zbierania informacji, które mogą być pomocne w określaniu zakresu oceny oraz w identyfikacji oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań. Metody te stosowane

są często na etapie ustalania zakresu oceny projektu.

Konsultacja jest obowiązkowym elementem procesu oceny środowiskowej. Przeprowadzona może być w formie spotkania lub korespondencyjnie. Jest ona użyteczna przy poznawaniu opinii, poglądów i obaw wszystkich zainteresowanych realizacją inwestycji. Konsultacje przeprowadzane muszą być z odpowiednimi władzami statutowymi i niestatutowymi, lokalną społecznością, ekspertami z różnych dziedzin nauki związanych z projektem i jego potencjalnymi oddziaływaniami.

Kwestionariusze są metodą uzyskiwania informacji od tych, którzy mogą być narażeni na oddziaływanie proponowanej inwestycji, szczególnie przedsiębiorców, lokalnych grup interesu i mieszkańców. Zarówno konsultacje, jak i kwestionariusze pomagają w zebraniu danych i umożliwiają lepsze zrozumienie potencjalnych skutków projektu i opracowanie środków łagodzących.

Przeprowadzając konsultacje, należy skoncentrować się na następujących informacjach:

1. Jakie wrażliwe zasoby środowiskowe znajdują się na badanym obszarze?
2. Gdzie i jaki jest próg, po przekroczeniu którego wpływ na poszczególny element środowiska będzie istotny?
3. Jakie rodzaje działalności (przeszłe, teraźniejsze i przyszłe) istnieją na danym terenie, które mogą wpływać na projekt i jego oddziaływanie na środowisko?

Konsultacje przeprowadzane są na określonym obszarze, np. gminy, i po-

winny odbyć się w określonym czasie. Mogą one także wymagać powtórzenia, gdy np. zmieni się projekt inwestycji lub inne istotne uwarunkowania.

Listy identyfikacyjne. Listy te najczęściej są tabelaryczną formą prezentowania danych. Czasami jednak przybierają formę spisów oddziaływań. Listy umożliwiają uporządkowanie wszystkich prawdopodobnych oddziaływań. Strukturalny charakter list pomaga uniknąć pominięcia któregoś z potencjalnych oddziaływań.

Efektywność tych narzędzi zależy od doświadczenia eksperta-praktyka w identyfikowaniu działalności związanych z realizacją inwestycji i ocenie zasobów środowiskowych. Kilka typów list, które są wykorzystywane do identyfikacji oddziaływań bezpośrednich, można także zastosować przy oddziaływaniach kumulacyjnych.

Listy identyfikacyjne mogą być stosowane do identyfikowania oddziaływań na etapie wyznaczania zakresu oceny. Forma listy zależy od typu wymaganych informacji i poziomu ich szczegółowości. Możliwe jest opracowanie standardowych list dla określonego typu inwestycji, które mogą być modyfikowane do indywidualnych projektów i charakterystyk lokalizacji. Listy sprawdzające mogą także służyć do porównania wariantów, rozważenia działań przeszłych, obecnych i przyszłych oraz wpływu na wrażliwe elementy środowiska albo obszary.

Przy opracowywaniu listy sprawdzającej należy:

- rozważyć listę działalności związanych z inwestycją;

- zidentyfikować zasoby środowiskowe;
- zidentyfikować inne przeszłe, obecne i przyszłe działania, które mogą wpływać na zasoby środowiskowe;
- przedstawić na liście sprawdzającej, jakie oddziaływanie wynikające z realizacji inwestycji może wystąpić (w listach opisowych zamieszcza się krótką ocenę jakościową oddziaływania, w listach prostych zaznacza się symbolem wystąpienie oddziaływania – tab. 1);
- zidentyfikować wpływy kumulatywne wynikające z nakładania się na siebie oddziaływań różnego typu i różnego pochodzenia.

Opracowując listę sprawdzającą należy unikać podwójnego liczenia wpływów lub niekompletnego ujmowania problemu, a przez to pomijania istotnych oddziaływań. Należy także unikać obejmowania listą zbyt szerokiego zakresu oddziaływań, gdyż to może utrudnić prezentację. Lista powinna ograniczać się do przedstawienia tylko takiej liczby oddziaływań, którą można przejrzeć i interpretować i prezentować.

Analizy przestrzenne: nakładanie map i GIS (Geograficzne Systemy Informacji). Są to metody służące do identyfikacji przestrzennego rozkładu oddziaływań. Pomagają one określić, gdzie w wyniku projektu mogą wystąpić oddziaływania kumulacyjne i interakcje oddziaływań. Obie metody obejmują przygotowanie map przedstawiających wybrane informacje, które są nakładane jedna na drugą. Otrzymuje się złożony obraz stanu środowiska, w którym wyróżnić można np. obszary wrażliwe, wpływ

TABELA 1. Przykład prostej listy sprawdzającej do identyfikacji wpływów kumulatywnych inwestycji budowlanej

TABLE 1. Example of the simple checking list for the cumulative impacts identification of construction investment

Zasób Resource	Potencjalny wpływ działalności budowlanych Potential impact from construction activities				
	oczyszczanie miejsca site clearance	wykopy earth moving	kładzenie fundamentów lay foundations	przywóz materiałów import materials	wpływy kumulatywne cumulative impacts
Jakość powietrza Air quality	✓	✓			✓
Jakość wody Water quality		✓			
Krajobraz Landscape	✓	✓		✓	✓
Ekologia Ecology	✓				
Hałas Noise	✓	✓	✓	✓	✓
Archeologia Archeology	✓				
Ruch Traffic	✓	✓	✓	✓	✓

przeszłych, obecnych i przyszłych działalności oraz miejsca wystąpienia skutków kumulatywnych.

Do ręcznego mapowania używa się przeźroczystych map lub folii z różnymi informacjami. GIS jest systemem nakładania warstw opartym na technice komputerowej. Obszary, gdzie dane się nakładają, są obszarami potencjalnych kumulacyjnych oddziaływań lub interakcji oddziaływań. Zarówno ręczne nakładanie warstw, jak i GIS dostarczają wizualnej informacji i znakomicie wspomagają identyfikowanie tych oddziaływań.

Ręczne przygotowywanie mapy lub nakładki jest relatywnie tanie i szybkie, lecz przy nakładaniu map istnieje możliwość niedokładności w mapowaniu.

Wykorzystanie GIS pozwala na szybkie konstruowanie wielowarstwowych map elektronicznych. Ponieważ system przestrzennej analizy pozwala na wprowadzanie do modelu komputerowego szerokiego zakresu komponentów środowiskowych, można wybierać je w zależności od potrzeb. GIS jest bardzo użyteczny przy ocenie dużych obszarów. W porównaniu do tradycyjnego nakładania map technika ta ma kilka zalet. Uaktualnianie klasycznych map jest kosztowne, a zakres tematyczny jest mało elastyczny. GIS daje dużo większe możliwości, ponieważ mapy papierowe o dowolnej tematyce można drukować w zależności od potrzeb. Do raz przygotowanej bazy danych GIS można dodawać w każdej chwili dalsze informacje. GIS dostarcza

danych do bardziej złożonej analizy i jest zdolny poradzić sobie z dużą ilością danych. Technika ta wymaga doświadczonego personelu do obsługi systemu.

Nakładanie warstw (ręczne i GIS) umożliwia wyznaczanie wag oddziaływań. Na przykład zacienienie może przedstawiać obszary o największym potencjalnym wpływie inwestycji na środowisko. Obie techniki są jednak zależne od opinii eksperta lub bazują na informacjach statystycznych przy nadawaniu wag.

Analiza przestrzenna może być wykorzystana do szerokiego zakresu projektów i warunków środowiskowych. GIS jest szczególnie odpowiedni do projektów kompleksowych, o dużej skali. Dla małych projektów GIS może być zbyt drogi i często bardziej odpowiednia jest dla nich technika ręcznego nakładania warstw.

Analiza sieci i systemów. Identyfikując oddziaływania pośrednie, kumulatywne i interakcje oddziaływania, powinno się rozważyć związki przyczynowo-skutkowe między rodzajami działalności związanymi z projektem a elementami środowiska. Analiza sieci oparta jest na założeniu, że występują połączenia i interakcje między elementami środowiska. Gdy jeden element jest szczególnie narażony na oddziaływanie inwestycji, wówczas będzie on miał wpływ na te elementy, które są z nim powiązane. Metoda ta prezentuje relacje między proponowanym działaniem i elementem środowiska, posługując się tzw. sieciami (system ogniw, diagramów, grafów).

Analiza reakcji środowiska na poszczególne działania umożliwia rozwa-

żenie pośrednich wpływów i ich interakcji. Podobnie mogą być identyfikowane w sieciach oddziaływania kumulacyjne – technika ta bowiem wyraźnie wskazuje, czy różne działania mogą oddziaływać na ten sam element środowiska.

Jeżeli posiadamy odpowiednie dane, możliwe jest przedstawienie w sieci wyników ilościowych lub jakichkolwiek innych charakterystyk oddziaływań. Za pomocą sieci można także przedstawiać sprzężenie zwrotne. Diagram zbudowany jest wtedy wokół rdzenia, z którego rozchodzą się łańcuchy dostarczające informacji o działających mechanizmach sprzężeń zwrotnych.

Analiza sieci i systemów przydatna jest na etapie ustalania zakresu oceny projektu. Może być także użyta do porównania opcji alternatywnych. Technika ta może być używana do wszystkich projektów, również o dużej skali, obejmujących kilka ekosystemów (np. autostrady, koleje, gazociągi). Przy kompleksowej ocenie celowe jest przeprowadzenie oddzielnych analiz dla każdego ekosystemu.

Matryce. Podobnie jak listy identyfikacyjne, wykorzystują one tabele do prezentacji informacji. Matryca jest jednak bardziej złożona i może być opisana jako dwuwymiarowa lista sprawdzająca. Standardowy format matrycy (tabeli, w której w kolumnach umieszcza się czynniki środowiskowe, a w wierszach działalności związane z inwestycją) daje pewność, że żadne z potencjalnych oddziaływań nie zostanie pominięte. Występowanie wzajemnego oddziaływania między składnikami opisanymi w wierszach i kolumnach zaznacza się w komórce matrycy,

będącej miejscem przecięcia wiersza i kolumny.

Matryce są doskonałym narzędziem wizualnego przedstawienia oddziaływania inwestycji na środowisko, także wpływów pośrednich, kumulatywnych i interakcji oddziaływań. Mogą one także być używane do porównania opcji alternatywnych. Właściwie skonstruowana matryca jest łatwa do interpretacji, czytelna i w skróconej formie dostarcza wielu informacji.

Matryce zazwyczaj nie kwantyfikują oddziaływań. Możliwe jest jednak użycie matryc wagowych do odzwierciedlenia czynników takich, jak np. trwanie, częstotliwość i zakres oddziaływań. Matryce mogą być także użyte do punktowania lub rangowania oddziaływań. Przy konstruowaniu matryc wagowych lub przy punktowaniu oddziaływań należy jasno określić kryteria oceny. Wagi lub rangi oddziaływań czy elementów środowiska nadajemy oddzielnie dla każdego projektu, opierając się na metodach wykorzystujących opinię eksperta

Matryce mogą być wykorzystane na etapie ustalania zakresu oceny. Są one także pomocne przy podsumowywaniu i prezentacji oddziaływań w raporcie oceny. Rodzaj matrycy powinien być wybrany stosownie do wykonywanej oceny. Do ustalania zakresu oceny lub oceny lokalizacji alternatywnych odpowiednie są matryce proste. Dla projektu zlokalizowanego w szczególnie wrażliwym obszarze bardziej właściwe będzie użycie złożonej matrycy, która prawdopodobnie nie będzie odpowiednia dla niewielkiego projektu.

Proste matryce mogą obrazować oddziaływania inwestycji na środowisko w różnych fazach projektu (budowa, eksploatacja, likwidacja). Oddziaływania kumulacyjne mogą być w prostej matrycy rozważone w oddzielnej kolumnie (przez włączenie do analizy wpływu na środowisko przeszłych, obecnych i przyszłych działań – tab. 2). W matrycach można użyć symboli, które charakteryzują oddziaływania (np. wielkość, znaczenie, czas trwania, odwracalność, prawdopodobieństwo wystąpienia).

Matryce wagowe pozwalają na porównanie oddziaływań i oszacowanie oddziaływań kumulatywnych. Każdemu elementowi środowiskowemu przypisana jest waga wskazująca jego ważność. Jeżeli oszacuje się (w wybranej skali) wpływ projektu na każdy element, możemy dokonać punktowej oceny (iloraz wagi elementu i wpływu inwestycji na ten element). Ocena ta stanowi całościowy ogólny wynik dla projektu i umożliwia porównanie opcji alternatywnych. Technikę tę nazywa się także metodą indeksową. Przy ocenie oddziaływań kumulacyjnych należy ostrożnie nadawać wagi, aby nie nakładały się one na siebie, zawyżając wyniki.

Matryce schodowe są bardziej zaawansowanym typem matryc, które rozważają powiązania różnych działalności projektu z zasobami środowiskowymi. Pokazują one, podobnie jak sieci, lecz w formie tabelarycznej, jak działalność związana z inwestycją wpływa na elementy środowiska, których zmiany powodują zmiany w innych zasobach środowiskowych.

TABELA 2. Przykład prostej matrycy do identyfikacji wpływów kumulatywnych wynikających z nakładania się różnych działań na danym obszarze

TABLE 2. Example of the simple matrix for identification of the cumulative impacts resulting from different activities overlapping

Obszar potencjalnego wpływu Potential impact area	Proponowane działanie Proposed action			Przeszłe działania Past actions	Inne obecne działania Other present actions	Przyszłe działania Future actions	Wpływ kumulatywny Cumulative impact
	budowa construction	eksploatacja operation	mitygacja mitigation				
Krajobraz Landscape	*	**	+			*	**
Ekologia Ecology	**		+	*			**
Jakość wody Water quality	*			**			**
Użytkowanie ziemi Land use	***	***			*	*	***
Dziedzictwo kulturowe Cultural heritage	*			**		*	

Objaśnienia:

- * mało niekorzystny wpływ,
- **umiarkowanie niekorzystny wpływ,
- *** wysoce niekorzystny wpływ,
- + korzystny wpływ.

Matryce sieciowe są złożoną metodą, która stanowi połączenie matrycy schodowej i sieci. Część matrycowa metody polega na identyfikacji działalności związanych z projektem i oszacowaniu ich wpływu na zasoby środowiskowe. Tak otrzymane dane są dalej opracowywane przy zastosowaniu sieci. Obydwie części: tabela matrycy i diagram sieci, na jednym rysunku przedstawiają oddziaływanie inwestycji na środowisko i ich wzajemne powiązania, umożliwiając oszacowanie ostatecznego wpływu projektu. Metoda ta, mimo zaawansowania w przedstawianiu oddziaływań, nie kwantyfikuje oddziaływań. Nie podaje ich wielkości i nie ocenia istotności wpływów. Opracowanie matrycy sieciowej

może być czasochłonne. Zaletą jej jest możliwość prześledzenia pośrednich oddziaływań rozważanych działalności.

Analiza pojemności lub analiza progów. Oparta jest ona na założeniu, że w większości naturalnych i stworzonych przez człowieka systemach istnieją naturalne progi. Przyjęcie tych ograniczeń może być szczególnie użyteczne podczas rozważania kumulatywnego wpływu na środowisko.

W ekologicznym sensie pojemność rozumie się jako poziom środowiskowego stresu, który populacje i ekosystemy mogą znieść bez trwałych uszkodzeń. W kontekście socjalnym oznacza to limit koncentracji rozwoju w danym obszarze,

który może obsłużyć istniejąca infrastruktura.

Analiza pojemności będzie efektywna, gdy wybrane czynniki limitujące dobrze charakteryzują interesujące nas elementy środowiskowe. Dla przykładu, obszar resztkowego lasu w dolinie może być najważniejszym czynnikiem przy określeniu, czy liczba osobników pewnego gatunku ptaków osiąga minimalną liczebność do stworzenia populacji. Minimalna powierzchnia lasu, która utrzyma populację ptaków, stanowi próg oceniany przy projektach, z którymi wiąże się wylesianie.

Ustalanie progów odbywa się na podstawie opinii eksperta, czasami do wyznaczenia krytycznego poziomu służą równania matematyczne. Progi mogą też być ustanowione prawnie przez władze. Przykładowymi progami mogą być: normy emisji, standardy jakości wody i powietrza, populacje dzikich gatunków, pojemność rekreacyjna (np. ogólna liczba gości, którą dane miejsce może pomieścić).

Analiza trendów. Z analizą pojemności związana jest analiza trendów. Polega ona na interpretacji stanu zasobów środowiskowych w czasie, stanowi analizę wyników przeszłych działań. Analiza trendów może dotyczyć danych takich, jak: liczba zagrożonych gatunków czy rozwój habitatów, np. starych mokradel. W większości przypadków trend jest określany zależnie od krytycznych progów środowiskowych. Prezentacja trendów może mieć prostą formę, np. wykresu, lub złożoną, np. trójwymiarowa grafika lub symulacja komputerowa.

Przy stosowaniu metody progów do określania oddziaływań kumulacyjnych na poszczególne elementy środowiska należy oszacować warunki bazowe, zidentyfikować wszystkie działania, których strefy wpływu będą pokrywać się z ocenianym projektem i ocenić wpływy w stosunku do progów. Jednym ze sposobów wykorzystania analizy trendów do oceny oddziaływań kumulacyjnych jest sformułowanie list sprawdzających, które zawierają rozważane progi. Projekt oceniany jest wtedy na podstawie tego, ile razy przekracza wyznaczone progi. W podobny sposób można analizować warianty alternatywne projektu.

Analiza trendów kwantyfikuje wpływ oddziaływań w czasie, prowadząc do opracowania wzoru, który może być pomocny w szacowaniu oddziaływań kumulacyjnych. Dla przykładu, analiza ta może identyfikować zasoby, które już zostały istotnie uszczuplone w przeszłości i w wyniku tego obecnie bliskie są zagłady. Zrozumienie zależności przyczyn i skutków działań z przeszłości pomaga przewidywać oddziaływania przyszłych działań. Do wyjaśnienia tych zależności pomocne mogą być także analizy numeryczne, bazujące na danych historycznych. W przypadku gdy występują luki w danych, należy użyć odpowiednich metod statystycznych, aby właściwie przeprowadzić analizę.

Analiza trendów może być wykorzystana przez stosowne władze do planowania rozwoju w danym obszarze i ewentualnego ograniczenia jego wzrostu, gdy będzie to konieczne.

Modelowanie. Istnieje szeroki zakres modeli, które mogą także być wyko-

rzystane w ocenie oddziaływań pośrednich i kumulacyjnych oraz interakcji oddziaływań. Modele mogą być relatywnie proste, skupiające się na jednym aspekcie środowiska, lub złożone, odtwarzające naturalne systemy środowiskowe.

Modelowanie jest narzędziem, które umożliwia kwantyfikację oddziaływań przez symulacje warunków środowiskowych. Matematyczny model umożliwia przestrzenną i czasową analizę różnych elementów środowiska zarówno przyrodniczego, jak i społeczno-ekonomicznego.

Dokładność modelu zależy od danych bazowych, które są do niego wprowadzone i od sposobu odtworzenia badanego procesu. Wyniki modelowania są często niedokładne.

Modelowanie stosowane jest najczęściej przy dużych i złożonych projektach, ze względu na wysokie koszty opracowania nowego modelu. Przy mniejszych projektach mogą być wykorzystywane modele gotowe, z szerszym zakresem warunków początkowych. Istnieją już gotowe modele (np. hałasu, dyspersji powietrza, hydrodynamiczne), które są uogólnione i dostosowane do analizy wpływów kumulacyjnych. Dla większej dokładności wyniki modelowania mogą być połączone z technikami nakładania warstw, szczególnie przy ocenie wariantów alternatywnych.

Podsumowanie

Zbiornicze zestawienie przydatności omówionych metod do oceny oddziaływań kumulacyjnych, pośrednich i inter-

akcji oddziaływań przedstawia tabela 3. Z porównania tego wynika, że opinia eksperta, konsultacje i matryce są narzędziami uniwersalnymi, są przydatne zarówno do identyfikacji oddziaływań i ustalania zakresu oceny, jak również do ich ewaluacji. Do samej identyfikacji oddziaływań mogą być stosowane listy kontrolne, mapowanie i GIS, sieci i analiza systemów oraz analiza progów i pojemności. Matryce i modelowanie służą zaś do ewaluacji omawianych oddziaływań. W przypadku analizy progów i pojemności ma ona ograniczone wykorzystanie, jedynie do ewaluacji oddziaływań kumulacyjnych.

Wybór metody do oceny oddziaływań pośrednich i kumulacyjnych oraz interakcji oddziaływań dla poszczególnego projektu zależy od wielu czynników. Zasadniczymi zagadnieniami rozważanymi przy przyjmowaniu metody i narzędzi do oceny tych oddziaływań są:

- natura oddziaływań,
- dostępność i jakość danych,
- dostępność zasobów, takich jak: czas, finanse i zasoby ludzkie.

W praktyce, w trakcie procesu oceny oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań stosowane są najczęściej kombinacje tych metod i technik oraz ich modyfikacja według uznania eksperta dla konkretnego przypadku. Z praktycznego punktu widzenia stosowane metody i narzędzia oceny do poszczególnego projektu nie powinny być zbyt kompleksowe. Może to bowiem (oprócz większych kosztów i czasu) również utrudnić zrozumienie prezentowanych wyników przez inwestora, decydentów i społeczeństwo.

TABELA 3. Podsumowanie wykorzystania metod oceny do identyfikacji i ewaluacji oddziaływań pośrednich, kumulacyjnych i interakcji oddziaływań
TABLE 3. Methods applying summing up for identification and evaluation of indirect and cumulative impacts as well as impacts interaction

Metoda oceny Assessing methods	Oddziaływania Impacts			Etap oceny Assessment stage	
	kumulacyjne cumulative	pośrednie indirect	interakcje interactions	identyfikacja identification	ewaluacja evaluation
Opinia eksperta Expert opinion	√	√	√	√	√
Konsultacje Consultations	√	√	√	√	√
Listy kontrolne Checklists	√	√	×	√	×
Mapowanie i GIS Mapping and GIS	√	×	√	√	×
Sieci i analiza systemów Network and Systems Analysis	√	√	√	√	×
Matryce Matrices	√	√	√	√	√
Progi i pojemność Carrying capacities or threshold analysis	√	×	×	×	√
Modelowanie Modelling	√	√	√	×	√

Objaśnienie: √ – może być zastosowana, × – nieprzydatna.

Literatura

- CANTER L.W. 1996: Environmental impact assessment. McGraw-Hill. Inc.
- SADLER B. 1998: EA Past, Present and future. EIA Centre of the University of Manchester. *EIA Newsletter* 17, 2–3.
- The cumulative effects assessment working group 1997: Practical Approaches to Cumulative Effects Assessment: A practitioner's Guide. Prepared by Axys Environmental Consulting Ltd. for the Canadian Environmental Assessment Agency. Hull, Quebec.
- WALKER L.J., JOHNSTON J. 1999: Guidelines for the assessment of indirect and cumulative impacts as well as impact interactions. EC DG XI. Environment, Nuclear Safety & Civil Protection. Hyder, NE80328/D1/3.

Summary

The main criteria of selection of methods and tools for indirect, cumulative impacts and impact interactions assessment were given. The brief description of methods and tools for assessment of indirect, cumulative impacts and impact interactions were given. Applicability of methods for indirect, cumulative impacts and impact interactions assessment were briefly presented.

Authors' address:

K. Piekut, J. Sztyber
Warsaw Agricultural University – SGGW
Department of Environmental Management
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warsaw
Poland

Jerzy WYSOCKI

Katedra Budownictwa i Geodezji SGGW

Department of Civil Engineering and Geodesy WAU

Wykorzystanie pakietu komputerowego C-GEO w przedmiocie „Geodezyjne urządzenie terenu” Using of the computer program C-GEO in the subject „Geodetic arranging of areas”

Wstęp

C-GEO jest pakietem programów komputerowych, służącym do obliczeń geodezyjnych oraz do przygotowania, opracowania i edycji rysunków (map). Pakiet ten opracowała firma SOFT-LINE i jego wersja w WINDOWS-ach jest wykorzystywana w przedmiocie „Geodezyjne urządzenie terenu” prowadzonym na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego.

Poniżej zostaną przedstawione pojęcia ogólne oraz główne funkcje programów pakietu C-GEO.

Pojęcia ogólne:

Tabela – zbiór w którym zapisane są współrzędne punktów. W programie tabele zapisywane są w formacie Paradox.

Obiekt – podstawowy element rysunku mapy (np. działka gruntu, budynek, drzewo itp.).

Mapa – rysunek mapy wygenerowany na podstawie tabeli. Mapa nie może istnieć bez odpowiadającej jej tabeli.

Warstwa – jednostka grupująca obiekty danego typu.

Projekt – jednostka grupująca tabele i mapy.

Projekt roboczy – wybrany przez użytkownika projekt, na którym będą aktualnie przeprowadzane wszystkie operacje.

Tabela robocza – jedna z tabel w projekcie, do której zapisywane są wyliczane przez moduły obliczeniowe współrzędne.

Program zawiera następujące główne funkcje:

ZAKŁADANIE I WYBÓR PROJEKTÓW I TABEL.

WPROWADZANIE WSPÓŁRZĘDNYCH PUNKTÓW – sortowanie, wybieranie punktów, odszukiwanie punktu, usunięcie punktu, przenumrowanie punktów, zmiana kodu punktów, translacja, przesiewanie pro-

stokątem, statystyka, stary numer, co edytować?, kontrola punktów, transmisja punktów, tworzenie mapy.

GENEROWANIE MAPY.

EDYCJA MAPY – TWORZENIE OBIEKTÓW – warstwy (opcja Mapa → Warstwy), rysowanie obiektów, pozostałe narzędzia dostępne na mapie, menu podręczne mapy.

OPCJE MENU „MAPA” – warstwy, kody – warstwy, formularz, przyciąganie, zmiana standardowej skali, wyświetlanie punktów, podział sekcyjny, wstaw opisy, zapisz szablon, odświeżanie punktu, obrót mapy, raster, cięcie warstwowe, digitizer, stwórz obiekty, kontrola spójności mapy, tryb prezentacyjny.

TWORZENIE ZBIORÓW DANYCH DO OBIEKTÓW.

OPCJE – parametry programu, edytor symboli, edytor formularzy.

KODY.

OBLICZENIA GEODEZYJNE – obliczenia dla metody biegunowej, obliczenia dla metody ortogonalnej, wcięcia, przecięcia prostych, azymuty-długości-kąty, transformacja współrzędnych, tachimetria, ciąg poligonowy, obliczanie powierzchni, wyrównanie ściśle sieci poziomej i niwelacyjnej, warstwice-obliczanie objętości, niwelacja, projektowanie tras, przekroje pionowe, suwnice, dziennik kątów i boków.

RAPORTY.

EKSPORT, IMPORT (danych).

Wykorzystanie pakietu komputerowego C-GEO w przedmiocie „Geodezyjne urządzenie terenu”

Celem przedmiotu „Geodezyjne urządzenie terenu” prowadzonego ze studentami trzeciego roku Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW jest:

- zapoznanie studentów z „Systemem katastralnym” – ewidencją gruntów i budynków jako podstawowym elementem Krajowego Systemu Informacji o Terenie, którego jednym z głównych użytkowników są specjaliści z zakresu budownictwa oraz inżynierii i kształtowania środowiska;
- rozszerzenie i pogłębienie „geodezyjnej” wiedzy studenta (zdobytej w podstawowym zakresie na pierwszym roku studiów w ramach przedmiotu „Geodezja i fotogrametria”) w zakresie metod pozyskiwania i przetwarzania geoinformacji niezbędnych dla potrzeb budownictwa oraz inżynierii i kształtowania środowiska;
- zapoznanie studentów z pakietem C-GEO, jako programem narzędziowym w procesie pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania geoinformacji;
- zapoznanie studentów z możliwościami wykorzystania pakietu C-GEO dla potrzeb opracowania projektu oraz opracowań i pomiarów realizacyjnych w zagadnieniach budownictwa (metrologii budowli) oraz inżynierii i kształtowania środowiska.

Opracowywane w ramach przedmiotu „Geodezyjne urządzenie terenu” zadanie projektowe służy do realizacji przedstawionych wyżej celów i zostało sformułowane jako „Projekt wyznaczenia i podziału na działki terenów budowlanych we wsi Łapy”.

Projekt jest opracowywany w trybie interaktywnej współpracy studenta z pakietem C-GEO według przyjętych założeń:

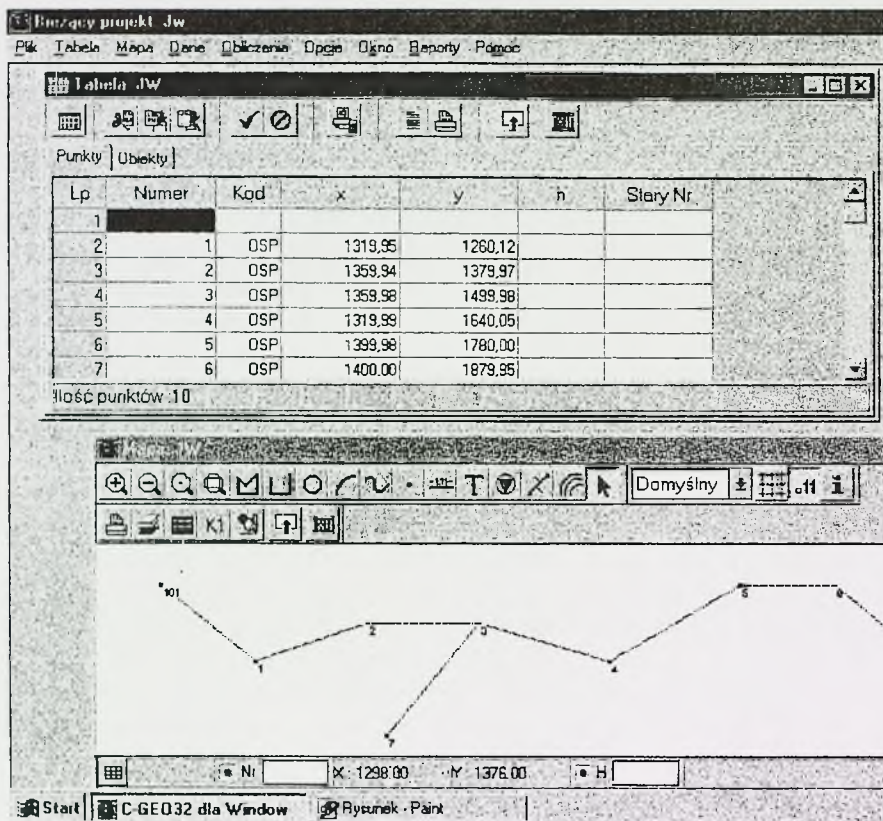
1. Projekt jest realizowany na podstawie ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, który przewiduje wyznaczenie w rejonie skrzyżowania dróg we wsi Łapy (rys. 2 i 6) obszaru gruntu o powierzchni 13 000 m², a następnie podzieleniu go na działki zagrodowe i budowlane (rys. 4 i 8).
2. Według danych z powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej dla opracowywanego terenu istnieje mapa sytuacyjno-wysokościowa w skali 1 : 2000 (bez danych katastralnych), zastabilizowana osnowa geodezyjna, dla której istnieje szkic z miarami boków i kątów, oraz opisy topograficzne punktów osnowy. W układzie „1965” mają współrzędne tylko punkty nawiazania: 101, 110, 202, oraz dane są również azymuty nawiazujące w tych punktach. W związku z tym w układzie „1965” wystąpiła potrzeba obliczenia współrzędnych również innych punktów osnowy (rys. 1 i 2).
3. Dla potrzeb realizacji projektu został wykonany metodą ortogonalną pomiar uzupełniający istniejącego stanu władania (granic działek gruntu po-

szczególnych właścicieli) i zapisany na szkicu polowym (rys. 2 i 6), według którego zostały obliczone, w nawiazaniu do osnowy geodezyjnej, współrzędne narożników działek (rys. 2 i 7).

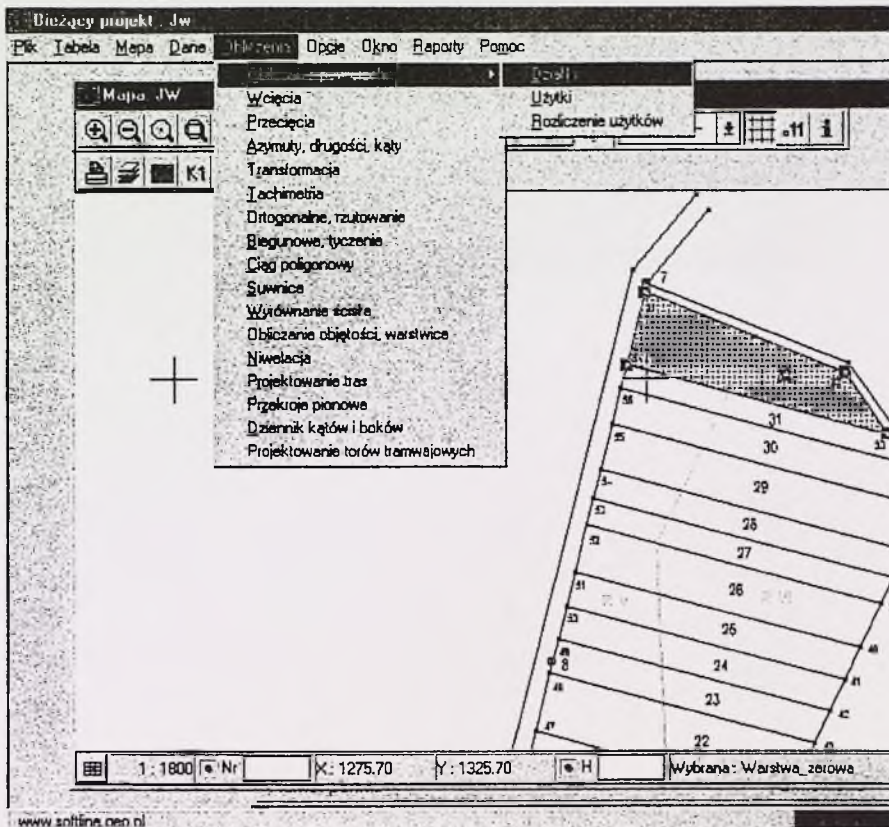
5. Założono, że w związku z realizacją projektu dla opracowywanego obszaru zostanie opracowany kataster: mapa katastralna (rys. 6) oraz rejestr gruntów – według obliczonych powierzchni działek, powierzchni konturów użytkowania gruntów oraz klas glebowych (rys. 5 i 6).
6. Na podstawie zapisanych w tabeli współrzędnych punktów osnowy oraz narożników istniejących i projektowanych działek zostaną obliczone według odpowiednich opcji C-GEO dane, potrzebne do geodezyjnej realizacji opracowanego projektu z wykorzystaniem osnowy geodezyjnej. Na tej podstawie zostaną opracowane szkice realizacyjno-dokumentacyjne do wyniesienia projektu w teren.

Podsumowanie

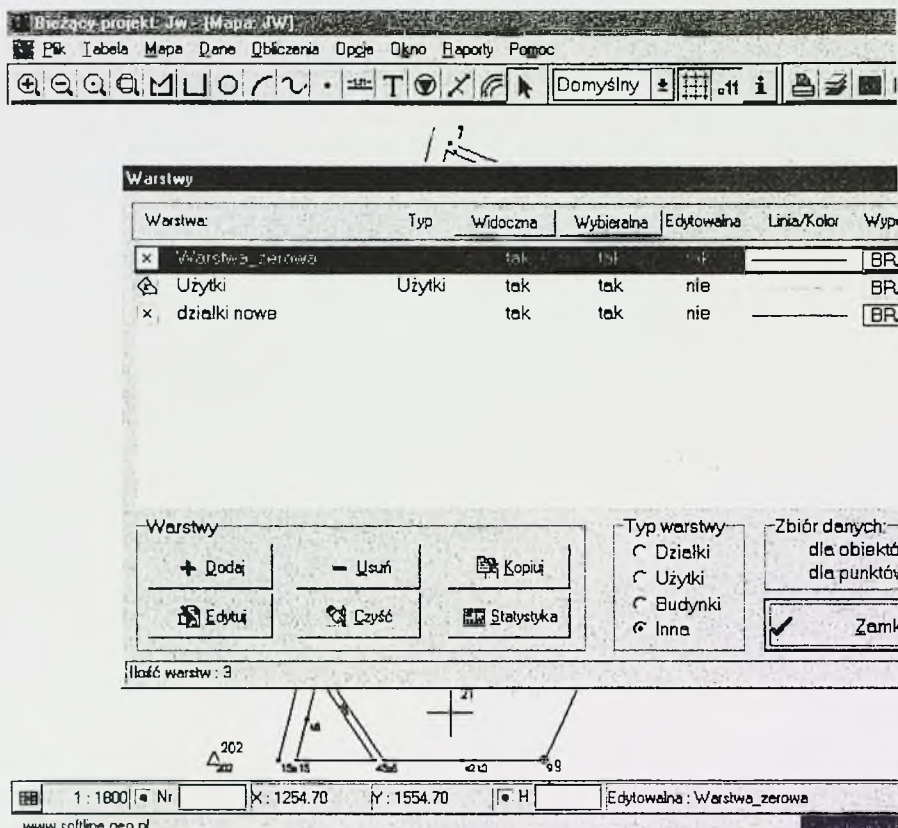
Podstawowe funkcje merytoryczne oraz dydaktyczne pakietu C-GEO przedstawiono na rysunkach 1–8. Program jest „przyjazny” dla opracowującego i jest wielce pomocny w realizacji podanych wcześniej celów przedmiotu „Geodezyjne urządzenie terenu”. Należy także zauważyć, że pakiet C-GEO jest tak bogato wyposażony w różne funkcje obliczeniowe i graficzne, iż może być z powodzeniem wykorzystywany w wielu zagadnieniach budownictwa oraz inżynierii



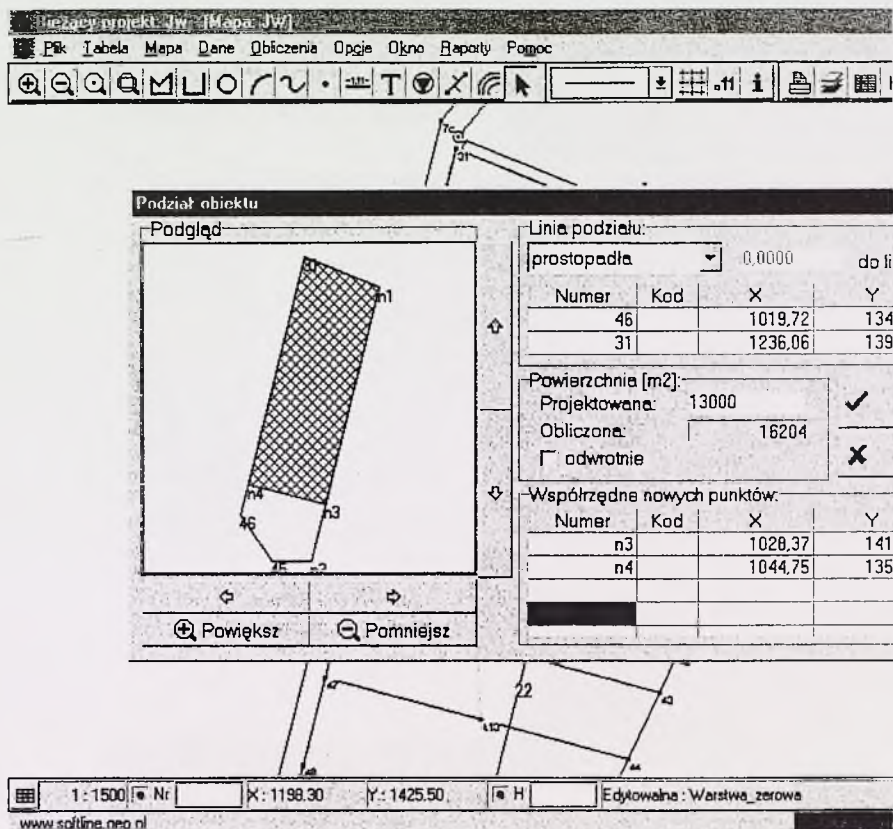
RYSUNEK 1. Belka główna, tabela mapa
FIGURE 1. Main beam, table, map



RYSUNEK 2. Obliczenia geodezyjne
FIGURE 2. Geodesic calculations

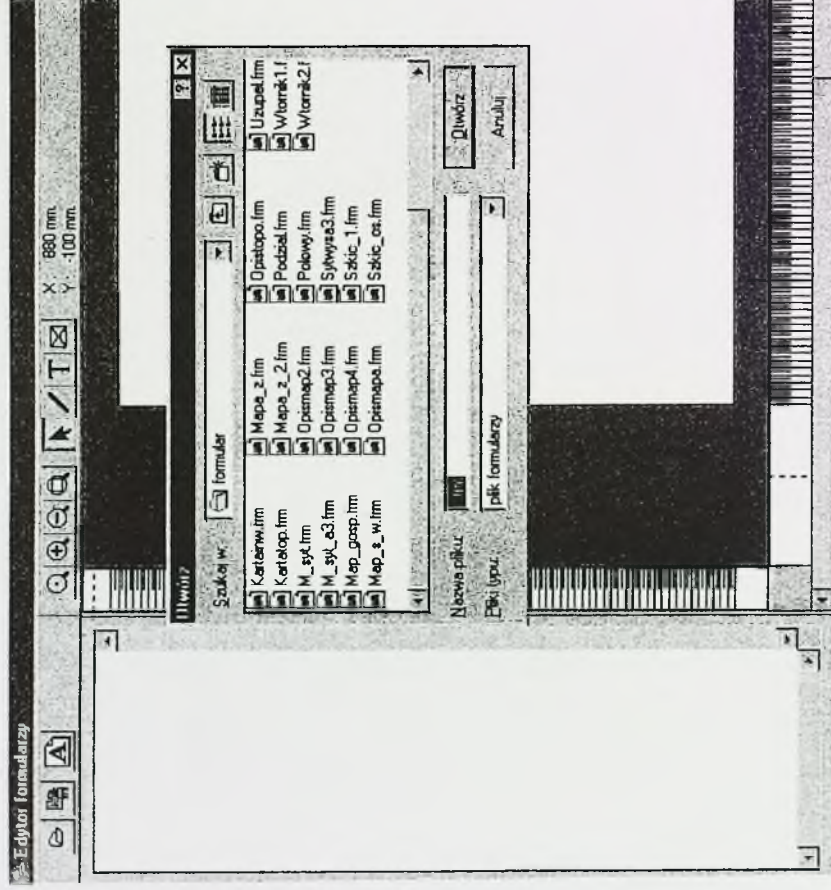


RYSUNEK 3. Warstwy tematyczne
FIGURE 3. Subject layers

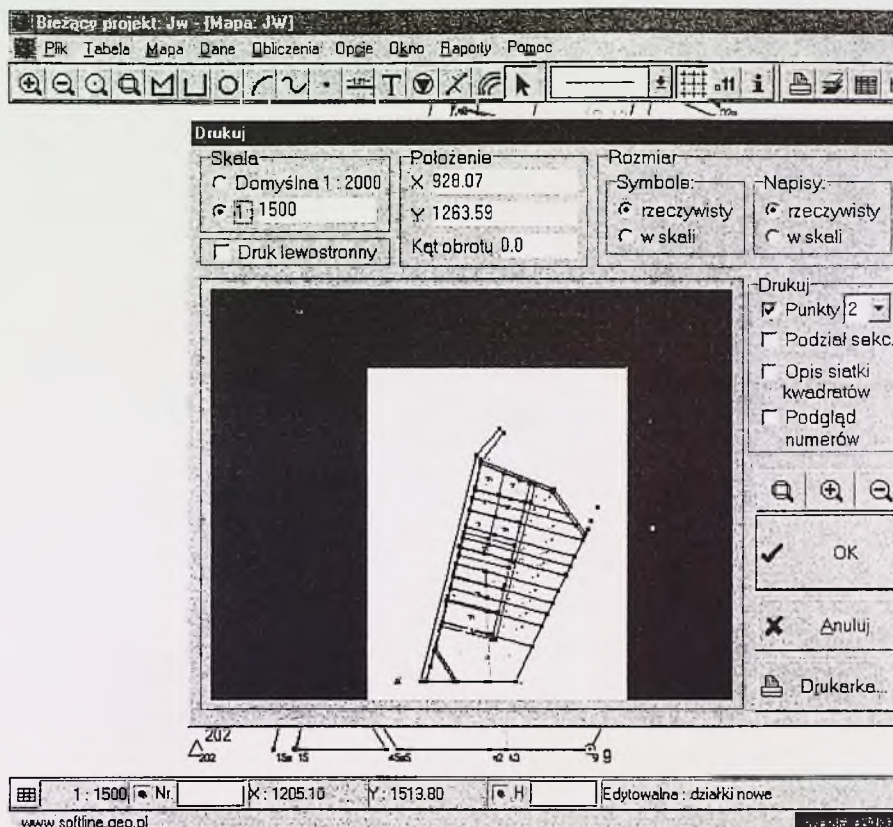


RYSUNEK 4. Projektowanie podziału obiektu

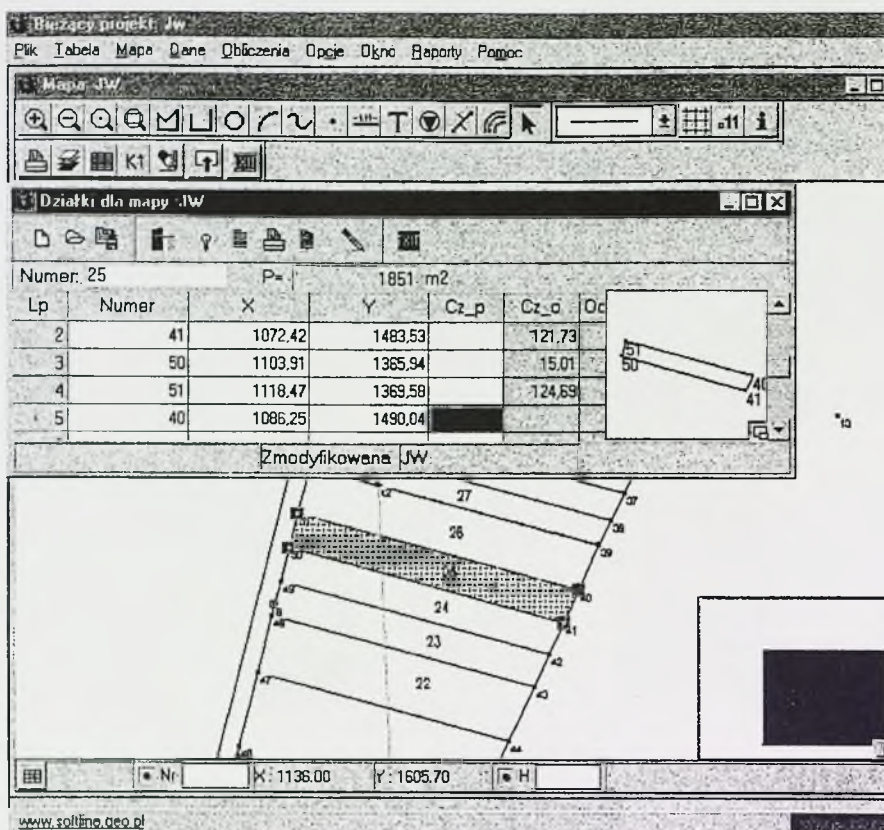
FIGURE 4. Design subdivision of the object



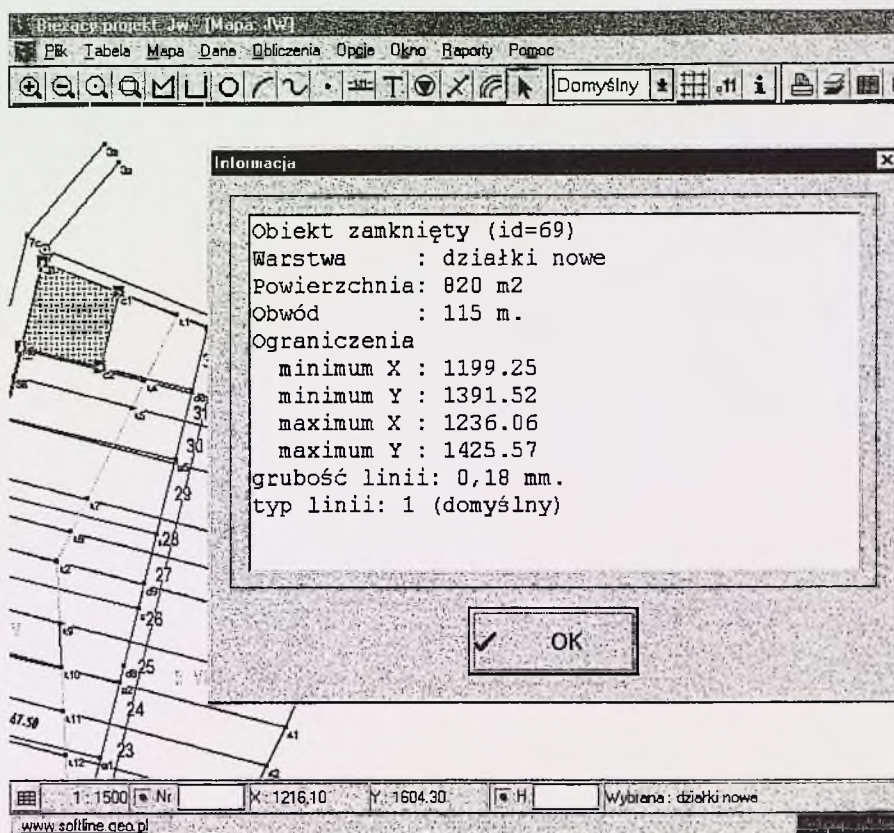
RYSUNEK 5. Edytor formularzy
FIGURE 5. Form editor



RYSUNEK 6. Drukowanie mapy
FIGURE 6. Printing of the map



RYSUNEK 7. Obliczanie powierzchni działki
FIGURE 7. Area computations



RYSUNEK 8. Informacje o wskazanym obiekcie
FIGURE 8. Information of the point object

i kształtowania środowiska, co jest niewątpliwą zaletą dla studentów tych kierunków. Pozwala na import-eksport danych do wielu systemów, np. do systemów CAD-owskich.

Oczywiście, obecnie w Polsce funkcjonuje wiele również dobrych programów, za pomocą których można by realizować powyższe zadania. W naszym przypadku głównym atutem było bezpłatne udostępnienie pełnej wersji programu C-GEO dla celów edukacyjnych

(z możliwością jego instalacji na wielu stanowiskach komputerowych) przez firmę SOFT-LINE, za co pragnę w tym miejscu serdecznie podziękować.

Literatura

- SOFT-LINE 1997: C-GEO dla Windows (podręcznik użytkownika). Wrocław.
- WYSOCKI J. 2000: Geodezja z fotogrametrią dla inżynierii środowiska i budownictwa. Wydaw. SGGW, Warszawa.

Summary

The paper presents some aspects of using of the computer program C-GEO for teaching in the subject „Geodetic arranging of areas”, for processing of geoinformations necessary for civil engineering and environmental engineering.

Author's address:

J. Wysocki

Warsaw Agricultural University – SGGW

Department of Civil Engineering and Geodesy

ul. Nowoursynowska 166

02-787 Warsaw

Poland

Bernard OLSZAK

Wodpol Sp. z o.o.

Wodpol Ltd.

Zastosowanie technologii Cyklob-SBR na przykładzie oczyszczalni ścieków w Mikołajkach

Waste water treatment plant in Mikołajki as example of SBR – Cyklob technology

Wstęp i cel pracy

Projektowanie oczyszczalni ścieków dla małych jednostek charakteryzujących się wysoką sezonowością napotyka duże problemy, ze względu na trudności wynikające ze zmienności ilości dopływających ścieków w ciągu roku przy jednoczesnym obowiązku utrzymania parametrów ścieków oczyszczonych. Dodatkowo trudność powodują koszty inwestycyjne, eksploatacyjne oraz organizacja obsługi i nadzoru obiektu.

Celem opracowania jest przedstawienie jednego z technicznych rozwiązań tego problemu, czyli zastosowanie oczyszczalni pracującej na osadzie czynnym w technologii Cyklob-SBR.

Technologia Cyklob-SBR opracowana przez zespół naukowców z Politechniki Krakowskiej (Banaś i in. 1996) jest rozwiniętą wersją konwencjonalnej technologii SBR (Sequencing Batch Reactors) o porcjowym częściowym napełnianiu i opróżnianiu reaktorów z zespolony-

mi zagęszczaczami osadu. Cechą szczególną reaktora Cyklob są zagęszczacze osadu, zblokowane z reaktorami, wykorzystujące dla zagęszczania osadu cykliczne zmiany napełnienia SBR ściekami.

Zastosowane rozwiązanie jest proste technicznie i bardzo niezawodne oraz, co dla tej wielkości oczyszczalni jest bardzo ważne, niedrogie.

Material i metodyka badań

Stacja Hydrobiologiczna Instytutu Ekologii PAN w Mikołajkach jest miejscem wypoczynku oraz jednostką badawczą. Obie działalności są źródłem ścieków bytowo-gospodarczych o dużym ilościowym zróżnicowaniu, zależnym od pory roku.

Niekorzystne usytuowanie stacji względem miejskiej oczyszczalni oraz wymagania dla odprowadzania ścieków oczyszczonych spowodowały konieczność rozbudowy istniejącej instalacji oczyszczania ścieków.

W 1998 roku w stacji wybudowano nową oczyszczalnię ścieków w zaautomatyzowanej technologii Cyklob-SBR. Zaprojektowano ją przy następujących założeniach:

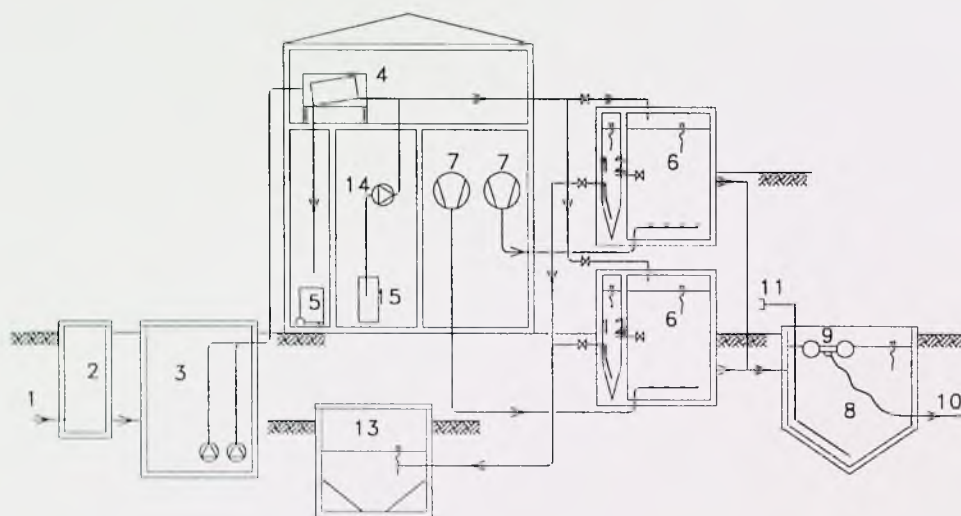
- obciążenie 15–125 RLM,
- dobowy przepływ maksymalny (Q_{dmax}) 25 m³/d,
- dobowy przepływ minimalny (Q_{dmin}) 3 m³/d,
- godzinowy przepływ maksymalny (Q_{hmax}) 10 m³/h.

Rysunek 1 przedstawia schemat technologiczny oczyszczalni, a rysunek 2 jej zdjęcie. Dopływające do oczyszczalni ścieki wprowadzane są do pompowni ścieków surowych, będącej jednocześnie

zbiornikiem uśredniającym i buforowym. Obiekt wyposażony jest w dwie pompy zatapialne o wydajności 10 m³/h. Wysokość podnoszenia pomp zapewnia grawitacyjny przepływ przez wszystkie obiekty do odbiornika. Ścieki z pompowni poddane są mechanicznemu oczyszczaniu na sicie obrotowym o prześwicie 6 mm, a następnie kierowane są do jednego z dwóch reaktorów Cyklob.

Założone parametry osadu czynnego w reaktorach wynoszą:

- obciążenie osadu ładunkiem BZT₅; $A = 0,05$ kg BZT₅/kg smo d,
- wiek osadu; WO = 25 d – stabilizacja tlenowa osadu,



RYSUNEK 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Ośrodku PAN w Mikołajkach: 1 – wlot ścieków surowych, 2 – studzienka rewizyjna, 3 – pompownia ścieków surowych, 4 – sita obrotowe, 5 – pojemnik na skrawki, 6 – reaktor SBR, 7 – dmuchawa, 8 – zbiornik końcowego oczyszczania, 9 – dekanter pływający, 10 – wylot do odbiornika, 11 – króciec do odbioru osadu, 12 i 13 – zagęszczacz osadu nadmiernego, 14 – pompa dozująca PIX, 15 – zbiornik PIX

FIGURE 1. Technological scheme of WWTP in PAN station in Mikołajki: 1 – inlet raw waste water, 2 – check well, 3 – raw pumping station, 4 – sieve, 5 – screen's tank, 6 – reactor SBR, 7 – aeration blower, 8 – final treating tank, 9 – swimming outlet, 10 – outlet to receiver, 11 – sludge removing fast connection, 12 and 13 – exceed thickened sludge tank, 14 – PIX dosing pump, 15 – PIX tank



RYSUNEK 2. Oczyszczalnia ścieków w Ośrodku PAN w Mikołajkach
 FIGURE 2. Waste water treatment plant in PAN station in Mikołajki

- stężenie osadu w komorze $X = 5 \text{ kg smo/m}^3$ oraz $7,5 \text{ kg smo/m}^3$ dla reaktora ze złożem zawieszonym,
- przyrost osadu nadmiernego $dX_j = 0,8 \text{ kg, sm/kg BZT}_{5\text{us d}}$.

Oczyszczalnia pracuje w cyklu dwunastogodzinnym, lecz może także pracować w cyklu ośmiogodzinnym.

Reaktory stanowią dwa zbiorniki o średnicy $D = 1,6 \text{ m}$, głębokości $H = 5,0 \text{ m}$ i objętości czynnej $9,0 \text{ m}^3$ każdy. Zblokowane z nimi zagęszczacze mają połączenia umożliwiające swobodną wymianę osadu czynnego w czasie trwania cyklu. Dopływające ścieki są napowietrzane przez ruszt z dyskowymi dyfuzorami

membranowymi. Powietrze doprowadzane jest z dwóch dmuchaw Rootsa. Każda współpracuje z jednym reaktorem, z możliwością pracy wspólnej, lub jednej dmuchawy na dwa reaktory

Oczyszczone w reaktorach ścieki są dekantowane do zbiornika końcowego oczyszczania i wyrównania odpływu. Zbiornik ten został wykonany na bazie istniejącego osadnika wtórnego. Ma układ dopływowy, dekanter pływający i przewód spustowy osadu. Ścieki oczyszczone odpływają do odbiornika, tj. do Jeziora Mikołajskiego.

Oczyszczalnia ma instalację do symultanicznego strącania fosforu. Dawko-

wanie koagulantu (preparatu PIX) odbywa się za sitem.

Podczas napełnienia reaktora, napowietrzony osad czynny zmieszany ze świeżymi ściekami wpływa do zagęszczacza. W zagęszczaczu przepływ ulega zatrzymaniu, co powoduje, że już w fazie napowietrzania kłaczkii osadu sedymentują, a woda nadosadowa klaruje się. Ponadto zagęszczacze zapewniają samoczynne odprowadzenie osadu nadmiernego z reaktora. Osad nadmierny odbierany jest z reaktorów i odprowadzany do dwóch zagęszczaczy grawitacyjnych. Tam osad jest zagęszczany do uwodnienia 98%, a następnie spuszczaany do zbiornika magazynowego osadu.

Osad ustabilizowany, nadmierny, zagęszczony i osad ze zbiornika oczyszczania końcowego są wywożone do miejskiej oczyszczalni ścieków w Mikołajkach, mającej pełny ciąg osadowy.

Wszystkie zbiorniki mokre wykonano w technologii żelbetowej. Są całkowicie zakopane w ziemi bądź zaizolowane termicznie. Wszystkie są przykryte stropami, co zapobiega wychładzaniu ścieków w zimę i zapobiega rozprzestrzenianiu się przykrych zapachów.

Pozostałe elementy pracy są typowe dla SBR-ów. Procesy cząstkowe właściwe dla osadu czynnego, przebiegające w reaktorze przepływowym w sposób równoczesny, takie jak: mieszanie-napowietrzanie, dopływ-odpływ, w reaktorze SBR rozdzielone są jako odrębne fazy cyklu w tym samym zbiorniku. W pełnym cyklu występują dodatkowo fazy: sedymentacja i dekantacja – pozwalające na wyeliminowanie osadnika wtórnego. Re-

cykulacja zewnętrzna i wewnętrzna jest zbędna – osad nie odpływa z reaktora.

Spośród usterek można wymienić awarie pasów napędowych dmuchaw, napędów elektrycznych zaworów oraz uszkodzenia pompy dozującej PIX.

Czynniki zewnętrzne, takie jak przerwy w zasilaniu w energię elektryczną, powodują przestoje – oczyszczalnia posiada jednostronne zasilanie. Przy krótkich przestojach pojemność buforowa zbiornika pompowni i reaktorów oraz kondycja osadu czynnego zapewniają wznowienie pracy bez niekorzystnych zmian w parametrach ścieków odpływających. Czynniki te są bardzo ważne dla małych instalacji ze względu na bardzo duże koszty inwestycyjne i eksploatacyjne zapasowego źródła energii.

Dotychczasowa praca instalacji wskazuje, że występujące usterki w większości należą do drobnych i nie wpływają ani na ciągłość pracy, ani na parametry ścieków oczyszczonych. Zastosowane rozwiązania, takie jak: wykonanie zbiorników napowietrzania z betonu wysokiej marki, tzn. B-50, pozostałych zbiorników z betonu B-30, wszystkich instalacji z tworzyw sztucznych i stali kwasoodpornej, skutkują brakiem usterek, korozji, ubytków i długowiecznością.

Oczyszczalnia pracuje zgodnie z zegarem sterownika Modicon, który rozpoczyna i kończy cykl. Cykl teoretyczny rozpoczyna się włączeniem pompy (pomp) w pompowni. Pompa pracuje do momentu osiągnięcia poziomu maksymalnego w danym reaktorze lub przez określony czas. Poziom w reaktorze jest mierzony czujnikami poziomu. Razem z włączeniem pompy rozpoczyna się faza napełniania i oczekiwania. Następnie następuje faza napowietrzania – nityfikacji.

Przerwa w napowietrzaniu – denitryfikacja, napowietrzanie – nityfikacja, przerwa w napowietrzaniu – denitryfikacja, napowietrzanie – nityfikacja. Po tych przemianach następuje sedymentacja, a po niej dekantacja kończąca cykl.

W trakcie cyklu następuje otwarcie i zamknięcie zaworu spustu osadu zagęszczonego z zagęszczacza, zapewniające odprowadzenie porcji dziennej/cyklicznej osadu nadmiernego.

Praca oczyszczalni przebiega automatycznie, obsługa jest zobowiązana do codziennego sprawdzenia wydruku z drukarki stanów i alarmów. Czynności wykonywane ręcznie to wywóz osadu i skratek oraz okresowa obsługa urządzeń mechanicznych.

System automatyki pozwala na pracę w okresie niedociążenia (poza sezonem) przy wykorzystaniu tylko jednego reaktora i pompowni jako zbiornika buforowego. Możliwość taka pozwala na prawidłową eksploatację oczyszczalni przy dwukrotnie zmniejszonym dopływie ścieków.

Instalacja wykonana w Stacji PAN ma pewne cechy szczególne, tzn.:

- wielkość dopływu ścieków surowych (najmniejszy klasyczny Cyklob typu 01 oczyszcza $Q_d = 87 \text{ m}^3/\text{d}^2$);
- dwa reaktory SBR (dla klasycznej technologii Cyklob byłby jeden);
- dekantery stałe w reaktorach i pływające w zbiorniku oczyszczania końcowego;
- wielkość oczyszczalni powoduje, że pompownia jest zbiornikiem wyrównawczym i retencyjnym, umożliwiając pracę poza sezonem tylko jednym reaktorem;
- zbiornik końcowy poprawiający efekty pracy, będący dodatkowym stopniem oczyszczania.

Wyniki badań

Do oceny prawidłowości pracy oczyszczalni wykorzystano wyniki badań (tab. 1 i 2) ścieków dopływających i oczyszczonych (Kufel 1998–2000, Wróbel 1998–2000).

TABELA 1. Średnie stężenia wskaźników ścieków na wylocie w okresie letnim i zimowym
TABLE 1. Waste water average concentration of parameters at outlet in summer and winter period

Parametr Parameter	Okres badawczy / Research period				
	lato '98 summer '98	lato '99 summer '99	lato '00 summer '00	zima '98/'99 winter '98/99	zima '99/00 winter '99/00
BZT ₅ / BOD ₅	7,5	5,2	5,0	8	4,5
N _{NH4}	4,2	1,7	2,3	4,0*	3,5
N _{NO3}	8,3	8,3	8,3	5,7	8,3
N _{Kiej.}	7,2	4,2	4,4	21,3	4,0
Total N	15,5	12,5	20,2	26,9	18,6
Total P	0,6	0,9	0,7	1,7	0,6
ZO/SS	5,2	6,0	10,4	12,2	7,7

*Poza okresem awarii.

TABELA 2. Wymagana jakość ścieków oczyszczonych

TABLE 2. Required quality of waste water at outlet

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Wartość Value
BZT ₅ / BOD ₅	g O ₂ /m ³	15
ZO / SS	g O ₂ /m ³	25
Total P	g P/m ³	1
NNH ₄	g N/m ³	6
Total N	g N/m ³	30

Z badań wynika, że:

1. Po 4 tygodniach od uruchomienia oczyszczalni zarejestrowano pełną nityfikację i denityfikację. Stężenie azotu ogólnego w ściekach dopływających wynosiło ok. 62 g N/m³, a w oczyszczonych ok. 18 g N/m³. Stężenie azotu amonowego w ściekach oczyszczonych osiągnęło wartość ok. 8 g NNH₄/m³. W trakcie dalszego oczyszczania osadu stężenie azotu amonowego spadło do poziomu 2–4 g NNH₄/m³.
2. Defosfatacja na drodze strącania chemicznego dawała od początku pozytywne wyniki. Stężenie fosforu ogólnego na wlocie wynosiło ok. 6 g P/m³, podczas gdy na wylocie ok. 0,7 g P/m³. Zużycie PIX kształtuje się na poziomie średnio 0,1 l/m³ ścieków oczyszczonych. Obliczeniowe zużycie PIX jest ok. 15% mniejsze niż rzeczywiste. Wynika to ze sposobu dozowania, przy którym jest podawany preparat PIX ze stałą wydajnością, dając przy przepływach minimalnych większą dawkę na każdą objętość ścieków niż zakładana.

3. Oczyszczalnia pozostaje hydraulicznie niedociążona, tzn. w sezonie letnim dopływ nie przekracza 50% Q_{dmax} , a w sezonie zimowym obniża się nawet do 10% Q_{dmax} . W związku z powyższym oczyszczalnia jest przełączana na jeden reaktor na okres od jesieni do wiosny. Praca na jeden reaktor przy niskich temperaturach i bardzo małym przepływie tzn. nawet 2 m³/d, pozwala na osiąganie parametrów ścieków na wylocie poniżej stężeń dopuszczalnych. Jednakże mały przepływ przy niskich temperaturach zewnętrznych powoduje wychłodzenie reaktora i spowolnienie procesów biologicznych, głównie nityfikacji. Mimo to stężenie azotu w odpływie nigdy nie przekroczyło 30 g/m³ – wartości granicznej.
4. Stężenie BZT₅ w ściekach odpływających wynosi średnio 8 g O₂/m³ i pozostaje niezmiennie. Osad czynny zachowuje kłaczkowatą strukturę i nie wykazuje tendencji do puchnięcia i zagniwania. Potwierdzeniem jest jego indeks mieszczący się w granicach 130–150 cm³/g przez cały okres pracy. Obliczeniowy indeks wynosi 120 cm³/g. Stężenie osadu w komorze wynosi średnio 3,5 kg/m³ i spada bardzo nieznacznie w zimie. Obliczeniowe stężenie wynosi do 5 kg/m³. Analiza biologiczna wskazuje, że osad pracuje jako niskoobciążony z charakterystycznymi organizmami, takimi jak: *Ciliatia*, *Vorticella*, *Epi-stilli*, *Aspidisca*. W okresie zimowym zwiększa się ilość *Rotifera*, wskazując na obniżenie obciążenia.

Omówienie wyników

Wyniki badań laboratoryjnych oraz wyniki eksploatacyjne oczyszczalni dokumentują w sposób jednoznaczny duży potencjał technologii Cyklob-SBR dla instalacji większych niż przydomowe, a mniejszych niż najmniejsze przepływowe. Zdolność do pracy z przepływami rzędu 10% Q_{dmax} świadczy o możliwościach zastosowań dla miejscowości wypoczynkowo-uzdrowiskowych, mających poza sezonem niewielu mieszkańców. Daje także możliwość oddania do normalnej eksploatacji oczyszczalni i stopniowej rozbudowy sieci kanalizacyjnej. Jest to bardzo ważna zaleta dla małych wiejskich oczyszczalni. Oczyszczalnia charakteryzuje się niskimi stężeniami azotu i fosforu ogólnego na wylocie oraz bardzo dobrym usuwaniem związków węgla bez względu na dopływ i temperaturę zewnętrzną.

Oczyszczalnia została zaprojektowana w sposób umożliwiający oczyszczanie wszystkich powstających na stacji ścieków bytowo-gospodarczych, według obowiązujących wytycznych o jednostkowych ilościach odprowadzanych ścieków. Wytyczne te podają w większości przypadków dużo większe ilości powstających ścieków w przeliczeniu na mieszkańca niż ma to miejsce w rzeczywistości. Sytuacja taka ma tendencję pogłębiającą się, gdyż zużycie wody na terenach innych niż wielkie miasta spada. Jest to szczególnie odczuwalne po opomiarowaniu odbiorców wody. Dlatego niezwykle ważne jest sporządzenie właściwego bilansu ilości ścieków i jeśli to

możliwe – oparcie się na pomiarach w terenie.

Należy podkreślić, że przedmiotowy obiekt należy do stacji PAN, co daje szansę dobrego nadzoru. Czynniki ten ma niewątpliwie duże znaczenie dla pracy obiektu, a w szczególności dla szybkości usuwania ewentualnych awarii i poprawności procedury przełączania pracy z dwóch na jeden reaktor i odwrotnie. Obiekt jest więc dobrym polem do wszelkich badań i optymalizacji. Sytuacja taka jest spowodowana prowadzeniem częstych i regularnych analiz ścieków dopływających i szczególnie odpływających. Dają one obraz pracy, który na wielu podobnych obiektach jest trudny do przeanalizowania ze względu na koszty badań oraz stopień wykwalifikowania personelu.

Podsumowanie

Wyniki badań eksploatacyjnych prowadzonych na funkcjonującym obiekcie świadczą o trafności wybranej technologii. Zastosowane rozwiązania zapewniają spełnienie wymaganych parametrów ścieków oczyszczonych bez względu na nierównomierność dopływających ścieków. Dzięki pełnej automatyzacji obiekt funkcjonuje prawidłowo i nie wymaga ciągłego dozoru.

Wykorzystanie pompowni jako zbiornika retencyjnego oraz możliwość eksploatacji tylko jednego reaktora rozwiązała problem ilości dopływających ścieków w różnych porach roku.

Prawdopodobnie oczyszczalnia mogłaby spełnić ostrzejsze warunki dotyczące ścieków oczyszczonych przy za-

stosowaniu lepszej izolacji termicznej stropów rektorów i przy przepustowości oczyszczalni dostosowanej do ilości dopływających ścieków. To jednak jest niemożliwe w rozpatrywanym przypadku ze względu na niedociążenie i rejon Polski (niskie temperatury w zimie).

Zastosowana technologia oczyszczania ścieków i jej realizacja na przedmiotowym obiekcie, pomimo dużego niedociążenia poza sezonem, sprawdziła się w pełnym zakresie.

Literatura

- BANAŚ J., STYKA W., MUCHA Z. 1996: Koncepcja technologiczna typoszeregu oczyszczalni SBR-Cyklob zespolonych z zagęszczaniem osadu. Politechnika Krakowska, Kraków.
- BEVER J., STEIN A., TEICHMANN H. 1997: Zaawansowane metody oczyszczania ścieków. Projprzem-Eko, Bydgoszcz.
- CYWIŃSKI B., GDULA S., KEMPA E., KURBIEL J., PŁOSZAŃSKI H. 1972: Oczyszczanie ścieków miejskich. ARKADY, Warszawa.
- IMHOFF K., IMHOFF K. 1996: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik. Projprzem-Eko, Bydgoszcz.
- Inwestycje komunalne w ochronie środowiska. Ochrona wód, 1995. Procko, Warszawa.
- KUFEL I. 1998–2000: Analizy chemiczne ścieków oczyszczonych z oczyszczalni Stacji Hydrobiologicznej w Mikołajkach, Mikołajki.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 05.11.1991 r.

WRÓBEL J. 1998–2000: Analizy chemiczne i biologiczne ścieków surowych i osadu czynnego Stacji Hydrobiologicznej Instytutu Ekologii PAN w Mikołajkach, Mikołajki.

Summary

SBR Cyklob technology is good solution for small WWTP. In this kind of SBR technology biological reactor is integrated with excess sludge thickener. WWTP for PAN station in Mikołajki was built in accordance with that technology. This plant is different because of big inequality of inflow that depend on years' season. To provide good (correct biological process), reactor was thermally insulated and inlet pumping station was designed as expansion tank. Effluent quality in summer time is better than in winter time however researches made during two years of exploitations provide effectiveness on the required level during whole year.

Author's address:

B. Olszak
Wodpol Ltd.
ul. Guderskiego 3/60
03-982 Warsaw
Poland

WSPOMNIENIA POŚMIERTNE

Jan SKIBIŃSKI (1923–2001)



Nauka polska poniosła wielką stratę. Po długiej chorobie w wieku 78 lat zmarł w dniu 17 maja 2001 roku prof. dr hab. inż. Jan Skibiński, profesor zwyczajny SGGW w Warszawie, wykładowca i wychowawca wielu pokoleń studentów, wybitny specjalista z zakresu dyscyplin hydrologii i hydrauliki, a zwłaszcza dynamiki koryt rzecznych i transportu rumowiska rzeczno-geologicznego, członek wielu stowarzyszeń i organizacji naukowych, krajowych i międzynarodowych.

Jan Skibiński urodził się w Warszawie 1 maja 1923 roku w rodzinie inteligentnej. W 1930 roku rozpoczął naukę w szkole powszechnej, by w 1939 roku uzyskać małą maturę. W czasie okupacji, w latach 1940–1942, uczęszczał do Pań-

stwowego Liceum Budownictwa Lądowego i Wodnego, które ukończył z dyplomem technika wodociągowo-kanalizacyjnego. Po ukończeniu liceum został przyjęty do Państwowej Wyższej Szkoły Technicznej na Wydział Komunikacyjno-Wodny. Szkoła ta działała na bazie przedwojennej Politechniki Warszawskiej, realizującej program nauczania w bardzo ograniczonym przez okupantów zakresie. Okres ten był dla młodzieży nie tylko czasem nauki, ale i czynnej walki z okupantem. Profesor Skibiński czynnie w tej walce uczestniczył, wstępując do Polskiej Armii Podziemnej. W 1944 roku ukończył tajną szkołę Podchorążych Rezerwy Okręgu Warszawskiego. Brał udział w powstaniu warszawskim w randze kaprala-podchorążego, walcząc na Mokotowie i w rejonie Sielc. Ranny w czasie walk w końcu września 1944 roku, przedostał się kanałami do Śródmieścia i do końca powstania przebywał w szpitalu. Po upadku powstania został wywieziony do obozu jenieckiego w Zeithain k. Drezna w Niemczech. Po uwolnieniu, w 1945 roku, wrócił do Warszawy i w latach 1946–1950 studiował na Politechnice Warszawskiej, pracując jednocześnie zawodowo. W 1950 roku ukończył studia z dyplomem inżyniera budownictwa wodnego i magistra nauk technicznych.

Pracę zawodową rozpoczął Profesor Skibiński jeszcze podczas okupacji,

w latach 1941–1943, jako technik w firmie „Grupa Techniczna”. Po wojnie, podczas studiów w latach 1948–1949, pracował w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym w Warszawie na stanowisku technika. W 1949 roku, jeszcze jako dyplomant, podjął pracę w Katedrze Budownictwa Wodnego SGGW, pozostając na Uczelni przez cały okres swojego czynnego życia zawodowego, przechodząc wszystkie szczeble kariery naukowej i zawodowej od asystenta, poprzez starszego asystenta, adiunkta, docenta do profesora zwyczajnego.

W 1963 roku Rada Wydziału Melioracji Wodnych SGGW nadała Mu stopień naukowy doktora nauk technicznych, po publicznej obronie pracy pt. „Włeczenie rumowiska dennego w profilu Wisły w Warszawie”. Stopień naukowy doktora habilitowanego nauk technicznych w zakresie hydrologii uzyskał w 1976 roku na podstawie rozprawy habilitacyjnej pt. „Próba ilościowej oceny intensywności transportu rumowiska włeczonego w rzekach na obszarze środkowej Polski”. W 1982 roku Rada Państwa nadała Mu tytuł profesora nadzwyczajnego, a w 1991 roku otrzymał tytuł naukowy profesora zwyczajnego.

W okresie swej działalności na Uczelni zajmował stanowiska: kierownika Katedry Budownictwa Wodnego (1969–1970), zastępcy dyrektora oraz dyrektora Instytutu Budownictwa Melioracyjnego i Rolniczego (1970–1979), a następnie dyrektora Instytutu Melioracji i Gospodarki Wodnej (1979–1982). W latach akademickich 1978/79 – 1980/81 pełnił funkcję dziekana Wydziału Melioracji Wodnych. Przez wiele lat był członkiem

Senatu Uczelni oraz komisji senackich i rektorskich.

W pierwszym okresie swej pracy dydaktycznej w SGGW, jako asystent profesora Dębskiego, prowadził zajęcia z hydrauliki, hydrologii, regulacji rzek, budownictwa wodnego, by po uzyskaniu stopnia adiunkta skoncentrować się na swym koronnym przedmiocie – hydraulice. W 1953 roku profesor Dębski powierzył Mu prowadzenie wykładów z hydrauliki i podstaw hydromechaniki oraz kierowanie całością tego przedmiotu, który prowadził aż do przejścia na emeryturę. Profesor Skibiński opracował program wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych i laboratoryjnych z tego przedmiotu. Doświadczenia zgromadzone w trakcie wykładów wykorzystał, opracowując skrypt „Hydraulika” dla studentów Wydziału Melioracji Wodnych SGGW. Skrypt ten doczekał się paru wydań, których nakład szybko się wyczerpywał.

Niezależnie od pracy dydaktycznej w SGGW Profesor Skibiński prowadził zajęcia z hydrologii na Politechnice Warszawskiej na Inżynierskim Kursie Hydrologicznym oraz na Magisterskim Kursie Hydrologicznym. Działalność dydaktyczną rozwijał również okresowo na Uniwersytecie Warszawskim i w Wieczorowej Szkole Inżynierskiej w Warszawie, prowadząc wykłady i ćwiczenia z hydrauliki i hydrofizyki.

Pod kierunkiem Profesora Skibińskiego wykonanych zostało 21 prac magisterskich. W ramach kształcenia kadry naukowej był promotorem 2 ukończonych przewodów doktorskich w SGGW. Pracowitość, sumienność i wielka kultura osobista, a wszystko podbudowane nie-

przeciętną wiedzą i znajomością problemów hydrauliki, hydrologii i budownictwa wodnego, sprawiło, że był cenionym opiniodawcą i recenzentem prac naukowych. Był recenzentem 28 rozpraw doktorskich i 15 habilitacyjnych oraz autorem licznych opinii o kandydatach na docentów i profesorów, jak również superrecenzentem wielu wniosków do Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego lub tytułu profesora.

Równoległe z zatrudnieniem w SGGW Profesor Skibiński pracował w latach 1954–1956 w Biurze Studiów Gospodarki Wodnej PAN, gdzie z zespołem kierowanym przez profesora Dębskiego tworzył podstawy hydrologiczne „I Planu Perspektywicznego Gospodarki Wodnej w Polsce”, a następnie w latach 1957–1964 pracował w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym na stanowisku kierownika Pracowni Dynamiki Koryt Rzecznych. W latach 1973–1975 był zatrudniony na stanowisku docenta kontraktowego w Instytucie Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku.

Jego zainteresowania naukowe, które zaowocowały uzyskaniem stopnia naukowego doktora i doktora habilitowanego, koncentrowały się na zagadnieniach ruchu rumowiska wleczonego w korytach rzecznych, metodach pomiarów, analizy i oceny intensywności wleczenia. Jest współautorem opatentowanej konstrukcji nowego typu łapaczki do pomiarów rumowiska wleczonego – „Łapaczka PIHM” (patent nr 50413/1966), organizatorem serii pomiarów terenowych, autorem własnych formuł obliczeniowych. Jego prace znalazły bezpośrednie zasto-

sowanie w prognozowaniu zamulania projektowanych i istniejących zbiorników retencyjnych. Rozwinięcie podejmowanej tematyki badań stanowi modelowanie matematyczne procesów deformacji dna koryt rzecznych w dolnych i górnych stanowiskach stopni wodnych. Wyniki tych prac zostały zweryfikowane na podstawie sondowań w przekrojach poprzecznych Zbiornika Włocławskiego i odcinka dolnej Wisły poniżej stopnia. Na początku lat 90. Profesor Skibiński uczestniczył w temacie badawczym realizowanym wspólnie z Departamentem Rolnictwa USA, dotyczącym modelowania wpływu działalności człowieka na wezbrania opadowe i transport rumowiska w małych zlewniach rolniczych.

Profesor Skibiński brał udział w licznych konferencjach, kongresach i sympozjach naukowych w kraju i zagranicą, na których wygłosił wiele referatów. Swoją wiedzę pogłębiał w ramach naukowych staży zagranicznych, m.in. w Armenii, Gruzji i Rosji, w latach 1960–1970.

Wyteżona praca naukowa na Uczelni oraz w PIHM nie zamykała działalności Profesora. Był członkiem Rady Naukowej PIHM, a później IMGW, Rady Naukowej IBW-PAN, Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Polskiego Komitetu Narodowego ds. Międzynarodowego Programu Hydrologicznego (IHP) UNESCO, Międzynarodowego Stowarzyszenia Badań Hydraulicznych (IAHR) oraz rzeczoznawcą SITWiM NOT, jak również biegłym Urzędu m.st. Warszawy. Podczas swej działalności w ramach IHP UNESCO uczestniczył w opracowaniu „Wytocznych do oceny wpływu zbiorników reten-

cyjnych na zasoby wodne i reżim odpływu”.

Na Jego obszerny dorobek dydaktyczny i naukowy składa się około 60 monografii, rozpraw i artykułów naukowych, 5 podręczników i skryptów, liczne prace niepublikowane oraz jeden patent.

Poza pracą naukową i dydaktyczną Profesor Skibiński udzielał się również w pracy społecznej. Działał w Związku Nauczycielstwa Polskiego, gdzie piastował funkcję zastępcy prezesa, a następnie prezesa Rady Zakładowej SGGW (1967–1972).

Profesor Skibiński był nie tylko wybitnym specjalistą cieszącym się wielkim autorytetem w środowisku naukowym. Był wspaniałym człowiekiem, niezwykle bezpośrednim, przyjaznym i serdecznym, wrażliwym na cudze kłopoty i zmartwienia. Był nie tylko nauczycielem, ale i wychowawcą rozumiejącym problemy młodzieży, zawsze gotowym służyć radą i pomocą.

Po przejściu na emeryturę w 1993 roku w dalszym ciągu czynnie współpracował z Uczelnią. Jednak pogarszający się stan zdrowia zmusił Go, niestety, do stopniowego ograniczania działalności naukowej i dydaktycznej oraz poświęcenia się sprawom swojej rodziny, a przede wszystkim pomocy w wychowywaniu swoich wnucząt. Za wieloletnią działalność naukową i dydaktyczną Profesor Skibiński był odznaczony Złotym Krzyżem Zasługi, Krzyżem Kawalerskim Or-

deru Odrodzenia Polski, tytułem „Zasłużony Nauczyciel PRL”, Medalem Komisji Edukacji Narodowej. Trzykrotnie był wyróżniany nagrodą zespołową Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki oraz złotą odznaką honorową „Zasłużony dla SGGW”. Za działalność w okresie okupacji otrzymał Krzyż Zasługi z Mieczami, Krzyż Walecznych, Krzyż Armii Krajowej, Krzyż Partyzancki, Warszawski Krzyż Powstańczy.

Zmarł, pozostawiając swoich przyjaciół, współpracowników i uczniów w głębokim żalu. Pozostanie w naszej pamięci nie tylko jako wybitny specjalista i naukowiec, ale jako człowiek, który do końca, mimo narastających cierpień związanych z chorobą, promieniował dobrocią, życzliwością i nadzieją, których nie szczędził potrzebującym rady i duchowego wsparcia.

Dla piszących te słowa odejście Śp. Profesora Jana Skibińskiego było szczególnie bolesne. Odszedł bowiem jeden z nielicznych żyjących naszych nauczycieli akademickich z okresu studiów na Politechnice Warszawskiej, z którym cała nasza grupa studencka była szczególnie zaprzyjaźniona. Na zawsze pozostanie w naszej wdzięcznej pamięci jako nauczyciel, przełożony, przyjaciel, a później starszy kolega, na którego zawsze mogliśmy liczyć.

*Andrzej Byczkowski
Włodzimierz Meyer*

Janusz SOKOŁOWSKI (1930–2001)



W dniu 12 września 2001 roku zmarł w Warszawie prof. dr hab. inż. Janusz Sokołowski, długoletni pracownik Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, kierownik Katedry Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych, człowiek znany i szanowany w środowisku naukowym i zawodowym.

Janusz Sokołowski urodził się 6 stycznia 1930 roku w Warszawie. Studia wyższe ukończył na Wydziale Melioracji Wodnych SGGW, uzyskując w 1952 roku dyplom inżyniera, a w 1955 roku magistra inżyniera. Doktoryzował się w 1965 roku. Stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w zakresie melioracji uzyskał w 1978 roku, a w 1979 roku został powołany na stanowisko docenta. W 1986 roku otrzymał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego. Od 1992

roku pracował na stanowisku profesora zwyczajnego, a w 2000 roku przeszedł na emeryturę.

Pracę zawodową rozpoczął w SGGW w 1951 roku, jeszcze przed zakończeniem studiów, jako asystent profesora Władysława Kollisa w Katedrze Gruntoznawstwa i Budownictwa Ziennego. W dalszym okresie swojej kariery zawodowej pełnił wiele odpowiedzialnych funkcji. W latach 1976–1979 był kierownikiem Zakładu Fundamentowania, Technologii i Organizacji Robót w Instytucie Budownictwa Melioracyjnego i Rolniczego SGGW, a w latach 1978–1982 wicedyrektorem Instytutu Melioracji i Gospodarki Wodnej SGGW i jednocześnie kierownikiem Zakładu Melioracji i Technologii Robót. Po reorganizacji wydziału w 1982 roku objął funkcję kierownika Katedry Technologii Prac Melioracyjnych, Hydrogeologii i Zaopatrzenia w Wodę, a od 1988 roku kierownika Katedry Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych, pełniąc ją do 1996 roku.

Profesor Janusz Sokołowski posiadał znaczący dorobek naukowy zawierający się liczbą ponad 190 publikacji, w tym 12 podręczników i skryptów oraz około 430 opracowań niepublikowanych. Współpracował ściśle z praktyką projektową, wykonawczą i eksploatacyjną. W ramach działalności dydaktycznej prowadził ćwiczenia i wykłady na studiach stacjo-

narnych i zaocznych, a także wykłady na studiach podyplomowych, studium doktoranckim oraz na kursach szkoleniowych kadry inżynierskiej. Był promotorem 7 przewodów doktorskich, pod jego kierunkiem wykonanych zostało około 110 prac magisterskich i około 50 prac inżynierskich. Opracował wiele recenzji prac doktorskich, rozpraw habilitacyjnych oraz wniosków o nadanie tytułu lub powołanie na stanowisko profesora.

Profesor Janusz Sokołowski zaliczał się do najwybitniejszych specjalistów w kraju w zakresie technologii i organizacji inżynierii środowiska oraz odwodnień budowlanych i osiedlowych. Kierując przez przeszło 20 lat dużą jednostką naukowo-dydaktyczną, stworzył nową szkołę naukową, która funkcjonując nieprzerwanie od kilkunastu lat, pozwoliła jej twórcy przenieść myśli teoretyczne do rozwiązań praktycznych. Jego wiedza, doświadczenie zawodowe oraz umiejętność rozwiązywania konkretnych problemów inżynierskich były szeroko znane i cenione wśród kadry inżynierskiej w całej Polsce. Jako wybitny specjalista w zakresie inżynierii i kształtowania środowiska Profesor Janusz Sokołowski brał udział w opracowaniu i realizacji planów ochrony i odbudowy doliny rzeki Wisły w byłym województwie płockim, po powodzi w 1982 roku, w której uczestniczył osobiście jako doradca Głównego Komitetu Przeciwpowodziowego. Przez kilkanaście lat pełnił nadzór naukowy i badawczy podczas realizacji największego w kraju zbiornika wodnego dla celów rolnictwa w Siemianówce na rzece Narwi. Po oddaniu zbiornika do eksploatacji w 1990 roku nadal konsultował i opar-

owywał wytyczne jego eksploatacji. Brał także udział w rozwiązywaniu problemów związanych z największą powojenną inwestycją melioracyjną w kraju, jaką był Kanał Wieprz-Krzna na Lubelszczyźnie. Po tragicznej powodzi w 1997 roku na terenach Polski Południowej został powołany do pełnienia doradztwa i konsultacji naukowych planów odbudowy i zabezpieczenia przeciwpowodziowego byłych województw: katowickiego, opolskiego, częstochowskiego, kieleckiego i radomskiego. Miarą uznania Jego wiedzy i doświadczenia w tej dziedzinie było powołanie Go na członka Rady Narodowego Programu Odbudowy i Modernizacji przy Prezesie Rady Ministrów.

Profesor Janusz Sokołowski był kierownikiem kilku tematów naukowych, realizowanych w ramach programów: rządowego PR-7, centralnego CPBR 10.8, resortowych RPBR 28.1, RPBR R-1 (MOch.Śr.), RP-II-19 (MEN). Miarą jego osiągnięć naukowych był udział w pracach Komitetu Melioracji i Inż. Środ. Rol. PAN, Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Komitetu Techniki Rolniczej PAN, w Radzie Naukowej IMUZ, w radach programowych czasopism: *Gospodarka Wodna* oraz *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, przewodniczenie Radzie Naukowej Centralnego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Budownictwa Inżynierskiego HYDROBUDOWA.

W latach 1986–1990 Profesor Janusz Sokołowski był członkiem Zespołu Dydaktyczno-Naukowego Melioracji Wodnych i Geodezji w Ministerstwie Edukacji Narodowej, a następnie Zespołu Ekspertów ds. Melioracji w tymże Ministerstwie. Od 1986 roku pełnił nieprzerwanie

funkcję rzecznika dyscyplinarnego Ministerstwa Edukacji Narodowej dla nauczycieli akademickich. Był członkiem Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, Towarzystwa Naukowej Organizacji i Kierowania oraz Międzynarodowego Towarzystwa Gleboznawczego. Od wielu lat był działaczem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych NOT, a w latach 1993–2000 jego prezesem. Był członkiem Komitetu Głównego Olimpiady Wiedzy i Umiejętności Rolniczych. Do 1992 roku był członkiem oraz przewodniczącym Sekcji w KBN.

Profesor Janusz Sokołowski posiadał także duże osiągnięcia w pracy wychowawczej z młodzieżą. Przez wiele lat był opiekunem domów studenckich, a w latach 1975–1985 pełnomocnikiem Rektora ds. Studenckich i Wychowania. Od 1990 roku pełnił funkcję przewodniczącego Komisji Dyscyplinarnej dla Studentów. Wyróżniony pięcioma nagrodami Ministra Edukacji Narodowej oraz kilkoma nagrodami Rektora SGGW.

W okresie od stycznia 1943 roku do grudnia 1944 roku był członkiem Szarych Szeregów Armii Krajowej. Brał udział w powstaniu warszawskim, pełniąc funkcję łącznika. Od ponad 25 lat działał aktywnie w ruchu kombatanckim. Pełnił w nim wiele odpowiedzialnych funkcji. Był delegatem na I i II Kongres

Związku Kombatantów RP. Od 1996 roku był wiceprezesem tegoż Związku oraz przewodniczącym Krajowej Rady Środowisk Żołnierzy Armii Krajowej. Był członkiem Komitetu Obchodów 50-lecia Powstania Warszawskiego w Kancelarii Prezydenta RP.

Za swoją działalność zawodową i społeczną Profesor Janusz Sokołowski został odznaczony: Krzyżami Komandorskim, Oficerskim i Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym Krzyżem Zasługi, Krzyżem Armii Krajowej, Warszawskim Krzyżem Powstańczym, Krzyżem Partyzanckim, Medalem za Warszawę 1939–1945, Medalem Komisji Edukacji Narodowej. Uhonorowany Złotą Odznaką za Zasługi dla Warszawy, Odznaką Honorową za Zasługi dla Oświaty, Złotą i Srebrną Odznaką za Zasługi dla SGGW i wieloma innymi odznaczeniami i odznakami honorowymi.

Odszedł od nas człowiek wielkiej wiedzy i kultury, cieszący się olbrzymim autorytetem w środowisku naukowym i zawodowym, nauczyciel i wychowawca licznych pokoleń inżynierów, człowiek głęboko zaangażowany w sprawy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW. Takim pozostanie w naszej pamięci.

Mieczysław Połoniński

Jan SKIBIŃSKI

Początki Wydziału Melioracji Wodnych SGGW Wspomnienie*

W życiu człowieka, jak też w działalności różnych instytucji tzw. okrągłe rocznice stanowią okazję do wspominania i oceny zdarzeń, jakie miały miejsce w minionych latach. Ubiegłoroczna 70. rocznica moich urodzin oraz przyszłoroczna 50. rocznica istnienia studiów melioracyjnych w SGGW, do przedstawienia takich wspomnień skłaniają. Jest to jednak powszechnie stwierdzony fakt, iż ludzie w starszym wieku, do których i ja już siebie zaliczam, pamiętają lepiej zdarzenia z lat dawniejszych niż z późniejszych. Z tego też względu przedstawione wspomnienia ograniczyłem do wcześniejszego okresu mej 44-letniej pracy w SGGW. Wpierw jednak słów kilka muszę poświęcić wyjaśnieniu, jak w Uczelni tej się znalazłem.

W 1939 roku, tuż przed wybuchem wojny, uzyskałem małą maturę, nie miałem jednak wówczas ukierunkowanych zainteresowań dotyczących dalszej nauki. Zakaz wznowienia działalności

szkół, wydany przez niemieckie władze okupacyjne w początkowym okresie po zakończeniu działań wojennych, umożliwił odsunięcie potrzeby podjęcia decyzji w tej sprawie o rok. A jednak i wówczas wybór kierunku dalszej nauki okazał się przypadkowy, chociaż z perspektywy minionych lat oceniam go jako trafny.

Jesienią 1940 roku Niemcy zezwolili na uruchomienie pewnej liczby szkół zawodowych. Jedną z nich, w której podjąłem naukę, była Prywatna Szkoła Techniczna profesora A. Mischkego (w okresie przedwojennym profesora kolejnictwa w Politechnice Warszawskiej). W roku następnym, z połączenia kilku szkół podobnego typu, utworzono Państwową Szkołę Budownictwa Lądowego i Wodnego II stopnia (Staatliche Fachschule für Bauwesen II Stufe). W miesiącach letnich uczniowie tej szkoły byli zobowiązani do odbycia praktyk zawodowych. Otrzymałem skierowanie do firmy „Gru-

**Od redakcji.* Profesor dr hab. Jan Skibiński (1923–2001) napisał w 1995 roku wspomnienie dotyczące działalności naszego Wydziału w początkowym okresie istnienia, które drukujemy w oryginalnej wersji.

pa "Techniczna", mającej swoje biura na placu Trzech Krzyży nr 3, która wśród innych prac inżynierskich, prowadziła roboty melioracyjne w rejonie Radzymi-
na oraz nadbudowę wałów wiślanych w okolicy Augustówki k. Wilanova. Był to mój pierwszy kontakt z praktyczną działalnością w zakresie robót melioracyjnych. Nie bez znaczenia dla mojej dalszej drogi życiowej i pracy zawodowej okazała się także znajomość z profesorem Kazimierzem Dębskim, który we wspomnianej szkole prowadził ćwiczenia z hydrologii.

Kolejny i trwały już kontakt z wymienionym nauczycielem oraz praca powiązana z problematyką melioracyjną rozpoczęła się po kilkuletniej przerwie, spowodowanej moim udziałem w powstaniu warszawskim, a po kapitulacji – internowaniem w obozie jenieckim w Zethain k. Drezna.

W 1949 roku, w końcowym okresie moich studiów na Wydziale Inżynierii Politechniki Warszawskiej, które podjąłem po powrocie do kraju, mój przyjaciel i kolega ze szkolnej ławy – Zdzisław Mikulski zasugerował mi zgłoszenie się do pracy w SGGW. W Uczelni tej, jako asystent w Katedrze Budownictwa Wodnego, pracował on już od 2 lat. Kierownikiem tej Katedry, wchodzącej w skład Sekcji Melioracyjnej Wydziału Rolnego i działającej od jesieni 1946 roku (Dz. Urz. Min. Ośv. Nr 11 – 1946, poz. 319), okazał się być Kazimierz Dębski – od 1948 roku profesor Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Nie zwlekając, złożyłem dziekanowi Wydziału Rolnego, profesorowi dr. Stanisławowi Turczynowiczowi, wymagane dokumenty i z

dniem 1 września 1949 roku zostałem przyjęty do pracy w Uczelni, obejmując stanowisko zastępcy asystenta.

W tym też czasie Katedra uzyskała samodzielny lokal na I piętrze odremontowanej oficyny budynku przy ul. Hożej 74. W okresie poprzedzającym przeprowadzkę, Katedra dysponowała jednym biurkiem w niewielkim pokoju przed gabinetem profesora S. Turczynowicza oraz jedną szafą, stojącą na korytarzu w głównym budynku SGGW przy ul. Rakowieckiej 8 (obecnie 26/30). Nowe pomieszczenie Katedry składało się z dość dużego pokoju, w którym oprócz profesora K. Dębskiego, mgr. inż. Z. Mikulskiego i autora zasiadło wkrótce dwóch asystentów wolontariuszy – absolwent drugiego rocznika studiów melioracyjnych inż. Tadeusz Chomiak oraz pracownik PIHM Jerzy Weirauch.

Tematyka zajęć, prowadzonych na poszczególnych latach studiów, obejmowała hydrologię, hydraulikę, regulacje rzek i budowę wodnomelioracyjne. Ćwiczenia z tych przedmiotów prowadził zarówno sam profesor, jak i kolega Z. Mikulski. Ja byłem początkowo osobą towarzyszącą w zajęciach dydaktycznych, której zadaniem było m.in. opracowanie wzorcowego projektu regulacji rzeki, o ile dobrze pamiętam – odcinka Nidy. Któregoś jednak dnia, wobec nieobecności kolegi Z. Mikulskiego, ćwiczenia z hydrologii musiałem poprowadzić samodzielnie. Na sali sąsiadującej z pokojem Katedry w grupie studentów znajdowali się wówczas Janusz Sokołowski i Czesław Somorowski, obecni profesorowie Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska. Rozpoczynając omawianie

przewidzianego na ten dzień tematu, byłem tak stremowany, iż nie rozpoznawałem własnego głosu.

Przyznać się muszę, że do końca swej pracy dydaktycznej w Uczelni, wchodząc do sali wykładowej czy ćwiczeniowej, szczególnie przy pierwszym spotkaniu ze studentami kolejnego rocznika, nie mogłem pozbyć się pewnej tremy. I rzecz szczególna, im ta trema była większa, tym zajęcia oceniałem subiektywnie jako bardziej udane.

Z jeszcze większą treścią rozpoczynałem ćwiczenia z hydrauliki na Inżynierskim Kursie Melioracji Rolnych, zorganizowanym dla osób pracujących w tej dziedzinie zawodowo. Niektórzy z uczestników tych zajęć byli bowiem starsi od mego ojca. Prowadzący wykłady z hydrauliki profesor K. Dębski, po zakończeniu semestru, polecił mi przeprowadzenie pisemnego egzaminu końcowego z tego przedmiotu. Przejęty powierzoną mi po raz pierwszy rolą egzaminatora, zamierzałem skrupulatnie pilnować samodzielnosci w rozwiązywaniu zadań przez zdających. A jednak zamierzeń tych nie udało mi się zrealizować. Opiekun wspomnianego Kursu, mecenas Paszkiewicz, towarzyszący mi podczas egzaminu, prowadząc jednostronną na ogół, intensywną rozmowę, zmuszał mnie bowiem nieustannie do zwracania wzroku w kierunku siedzącego z boku, starszego wiekiem interlokutora.

Do ściągania podchodzić można od strony etycznej i merytorycznej. Są kraje, w których ściąganie traktowane jest przez studentów, jako postępowanie „nie fair”, ale nasz kraj na ogół do nich nie należy. Podczas kolokwium czy egzaminu pise-

mnego trwa zwykle współzawodnictwo pomiędzy zdającymi i egzaminującymi, polegające na tym, czy uda się ściągnąć, czy też ściąganie zostanie wykryte. Na podstawie mojej wieloletniej praktyki dydaktycznej mogę jednak twierdzić, że obserwując zdających od strony katedry, można z dość dużym prawdopodobieństwem wytypować osoby ściągające. Starały się one bowiem zachowywać, nazywałbym to „zbyt normalnie”. Obecność „srogiego egzaminatora” utrudnia jednak czasami możliwość korzystania ze ściągaczek. Z okresu moich studiów pamiętam, iż do tej grupy egzaminatorów należał ówczesny adiunkt profesora Witolda Wierzbickiego w Politechnice Warszawskiej, a wkrótce potem kierownik Katedry Budownictwa Ogólnego w SGGW (od 1954 roku Katedry Mechaniki Budowlanej i Konstrukcji Budowlanych) – profesor Jerzy Mandes. Był znakomitym wykładowcą, wszechstronnym erudytą i mimo pozornej surowości okazał się życzliwym dla studentów egzaminatorem.

W kierowanej przez profesora dr. J. Mandesa Katedrze w okresie początkowym byli zatrudnieni Zbigniew Mazurkiewicz i Aleksander Żolnierczyk. Wkrótce grono pracowników powiększył Roman Kamiński. Bez dyskusyjnie trzeba go uznać za pracownika, który poświęcił się wprowadzaniu i popularyzowaniu na Wydziale, uznawanych w danym okresie czasu za nowoczesne, metod obliczeniowych. Początkowo była to umiejętność posługiwania się suwakami rachunkowymi, którą wpajał studentom (stąd przydomek „Szuwak”, jaki ze względu na wymowę, zyskał w ich gronie), a następnie nauka programowania i korzystania

z maszyn i komputerów. Nie minę się z prawdą, jeśli stwierdzę, że niewielu tylko nauczycieli akademickich Wydziału nie korzystało z pomocy i porad dr. R. Kamińskiego przy wykonywaniu obliczeń związanych ze swoimi pracami naukowymi.

Sięgając wstecz pamięcią, mogę obecnie ocenić, iż wśród profesorów organizujących Wydział i kierujących ówczesnymi katedrami byli znakomici specjaliści, którzy we wspomnieniach współpracowników i studentów zapisali się jako naukowcy o wielkiej wiedzy i niemniejszym zaangażowaniu w realizacji procesu nauczania i nierzadko odznaczali się oryginalnym sposobem bycia.

Jednym z nich był profesor dr h.c. Aleksander Maksimow, kierownik Katedry Torfoznawstwa. Rozpoczynając wykład, w sali sąsiadującej z Katedrą Budownictwa Wodnego (dzięki czemu mogłem to usłyszeć), pytał, czy wśród słuchaczy są obecne studentki. W przypadku uzyskania negatywnej odpowiedzi, wyrażał swe zadowolenie, stwierdzając, iż będzie mógł w związku z tym wysławiać się swobodniej. Niewinnie brzmiące słowo „chaliera” powtarzało się dość często.

Istnieje wiele anegdot i wspomnień o zachowaniu się profesora w różnych okolicznościach. Przytoczę jedną z nich. Podczas prywatnego imieninowego przyjęcia, w gronie profesorów z Wydziału i Uczelni, podano owoce. Profesor A. Maksimow wziął do ręki duży arbuz i nóż, aby pokroić owoc na części. Zdarzyło się jednak, że arbuz wysliznął mu się z dłoni i wpadł prosto w salaterkę z sałatką jarzynową. Majonez rozprysnął się wokół stołu, plamiąc wizytowe garni-

tury gości. Profesor, nie speszony tym faktem, zwrócił się do gospodarza ze słowami: „Chaliera, ale masz tępe noże”.

Inną charakterystyczną postacią był profesor Władysław Kollis, człowiek niezwykle energiczny i impulsywny. Bezsporną jego zasługą było doprowadzenie w 1954 roku do zmiany nazwy Wydziału Melioracji Rolnych na Wydział Melioracji Wodnych i stworzenie nowej struktury organizacyjnej, obejmującej 9 katedr z 14 wyspecjalizowanymi zakładami (Dz. Urz. Min. Szk. Wyż. z dnia 14 X 1954 r. Nr 13, poz. 89). Z osobą W. Kollisa, kierownika Katedry Gruntoznawstwa i Budownictwa Ziemnego, kojarzy mi się następujące zdarzenie. W III pawilonie Uczelni, przy ul. Rakowieckiej, Wydział dysponował 4 salami ćwiczeniowymi, z których jedna była zlokalizowana przy wspomnianej Katedrze. Pewnej soboty w godzinach popołudniowych istniała ona jeszcze, natomiast w kolejny poniedziałek rano już jej nie było. Zamiast niej pojawiły się trzy małe pokoje, powstałe w ciągu niedzieli i dwóch nocy z inicjatywy kierownika Katedry.

W oficynie budynku przy ul. Hożej 74, najbliższej pomieszczeń Katedry Budownictwa Wodnego, znajdowała się Katedra Melioracji Rolnych. Dzięki temu, po podjęciu pracy w SGGW, z pracownikami tej właśnie Katedry poznałem się najpierw. Pierwszym z nich był Tadeusz Brandyk, ojciec obecnego Dziekana Wydziału. Jego rady pomogły mi podjąć się pełnienia obowiązków administracyjnych, jakimi obarczył mnie profesor K. Dębski w swojej Katedrze. Kierownikiem Katedry Melioracji był profesor dr

hab. Jerzy Oströmęcki, człowiek wielkiej wiedzy i wnikliwy badacz, wymagający wiele od współpracowników i studentów, ale także i od siebie. Odniosłem jednak wrażenie, że jego kontakty z ludźmi były dość sformalizowane. Pamiętam, iż w jednej z grup ćwiczeniowych, w której prowadziłem zajęcia, uczestniczyła córka profesora. Któregoś dnia była nieobecna na ćwiczeniach. Idąc tego dnia korytarzem, spotkałem przypadkowo profesora i w dobrej wierze spytałem, co było powodem nieobecności jego córki. Odpowiedź brzmiała: „Niech pan zapyta o to studentkę Annę Oströmęcką”.

Człowiekiem o dużej wiedzy i niezwykle pracowitym, uznawanym w owym czasie za czołowego hydrologa polskiego, był profesor dr Kazimierz Dębski. Oprócz stanowiska kierownika Katedry w SGGW, pełnił w tym czasie również funkcję wicedyrektora ds. hydrologii w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym. Z tego też powodu pierwszą połowę dnia pracował w PIHM, a po południu zjawiał się w Katedrze. W związku z tym współpracownicy profesora również musieli przebywać w Katedrze w godzinach popołudniowych i wieczornych, nierzadko do godz. 21⁰⁰–22⁰⁰.

Koniec lat 40. i początek 50. był dla studentów okresem dość trudnym w nauce, gdyż brak było pomocy dydaktycznych. Aby temu zaradzić profesor K. Dębski, z pomocą asystenta T. Chomiaka, przekazywał notatki ze swoich wykładów członkom Koła Naukowego Studentów Melioracji Rolnych SGGW, którzy je przepisywali, powielali i rozprawdzali między sobą. Działalność Koła, kierowanego wówczas przez pre-

zesa Wiesława Małeckiego, była bardzo aktywna. Polegała również na organizowaniu wycieczek naukowych dla zapoznania się z wybranymi obiektami hydrotechnicznymi w Polsce.

Dążąc do uwolnienia się od nadmiaru obowiązków administracyjnych, w maju 1952 roku profesor K. Dębski zrezygnował z pracy w PIHM, natomiast podjął się opracowania podstaw hydrologicznych Planu Gospodarki Wodnej w Polsce, włączając do wykonania tego zadania współpracowników z Katedry.

W tym samym roku zajęcia z budowy wodnych w Katedrze przejął profesor dr Armand Żbikowski, pracownik CBSiPBW „Hydroprojekt”. Również w 1952 roku – inny pracownik Hydroprojektu – profesor dr hab. Wojciech Wolski, zasilił kadre pracowników Katedry Gruntoznawstwa i Budownictwa Wodnego (był potem jej kierownikiem i prorektorem Uczelni).

Dzięki profesorowi A. Żbikowskiemu, wybitnemu specjalście o ogromnej wiedzy inżynierskiej, autorowi wielu podręczników, konsultantowi w wielu biurach projektowych, podjęto na Wydziale wiele nowych prac naukowych. Jego obecność w Katedrze przyczyniła się również do wykształcenia wielu absolwentów, obecnie zatrudnionych i cieszących się uznaniem w różnych rejonach kraju.

W następnych latach kadre nauczycieli akademickich w Katedrze Budownictwa Wodnego zasilili kolejni pracownicy: Bolesław Kłosiewicz, Tadeusz Kiciński, Andrzej Byczkowski, Jerzy Królikowski, Zygmunt Tysza i inni. Ogółem, w blisko 50-letnim okresie istnienia tej Katedry, doliczyć się można około 80

osób, które na stałe lub okresowo były w niej zatrudnione. Z czasem niektórzy pracownicy przechodzili do innych instytucji. W 1955 roku mgr inż. T. Chomiak podjął pracę w PIHM, podejmując się organizacji Stacji Limnograficznej nad Jeziorem Rożnowskim. W tym samym roku odszedł również do PIHM, a następnie do Uniwersytetu Warszawskiego, obejmując w nim okresowo funkcję prorektora – profesor dr hab. Zdzisław Mikulski.

Najbliższym współpracownikiem profesora K. Dębskiego, w dziedzinie hydrologii, stał się od tego roku Andrzej Byczkowski (obecnie profesor i kierownik Katedry Budownictwa Wodnego). Jego zasługą jest podjęcie na szerszą skalę badań terenowych, a w tym zorganizowanie prac pomiarowych w zlewni badawczej rzeki Zagożdżonki w rejonie Pionek. Niezapomniane będą dla mnie pomiary hydrometryczne, wykonane w ciekach i strumieniach dopływających do jezior Jeczno i Kamendul na Suwalszczyźnie. Tak urzekające pięknem widoki rzadko można zaobserwować.

Z innych badań hydrometrycznych, prowadzonych przeze mnie w celu uzyskania materiałów do rozprawy doktorskiej i habilitacyjnej, zapamiętałem zdarzenie, jakie miało miejsce w czasie pomiarów rumowiska rzecznego w korycie Wisły. Otóż któregoś dnia, po ukończeniu prac na rzece, jeden z pracowników przechodząc po trapie ze statku na ląd, stracił równowagę i wpadł do dość głębokiej przy brzegu wody. Początkowe przerażenie pozostałych członków grupy pomiarowej, zmieniło się w donośny śmiech, gdy po krótkiej chwili „topielec” wynu-

rzył się z wody, trzymając w ustach papirusa.

Usytuowanie katedr w pomieszczeniach przy ul. Hożej 74, pod pewnymi względami trzeba uznać za korzystne. Były to bowiem lata utrwalania się władz różnych szczebli i związanego z tym tworzenia pokaźnego pakietu zarządzeń i instrukcji. W żadnej z katedr nie było wówczas telefonu, co chroniło nas od konieczności wykonywania poleceń, opracowywanych w centrali Uczelni w trybie pilnym.

W przeciwległej oficynie posesji „urzędował” Stanisław Jamont, laborant w Katedrze Budownictwa Ogólnego (a uprzednio w krótkotrwale istniejącym Studium Żywienia Zbiorowego SGGW), u którego wtajemniczeni pracownicy i studenci mogli się posilić bigosikiem.

Dostęp studentek do sal dydaktycznych, szczególnie w porze letniej, bywał często utrudniony. Działo się to za przyczyną obecności Jędrka. Był to pokaźnej wielkości indyk, należący do żywego inwentarza dozorca posesji, który (indyk, a nie dozorca) atakował barwnie ubrane studentki. Były one wprawdzie nieliczne, ale uroczne i pełne wdzięku, co w konsekwencji zakończyło się dla niektórych z nich małżeństwem z kilkoma nauczycielami akademickimi Wydziału.

Powracając do Jędrka, stwierdzić muszę, że nie był to zwykły indyk, bowiem interesował się nie tylko studentkami, ale pragnął także zdobywać wiedzę. Któregoś majowego dnia, w parterowej sali dydaktycznej, ćwiczenia z hydrologii omawiał asystent Jerzy Weirauch. W pewnej chwili zorientował się, że wzrok studentów skierowany jest w bok

sali, a ich miny są ponadto nader rozbawione. I cóż się okazało? Na parapecie otwartego okna przebywał Jędrak, wpatrzony z uwagą w tablicę.

Wspomniałem uprzednio o kilku wybitnych profesorach, twórcach studiów melioracyjnych. Z biegiem lat zastąpili ich młodzi wówczas, potem średni wiekiem, a obecnie już starsi nauczyciele akademicy.

W minionym okresie pracy część spośród tych pracowników, zatrudnionych w różnych katedrach, tworzyła zwartą, zaprzyjaźnioną grupę, której niekwestionowanym przywódcą był profesor dr hab. inż. Stefan Liwski, wieloletni I zastępca rektorów SGGW. Zwany przez kolegów „ojcem chrzestnym” z racji swych opiekuńczych działań, był także organizatorem wspólnych wyjazdów na narty w okresach zimowych przerw wakacyjnych. Inny członek tej grupy, profesor dr hab. Janusz Sokołowski (obecny kierownik Katedry Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych oraz prezes Zarządu Głównego SITWM), uatrakcyjniał koleżeńskie spotkania grą na skrzypcach i śpiewem.

Zauważalną postać stworzył również doc. dr Bogumił Leszczyński, nasz „arbi-

ter elegantiarum”, występujący zawsze z doskonale do ubrania dobranym kolorem muszki, który godzinami potrafił bawić zebranych opowiadaniem anegdot i kawałów.

Rok akademicki 1970/71 stał się początkiem kolejnego okresu rozwoju Wydziału w SGGW. Wydział przeniósł się do samodzielnego, nowego pawilonu na Ursynowie, a w jego strukturze organizacyjnej dokonano ponadto istotnych zmian, znosząc katedry i tworząc trzy instytuty uczelniane.

Zakończyło się pierwsze, a rozpoczęło drugie ćwierćwiecze jego naukowo-dydaktycznej działalności, o której wspomnieniowe relacje zechcą zapewne opisać inni, młodszy autorzy.

Pięćdziesiąt lat w perspektywie przyszłościowej wydaje się być okresem długim, lecz taki sam czas miniony, w subiektywnym odczuciu, mija nader szybko. A jednak w życiu pojedynczego człowieka czy też zespołu ludzkiego, zdarzyć się w tym okresie może wiele.

Warszawa, 12.10.1995 r.

Bonifacy ŁYKOWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Zakład Meteorologii i Klimatologii

Ogólnopolski Zjazd Katedr i Zakładów Jednoimiennych z Zakresu Agrometeorologii i Klimatologii Warszawa, 20–22 czerwca 2001 rok

Od 1961 roku odbywają się konferencje naukowe pod ogólną nazwą Ogólnopolski Zjazd Agrometeorologów. W bieżącym roku, kolejny XXIX Zjazd został zorganizowany przez Zakład Meteorologii i Klimatologii Katedry Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW. Termin XXIX Zjazdu przypadł w okresie 70-lecia istnienia Zakładu Meteorologii i Klimatologii SGGW (1930–2000). Jest to najdłużej działająca placówka naukowa i dydaktyczna w tej dziedzinie, istniejąca w obecnych granicach państwa polskiego. Wcześniej były powoływane takie placówki na Uniwersytecie Jana Kazimierza we Lwowie (1920–1939) i na Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie (1922–1939).

Organizatorzy XXIX Zjazdu proponowali podzielenie tematyki referatów na część poświęconą aktualnemu stanowi badań agrometeorologicznych i perspektywom na przyszłość oraz problematyce mieszczącej się pod hasłem: „Klimatologia a ochrona środowiska”. Chodziło o podkreślenie, że obecnie w badaniach agrometeorologicznych większą uwagę

przywiązuje się do jakości i ekonomii produkcji rolniczej, a nie do ilości wyprodukowanych surowców.

W Zjeździe uczestniczyło około 60 specjalistów reprezentujących uczelnie rolnicze z Bydgoszczy, Krakowa, Lublina, Olsztyna, Poznania, Siedlec, Szczecina, Warszawy i Wrocławia oraz Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Warszawski, Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, Zakład Klimatologii PAN w Warszawie, Instytut Melioracji i Użytków Zieleni w Bydgoszczy, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.

W dwa pierwsze dni Zjazdu odbyły się trzy sesje referatowe, a w trzeci dzień sesja terenowa. Wygłoszono 25 referatów i przedstawiono 14 posterów. Najliczniejszą grupę stanowiły referaty i postery dotyczące związków między warunkami meteorologicznymi a rozwojem i plonowaniem różnych roślin uprawnych (Cz. Koźmiński, B. Michalska, M. Czarnecka, G. Demidowicz, Z. Szejewski, J. Janowska i inni, T. Rozbicki, B. Banaszkiewicz).

wicz, K. Grabowska, J. Kołodziej, B. Skowera). Na szczególną uwagę zasługuje duże opracowanie opublikowane w postaci atlasu pt. „Klimatyczne ryzyko uprawy roślin w Polsce” pod redakcją Cz. Koźmińskiego i B. Michalskiej oraz referat G. Demidowicza, w którym autor omawia stan badań agrometeorologicznych i perspektywy na przyszłość w IUNG (Puławy), zwracając między innymi uwagę na to, że komercjalizacja wymusza ograniczanie kosztownych badań polowych na rzecz metod matematyczno-statystycznych. Warto zwrócić uwagę na niebezpieczeństwo uciekania do rzeczywistości wirtualnej, gdyż na podstawie zbyt skąpych danych eksperymentalnych zaczyna się tworzyć rozbudowane modele matematyczne.

Stosunkowo duża grupa referatów dotyczyła tematyki warunków meteorologicznych ważnych z punktu widzenia życia roślin. Były to referaty: J. Żarskiego i innych, E. Żmudzkiej i M. Dobrowolskiej, A. Doroszewskiego i J. Kozyry, K. Bryś, A. Żyromskiego, P. Baranowskiego i W. Mazurka, A. Gołębskiej i innych, A. Nowickiej i E. Dragańskiej, E. Radzkiej i G. Koca, J. Kossowskiego, B. Olechnowicz-Bobrowskiej, A. Bokwy, D. Gołaszewskiego, K. Rozbickiej, W. Ożgi, G. Żarnowieckiego.

Bogata i wnikliwa dyskusja miała miejsce po wysłuchaniu grupy referatów dotyczących metod matematycznych w agrometeorologii wygłoszonych przez: E. Musiał i M. Rojka, L. Kuchara, S. Iwańskiego, S. Smolika. Szczególne zainteresowanie wzbudziła problematyka testowania modeli matematycznych.

Kilku referentów przedstawiło charakterystyki warunków klimatycznych

o znaczeniu bardziej ogólnym, tj. z punktu widzenia potrzeb inżynierii środowiska i bioklimatu (B. Łykowski, G. Szałach, J.L. Olszewski i G. Żarnowiecki, M. Kleniewska, B.H. Chojnicki i inni).

W referatach M. Grzesiuka, L. Łąbedzkiego i innych, J. Olejnika i innych omówiono bardzo aktualne zagadnienia instalacji, obsługi bieżącej i kontroli automatycznych stacji meteorologicznych, a zwłaszcza możliwości przekazywania danych na odległość. Referaty zostały także opracowane redakcyjnie, w formie nadającej się do druku, i zostały opublikowane w „Przeglądzie Naukowym Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW”, nr 21 i 23.

W podsumowaniu części referatowej obrad dyskutanci zwrócili uwagę na bogaty i szeroki zestaw tematyczny referatów, wnikliwą dyskusję, przytaczając zamieszczone wcześniej uwagi z dyskusji roboczych. Podkreślono także spokojną i przyjemną atmosferę Zjazdu.

W trzecim dniu Zjazdu miał miejsce wyjazd w teren, gdzie głównym punktem programu była problematyka topoklimatyczna i ekologiczna w warunkach fizjograficznych Mazowsza. W czasie pobytu w Kampinoskim Parku Narodowym pracownicy KPN wygłosili dwie prelekcje na temat warunków przyrodniczych, bogactwa roślin i zwierząt oraz zabiegów z zakresu ochrony środowiska naturalnego Puszczy. Główna część drugiej prelekcji odbyła się na trasie ścieżki przyrodniczej w Puszczy Kampinoskiej przygotowanej przez Dyрекcję KPN do celów dydaktycznych i naukowych.

Kolejny XXX Ogólnopolski Zjazd Agrometeorologów odbędzie się w 2003 roku w Krakowie.