

Szkoła
Główna
Gospodarstwa
Wiejskiego
w Warszawie

Przegląd Naukowy

Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska

Zeszyt 17

Szkoła
Główna
Gospodarstwa
Wiejskiego
w Warszawie

Przegląd Naukowy

Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska

Zeszyt 17

Warszawa 1999

Spis treści *Contents*

PRACE ORYGINALNE

M. SKWARCZYŃSKI, K. WOYCICKA: O całkach holomorficznych względem parametru <i>On integrals holomorphic with respect to parameter</i>	3
H. KAZIEKO, L. KAZIEKO: Nieliniowe zagadnienie konsolidacji gruntu <i>A nonlinear consolidation analysis</i>	9
E. BONDAR-NOWAKOWSKA, D. DEJAS, A. REINHARD: Określenie za pomocą teorii zbiorów przybliżonych hierarchii czynników oddziałujących na roślinność cieków w wyniku robót konserwacyjnych. <i>Evaluation of hierarchy of factors affecting the plants on water-courses as a result of maintenance works with use the rough set theory</i>	19
K. PACHUTA, A. PACHUTA: Wykorzystanie metod geodezyjnych i automatyzacja pomiarów w badaniach zbiorowisk roślin wodnych. <i>The geodetic methods use and automatic measurements in hydrophyte communities investigation</i>	29
Z. POPEK: Stanowisko do pomiaru transportu rumowiska wleczzonego <i>Bedload transport measurements station</i>	43
A. KOZIOŁ, M. KRUKOWSKI: Zastosowanie metody Newtona do rozwiązywania problemów hydraulicznych. <i>Application of Newton method for solutions of hydraulic problems</i>	53
M. KLENIEWSKA: Wstępne wyniki badań nad stężeniem dwutlenku siarki w powietrzu w Warszawie-Ursynowie. <i>Introductory results on the study concerning of sulphur dioxide air concentration in Warsaw-Ursynów</i>	59
J. SZTYBER: Próba oceny skażenia powietrza dwutlenkiem siarki w obszarze wpływów Petrochemii Płock S.A. za pomocą stref lichenindykacyjnych. <i>Attempt of valuation of sulphur dioxide air pollution in region of influence Petrochemia Plock by means of lichens-indication areas</i>	73
K. ROZBICKA: Charakterystyka warunków biometeorologicznych w Warszawie-Ursynowie od 1 IX 1997 r. do 30 IX 1998 roku. <i>Characteristic of biometeorological conditions in Warsaw-Ursynów since 1 IX 1997 to 30 IX 1998</i>	81
H. PAWLAT, E. WIENCLAW: Projekt monitoringu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki. <i>The project of underground waters monitoring in the Electric Plant Siekierki ash dump region</i>	97
A. PAWLAT, S. WIŚNIEWSKI: Koncepcja modernizacji Stawów Brustmana w Parku Osiedlowym Wawrzyszew. <i>Restoration of the Brustman's Ponds in the Wawrzyszew Park</i>	107
H. PAJNOWSKA, H. PAWLAT: Stan i prognoza zagrożenia środowiska przyrodniczego Ogrodu Saskiego w Warszawie. <i>The state and prediction of environmental hazards in Saski Garden (Ogród Saski) in Warsaw</i>	117

T. FALKOWSKI: Geologiczne warunki naturalnej stabilizacji pionowego układu koryta Wisły w Warszawie. <i>Geological conditions of natural stabilization of Vistula river channel vertical profile in Warsaw</i>	129
W. ROGIŃSKI, P. WICHOWSKI: Badania parametrów odwadniania osadów ściekowych na filtrze kompostowym. <i>Research on parameters of dehydrated sewage sludge in the composting filter</i>	137
B. LIBISZEWSKA, M. POŁOŃSKI: Proces adaptacji przedsiębiorstw melioracyjnych do warunków gospodarki rynkowej. <i>Adaptation process to free market in land improvement company</i>	143

DONIESIENIA NAUKOWE

J. WYSOCKI: Metody GPS i możliwości ich zastosowania do tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) dla inżynierii środowiska. <i>GPS methods and possibilities of their application for creation of the digital terrain model (DTM) for environmental engineering</i>	151
S. IGNAR, J. KRUPA, A. IGNAR: Statystyczna analiza zmienności parametru CN dla zlewni rzeki Skawy. <i>Statistical analysis of CN parameter variability for Skawa river basin</i>	157
A. KEGLER: Wpływ temperatury instrumentu na zmianę osi celowej teodolitu i niwelatora. <i>Effects of instruments temperature on change of axis of theodolite and level</i>	161
B. ŁYKOWSKI, R. MADANY: Ocena wpływu lokalnych warunków klimatycznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w rejonie Zakładów Chemicznych „Police”	165

KRONIKA

T. BRANDYK, W. MIŚIAK, A. SZYMAŃSKI: Zmiany programów kształcenia na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW w warunkach zmieniających się realiów gospodarczych i politycznych kraju	173
J. KUBRAK: Informacja o działalności naukowo-badawczej Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego	183

SCIENTIFIC REVIEW FACULTY OF LAND RECLAMATION
AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING
WARSAW AGRICULTURAL UNIVERSITY

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Andrzej Ciepeliowski, Bonifacy Łykowski (przewodniczący), Mieczysław Połoński

RECENZENCI

Kazimierz Banasik, Stanisław Biedugnis, Andrzej Byczkowski, Tomasz Falkowski, Wojciech Hyb, Stefan Ignar, Jerzy Jeznach, Wiesław Kosiński, Bonifacy Łykowski, Waldemar Misiak, Henryk Pawłat, Mieczysław Połoński, Alojzy Szymański, Edward Wienclaw, Jerzy Wysocki

ADRES REDAKCJI

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

Projekt okładki i strony tytułowej – Barbara Werbanowska

Redaktor – Elżbieta Dyszkiewicz

Redaktor techniczny – Krystyna Piotrowska

Korekta – Jadwiga Rydzewska

ISBN 83-7244-084-0

Druk: P.P. EVAN, 02-629 Warszawa, ul. Pilicka 11, tel. 44-79-05

Maciej SKWARCZYŃSKI, Krystyna WOYCICKA

Katedra Zastosowań Matematyki SGGW
Department of Applied Mathematics WAU

O całkach holomorficznym względem parametru On integrals holomorphic with respect to parameter

Wstęp

W teorii funkcji jednej zmiennej dużo miejsca zajmują całki z parametrem zespolonym. Najważniejszym przykładem jest podstawowy dla tej teorii **wzór całkowy Cauchy'ego**. Wciąż aktualnym przedmiotem badań jest **transformata Cauchy'ego** miary o zwartym nośniku w $\mathbf{R}^2$, por. Garnett (1972). Całka z jądrem e^{-tz} po (nieograniczonym) przedziale zmiennej t definiuje **transformatę Laplace'a**, bardzo przydatną w praktyce inżynierskiej. Jej znaczenie teoretyczne jest jeszcze większe: transformata Laplace'a wiąże analizę rzeczywistą i zespoloną. Dla fizyki matematycznej szczególne znaczenie ma tzw. zagadnienie Dirichleta, które w przypadku koła $\partial B(0, R)$ rozwiązuje całka z **jądrem Poissona** $\operatorname{Re}[(\xi + z)/(\xi - z)]$.

W konkretnych przypadkach funkcje holomorficzne (tzn. posiadające pochodną zespoloną) są często definiowane lub przedstawiane jako całki z parametrem zespolonym. Dotyczy to zwłaszcza przypadków szczególnie interesujących, tj. **funkcji specjalnych**. Przykładowo można

tu wymienić definicje funkcji **gamma** i **beta Eulera** oraz przedstawienia całkowe **Hankela** (dla funkcji gamma), **Bessela** (dla funkcji cylindrycznej rzędu $n \in \mathbf{Z}$), **Sonina** (dla funkcji cylindrycznej dowolnego rzędu zespolonego). Ta sytuacja powoduje, że (zwłaszcza w aspekcie dydaktycznym) na uwagę zasługują warunki dostateczne, zapewniające holomorficzną całki z zespolonym parametrem. Twierdzenia te można zaliczyć do „matematycznego folkloru” gdyż w istniejącej literaturze podręcznikowej są formułowane rzadko i raczej fragmentarycznie. (Dla porządku wypada zaznaczyć, że to ostatnie stwierdzenie nie odnosi się do unikalnego ujęcia Schwartz (1972, tw. 115 s. 794). Jednym z powodów są zapewne względy historyczne. Nowoczesne pojęcie całki Lebesgue pojawiło się, gdy podstawy funkcji holomorficznym stanowiły już zakończoną (i tradycyjnie aprobowaną) całość. Dogodne wprowadzenie do całki Lebesgue'a (dla niematematyków) podaje Skwarczyński (1998).

Obecna notatka ma na celu przypomnienie jednego z warunków dostatecz-

ných dla holomorficzności całki. Będziemy rozpatrywać otwarty podzbiór $\Omega_0 \subset \mathbb{C}$ oraz abstrakcyjną przestrzeń T z miarą nieujemną μ . Symbolem $B(z, \delta)$ oznaczamy koło otwarte o środku z i promieniu δ . Powiemy, że podzbiór $\Omega_0 \subset \Omega$ leży **głęboko** w Ω , jeśli istnieje dodatnia liczba δ , taka że

$$\bigcup_{z \in \Omega_0} B(z, \delta) \subset \Omega \quad (1)$$

Będziemy mówić że funkcja $f: \Omega \times T \rightarrow \mathbb{C}$ ma na zbiorze T **majorantę** $g: T \rightarrow [0, +\infty)$, jeśli nierówność

$$|f(z, t)| \leq g(t) \quad (2)$$

zachodzi dla każdego $z \in \Omega$ i każdego $t \in T$.

Zachodzi

Podstawowe twierdzenie

Twierdzenie 1. Niech Ω będzie otwartym podzbiorem płaszczyzny zespolonej i niech (T, μ) będzie przestrzenią z miarą nieujemną. Rozpatrzmy funkcję $f: \Omega \times T \rightarrow \mathbb{C}$ taką, że:

(i) dla każdego $t \in T$ funkcja $f(z, t)$ $z \in \Omega$ jest holomorficzna.

(ii) dla każdego $z \in \Omega$ funkcja $f(z, t)$ $t \in T$ jest całkowalna i w konsekwencji określona jest całka z parametrem.

$$I(z) = \int_T f(z, t) d\mu(t) \quad z \in \Omega \quad (3)$$

(iii) istnieje całkowalna funkcja $g: T \rightarrow \mathbb{R}$ będąca majorantą dla f na zbiorze T .

Wówczas:

1°. Dla każdego $n = 0, 1, \dots$ i każdego otwartego zbioru Ω_0 leżącego głęboko w Ω istnieje stała M taka, że nierówność

$$\left| \frac{1}{z - z_0} \left[\frac{\partial^n f}{\partial z^n}(z, t) - \frac{\partial^n f}{\partial z^n}(z_0, t) \right] \right| \leq M g(t) \quad (4)$$

zachodzi dla każdego $z_0 \in \Omega_0$, każdego z dostatecznie bliskiego z_0 i każdego $t \in T$. W konsekwencji dla każdego $z_0 \in \Omega_0$

$$\left| \frac{\partial^{n+1} f}{\partial z^{n+1}}(z_0, t) \right| \leq M g(t) \quad t \in T \quad (5)$$

2°. Dla każdego $n = 0, 1, \dots$ i każdego $z \in \Omega$ funkcja $(\partial^n f / \partial z^n)(z, t)$ jest całkowalna na T i zachodzi równość

$$I^{(n)}(z) = \int_T \frac{\partial^n f}{\partial z^n}(z, t) d\mu(t) \quad z \in \Omega \quad (6)$$

W szczególności $I(z)$ $z \in \Omega$ jest funkcją holomorficzną.

3°. Jeśli koło $B(z_0, R)$ zawiera się w Ω , to dla każdego $n = 0, 1, \dots$ zachodzi nierówność

$$|I^{(n)}(z_0)| \leq \frac{n!}{R^n} \int_T g(t) d\mu(t) \quad (7)$$

Dowód twierdzenia

Ad. 1°.

Z założenia Ω_0 leży głęboko w Ω , więc istnieje liczba δ spełniająca (1). Zbiór Ω_0 jest otwarty, więc

$$\bigcup_{z \in \Omega_0} \bar{B}(z, \delta) \subset \Omega \quad (8)$$

Wybermy dowolny punkt $z_0 \in \Omega_0$. Dla z spełniających $|z - z_0| < \delta/2$ możemy różnicę pochodnych we wzorze (4) przedstawić za pomocą całki Cauchy'ego po okręgu $\gamma = \partial B(z_0, \delta)$

$$\frac{n!}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{f(\xi, t)}{(\xi - z)^{n+1}} - \frac{f(\xi, t)}{(\xi - z_0)^{n+1}} d\xi \quad (9)$$

Ponieważ

$$|(\xi - z_0)^{n+1} - (\xi - z)^{n+1}| = \quad (10)$$

$$= \left| (z - z_0) \sum_{j=0}^n (\xi - z_0)^j (\xi - z)^{n-j} \right|$$

$$\leq (n+1)(2\delta)^n |z - z_0|$$

a także $|\xi - z_0| = \delta$, $|\xi - z| > \delta/2$, więc z (iii) wynika, że lewa strona wzoru (4) nie przekracza liczby

$$\frac{(n+1)!}{2\pi} (2\pi\delta) \frac{(2\delta)^n g(t)}{\delta^{n+1} (\delta/2)^{n+1}} = Mg(t) \quad (11)$$

Nierówność (4) została wykazana. Przechodząc w nierówność (4) do granicy przy $z \rightarrow z_0$ otrzymujemy równość (5).

Ad. 2°.

Będziemy rozumować przez indukcję względem n . Przypadek $n=0$ wynika bezpośrednio z definicji. Załóżmy, że teza jest prawdziwa dla ustalonego $n \geq 0$. Wybiermy dowolny punkt $z_0 \in \Omega$ i otoczenie Ω_0 tego punktu leżące głęboko w Ω . Na mocy równości (5) funkcja $(\partial^n f / \partial z^n)(z, t)$ $t \in T$ jest całkowalna dla każdego $z \in \Omega_0$ i w szczególności jest całkowalna, gdy $z = z_0$.

Zgodnie z założeniem indukcyjnym iloraz różnicowy dla funkcji $I^{(n)}(z)$ można przepisać jako

$$\begin{aligned} \frac{I^{(n)}(z) - I^{(n)}(z_0)}{z - z_0} &= \\ &= \int_T \frac{\frac{\partial^n f}{\partial z^n}(z, t) - \frac{\partial^n f}{\partial z^n}(z_0, t)}{z - z_0} d\mu(t) \end{aligned} \quad (12)$$

Wobec nierówności (4) udowodnionej w p. 1° można w równości (12) przejść do granicy przy $z \rightarrow z_0$ zgodnie z twierdzeniem Lebesgue'a o zbieżności majoryzowanej. W wyniku otrzymujemy równość

$$I^{(n+1)}(z_0) = \int_T \frac{\partial^{n+1} f}{\partial z^{n+1}}(z_0, t) d\mu(t) \quad (13)$$

Punkt $z_0 \in \Omega$ był wybrany dowolnie, więc w równości (13) można go zastąpić każdym punktem $z \in \Omega$. Zgodnie z zasadą indukcji równość (6) ma miejsce dla każdego $n = 0, 1, \dots$

Ad. 3°

Jeśli $r \in (0, R)$, to $\partial B(z_0, r) \subset \Omega$ i wobec nierówności Cauchy'ego-Hadamarda

$$\left| \frac{\partial^n f}{\partial z^n}(z_0, t) \right| \leq n! \frac{g(t)}{r^n} \quad (14)$$

Przechodzimy w nierówności (14) do granicy przy $r \rightarrow R$. Rezultat pozwala oszacować liczbę $I^{(n)}(z_0)$. Uwzględniając równość (6) otrzymujemy nierówność

$$|I^{(n)}(z_0)| \leq \int_T \frac{n!}{R^n} g(t) d\mu(t) \quad (15)$$

Jest to żądana nierówność (7). Tym samym twierdzenie 1 zostało udowodnione.

Uwagi dodatkowe

Uwaga 1. W dowodzie, szacując wyrażenie (4) wykorzystaliśmy wzór całkowy Cauchy'ego dla pochodnej n -tego rzędu z funkcji holomorficznej. Wzór ten można łatwo otrzymać przez obustronne różniczkowanie wzoru całkowego dla funkcji. Jednakże, aby uniknąć błędnego koła, należy postępować niezależnie od twierdzenia 1. Jest to łatwe, gdyż zbiór całkowania ma miarę skończoną, a od zespolonego parametru zależy jedynie elementarny czynnik $(\xi - z)^{-1}$. Odpowiednie rozumowanie zamieszczają standardowe podręczniki teorii funkcji, por. np. Hille (1965), tw. 7.5.3.

Uwaga 2. Jeśli osłabimy założenie (iii), żądając jedynie, by każdy punkt $z_0 \in \Omega$ miał otoczenie Ω_0 z (zależną od Ω_0) całkowalną majorantą $g: T \rightarrow \mathbb{R}$ dla funkcji $f: \Omega_0 \times T \rightarrow \mathbb{C}$, to w tezie twierdzenia 1 punkty 1^o i 2^o pozostaną nie zmienione. Jest to oczywiste, ponieważ istnienie i wartość pochodnej zespolonej jest własnością lokalną. Natomiast punkt 3^o tezy twierdzenia należy uzupełnić zastrzeżeniem $B(x_0, R) \subset U_0$.

Uwaga 3. Równość w (15) może być osiągana. Tak jest np. w oczywistym przypadku, gdy $\Omega = B(z_0, R) = B(0, 1)$, $T = [0, 1]$, $\mu = m$ (miara Lebesgue'a), $f(z, t) = tz^n$, $g(t) = t$. Wówczas obie strony (15) przyjmują wartość $n!/2$.

Uwaga 4. Jeśli $\mu(T) < +\infty$, a f jest funkcją ograniczoną przez K , to stała $g(t) \equiv K$ jest całkowalną majorantą dla f . Tym sposobem można otrzymać twierdzenie przytoczone przez Rudina (1986) (por. definicja 6.18 i ćwiczenie 16 w rozdz.10).

Przykłady zastosowania

1. Transformata Laplace'a oryginału h

$$\int_{(0, +\infty)} e^{-tz} h(t) dm(t) \quad \operatorname{Re} z > \sigma \quad (16)$$

Por. Ławrentiew, Szabat (1973) s. 495. Zakładamy jak zwykle, że istnieją stałe $A \in (0, +\infty)$ $s \in (-\infty, +\infty)$ takie, że oryginał h spełnia nierówność

$$|h(t)| \leq Ae^{st} \quad t \in [0, +\infty] \quad (17)$$

Dla każdego $\varepsilon > 0$ z twierdzenia 1 wynika holomorficzność całki (16) w półpłaszczyźnie $\Omega = \{z \in \mathbb{C}; \operatorname{Re} z > s + \varepsilon\}$. Rzeczywiście, dla $z \in \Omega$

$$|e^{-tz} h(t)| \leq e^{-t \operatorname{Re} z} Ae^{st} \leq Ae^{-t\varepsilon} \quad (18)$$

i bezpośredni rachunek pokazuje, że funkcja po prawej stronie nierówności (18) jest całkowalna na półprostej $[0, +\infty]$. Zatem transformata Laplace'a jest określona i holomorficzna w półpłaszczyźnie $\operatorname{Re} z > s + \varepsilon$. W konsekwencji (wobec dowolności ε) jest określona i holomorficzna w półpłaszczyźnie $\operatorname{Re} z > s$. Wynika stąd w dalszej kolejności, że transformata Laplace'a jest określona i holomorficzna w półpłaszczyźnie $\operatorname{Re} z > \sigma$ gdzie σ oznacza kres dolny stałych s występujących w jednej przynajmniej nierówności postaci (17). Jak wiadomo, liczba σ nazywa się **wykładnikiem zbieżności** oryginału h .

2. Transformata Mellina oryginału h

$$\int_{(0, +\infty)} t^{z-1} h(t) dm(t) \quad \operatorname{Re} z > 0 \quad (19)$$

Porównaj Mackey (1978) s. 330. Zakładamy, że na przedziale $(0, 1)$ oryginał jest

ograniczony przez stałą M ; oraz, że na półprostej $[1, +\infty)$ funkcja podcałkowa w całce (19) jest całkowalna dla każdego $z \in \{\operatorname{Re} z > 0\}$. Rozpatrzmy dowolny pas $\Omega = \{\alpha < \operatorname{Re} z < \beta\}$ gdzie $0 < \alpha < \beta < +\infty$. W pasie tym funkcja podcałkowa ma na majorantę

$$g(t) = \begin{cases} Mt^{\alpha-1} & \text{dla } t \in (0, 1) \\ t^{\beta-1}|h(t)| & \text{dla } t \in [1, +\infty) \end{cases} \quad (20)$$

Funkcja (20) jest całkowalna na $(0 + \infty)$, więc transformata Mellina jest holomorphyzna w Ω . W konsekwencji (dowolność α, β) jest ona holomorphyzna w półpłaszczyźnie $\{\operatorname{Re} z > 0\}$.

3. Funkcja gamma Eulera

$$\Gamma(z) := \int_{(0, +\infty)} t^{z-1} e^{-t} dm(t) \quad \operatorname{Re} z > 0$$

Por. Ławrientiew, Szabat (1973) s. 595. Jest to transformata Mellina dla $h(t) = e^{-t}$. Funkcja e^{-t} w oczywisty sposób spełnia założenia poprzedniego punktu (wystarczy zauważyć, że przy $t \rightarrow +\infty$ dąży do zera szybciej niż każdy jednomian).

4. Funkcja beta Eulera

$$B(z, w) := \int_{(0, 1)} t^{z-1} (1-t)^{w-1} \quad (21)$$

gdzie $\operatorname{Re} z > 0, \operatorname{Re} w > 0$. Por. Ławrientiew, Szabat (1973) s. 598. Dla ustalonej wartości w jest to holomorphyzna funkcja zmiennej z . Rzeczywiście, definiując Ω tak jak w punkcie 2, zauważamy, że funkcja podcałkowa ma $z \in \Omega$ całkowalną majorantę

$$g(t) := t^{\alpha-1} (1-t)^{\operatorname{Re} w-1} \quad (22)$$

Stąd już łatwo wynika teza. Analogicznie dowodzimy, że funkcja (21) jest dla ustalonej wartości z holomorphyzną funkcją zmiennej w .

5. Funkcja cylindryczna rzędu $n \in \mathbb{Z}$

$$J_n(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{(0, 2\pi)} \cos(nt - z \sin t) dm(t) \quad (23)$$

gdzie $z \in \mathbb{C}$. Por. Ławrientiew, Szabat (1973) s. 419. Niech $\Omega \subset \mathbb{C}$ będzie dowolnym ograniczonym zbiorem otwartym. Funkcja podcałkowa ma stałą (a więc całkowalną) majorantę. W samej rzeczy jako funkcja zmiennych (z, t) jest ona ciągła na $\overline{\Omega} \times [0, 2\pi]$, a w konsekwencji ograniczona (twierdzenie Weierstrassa). Stąd, już łatwo wynika, że $J_n(z)$ jest funkcją całkowitą.

6. Holomorphyzne całki typu Cauchy'ego. Na zakończenie wspomnimy o przedstawieniach całkowych typu Cauchy'ego z zespolonym parametrem. Do najbardziej interesujących należą niewątpliwie przedstawienia Hankela i Sonina (por. Ławrientiew i Szabat, 1973), odpowiednio s. 598 i 640).

Zauważmy, że całkę Cauchy'ego można sprowadzić do całki po przedziale osi liczbowej. Holomorphyzność tej ostatniej całki można już dowodzić za pomocą twierdzenia 1. W szczególności można w ten sposób wykazać, że przedstawienie całkowe Sonina określa dla każdego $\lambda \in \mathbb{C}$ funkcję $J_\lambda(z)$, holomorphyzną w prawej półpłaszczyźnie.

Literatura

- GARNETT J. 1972: *Analytic Capacity and Measure*. Springer Lecture Notes #297.
- HILLE E. 1965: *Analytic function theory*. Blaisdell, N.Y.
- ŁAWRIENTIEW M., SZABAT B. 1973: *Metody teorii funkcji kompleksowo pieremiennowo*. „Nauka”, Moskwa.
- MACKEY G.W. 1978: *Unitary group representations in physics, probability and number theory*. Benjamin, Reading.
- RUDIN W. 1986: *Analiza rzeczywista i zespolona*. PWN, Warszawa.
- SCHWARTZ L. 1972: *Analyse mathématique*. Tłum. ros. „Mir”, Moskwa.
- SKWARCZYŃSKI M. 1998: *Przystępny podręcznik matematyki. Cz. 1*, Wydaw. SGGW, Warszawa.

Summary

The authors indicate the need *in the didactic of mathematics* of a general theorem, which provides sufficient conditions for holomorphicity of integrals with complex parameter. A variant of such theorem (based on Lebesgue dominated convergence) is recalled. It is illustrated by a number of concrete applications to various integral representations.

Authors' address:

M. Skwarczyński, K. Woycicka
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland.

Helena KAZIEKO, Lucyna KAZIEKO

Katedra Zastosowań Matematyki SGGW
Department of Applied Mathematics WAU

Nieliniowe zagadnienie konsolidacji gruntu A nonlinear consolidation analysis

Wstęp

W procesie odkształcania gruntu pod wpływem obciążenia zmieniają się parametry ściśliwości i filtracji. Dlatego też rozważając konsolidację warstwy gruntu, nie można traktować tych parametrów jako stałych, jak to czyni się przy badaniu zagadnienia liniowego konsolidacji. Niezbędne jest natomiast badanie zagadnienia nieliniowego.

Jednowymiarowe zagadnienie konsolidacji nasyconego wodą gruntu zapisać można w postaci (Florin 1961):

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} = & \frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{k(1+\varepsilon)}{\gamma a} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \\ & + (1+\varepsilon) \frac{\partial k}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + (1+\varepsilon) \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\delta k}{\delta \varepsilon} \frac{\delta H}{\delta x} + \\ & - k \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 - \frac{\gamma_m}{\gamma} k \frac{\partial H}{\partial x} - u_0 \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\gamma_m}{\gamma} \cdot u_0 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

H – nadwyżka ciśnienia porowego,
 $h = h(t)$ – miąższość warstwy gruntu,

$q - q(t)$ – obciążenie jednostkowe konsolidowanej warstwy,

x – współrzędna pionowa,

t – czas

$$u_0 = u + v \quad (2)$$

gdzie:

u – prędkość filtracji wody,

v – prędkość „filtracji” fazy stałej.

$$a = \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma} \quad (3)$$

gdzie:

ε – wskaźnik porowatości,

σ – naprężenie efektywne w gruncie,

k – współczynnik filtracji,

γ_m – ciężar objętościowy szkieletu gruntu,

γ – ciężar objętościowy wody.

Wielkość u_0 nie zależy od x i dla każdego konkretnego zagadnienia może być wyznaczona z zależności (2) i z zależności

$$u_0 = (1 + \varepsilon)v - k \frac{\partial H}{\partial x} \quad (4)$$

W równaniach (1), (3) i (4) należy uwzględnić, że $k = k(\varepsilon)$ i $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$.

Przyjmujemy (Florin 1961):

$$k = k_0 \exp \beta \varepsilon \quad (5)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - c_c \ln(1 + b\sigma) \quad (6)$$

gdzie k_0 , c_c , β i b – parametry i współczynniki określone eksperymentalnie dla danego rodzaju gruntu. Naprężenie σ można zapisać w następującej postaci (Florin 1961):

$$\sigma = q + \gamma_m h - \gamma H - \gamma_m x \quad (7)$$

Przy wyprowadzeniu równania konsolidacji zaniedbuje się wyrazy zawierające jako czynnik prędkość filtracji. Równanie (1) wyprowadzono bez pominięcia tych wielkości (Florin 1961), co doprowadziło do pojawienia się po prawej stronie równania (1) ostatnich czterech składników. Zasadność pominięcia szóstego składnika po prawej stronie równania (1) pokazana jest w pracy (Florin 1961) dla zagadnienia związanego z chwilowym przyłożeniem obciążenia do stałej warstwy gruntu.

Aby pominąć szósty i siódmy składnik po prawej stronie równania (1), wystarczy (wynika to z porównania tych składników z czwartym i piątym), aby zachodziła nierówność:

$$\frac{\partial k}{\partial \varepsilon} \geq k$$

lub równoważnie

$$\beta \geq 1. \quad (8)$$

W tym przypadku równanie konsolidacji można zapisać w postaci:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} = & \frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + \\ & + \frac{1 + \varepsilon}{\alpha \gamma} k \frac{\partial H}{\partial x} - u_0 \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\gamma_m}{\gamma} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

Jeśli podłoże warstwy gruntu jest nieprzepuszczalne i nieściśliwe, to dla $x = 0$, $v = 0$ i $\frac{\partial H}{\partial x} = 0$.

Wówczas z równania (4) wynika, że

$$u_0 = 0.$$

W tym przypadku równanie (9) upraszcza się i przyjmuje postać

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1 + \varepsilon}{\alpha \gamma} k \frac{\partial H}{\partial x} \quad (10)$$

Ostatni wyraz w równaniu (9) znika również, gdy rozważyć zagadnienie odkształcenia warstwy gruntu znajdującej się na przepuszczalnym podłożu. Jeśli przyjąć, że środek warstwy znajduje się w początku układu współrzędnych, to (z symetrii): dla $x = 0$, $v = 0$ i $\frac{\partial H}{\partial x} = 0$,

a zatem i $u_0 = 0$.

Tak więc dla naszego zagadnienia

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1 + \varepsilon}{\alpha \gamma} k \frac{\partial H}{\partial x} \quad (11).$$

1. Warunki modelowania dla nieliniowego zagadnienia konsolidacji gruntu

Otrzymane w tej pracy warunki modelowania mogą być stosowane do rozwiązywania zagadnień nieliniowych.

Wprowadzamy współczynniki bezwymiarowe:

$$\alpha_H = \frac{H}{H_M}, \alpha_x = \alpha_h = \frac{h}{h_M}, \alpha_\sigma = \frac{\sigma}{\sigma_M},$$

$$\alpha_q = \frac{q}{q_M}, \alpha_t = \frac{t}{t_M}, \alpha_\gamma = \frac{\gamma}{\gamma_M}, \alpha_{\gamma_m} = \frac{\gamma_m}{\gamma_{m_M}}$$

$$\alpha_k = \frac{k}{k_M}, \alpha_\varepsilon = \frac{1 + \varepsilon}{1 + \varepsilon_M}, \alpha_a = \frac{a}{a_M}$$

Indeks M dotyczy funkcji opisujących model.

Niech wielkości ε , a i k będą jednoznaczными funkcjami σ . Biorąc pod uwagę, że wielkości bezwymiarowe nie zależą od σ , wykażemy, że

$$\alpha_k = \alpha_a = \alpha_\varepsilon = \alpha_\sigma = 1 \quad (12)$$

Istotnie, przyjmijmy na przykład $k = \varphi(\sigma)$ oraz założmy, że $k_0 = \varphi(0) \neq 0$. Zgodnie z określeniem

$$\alpha_k = \frac{\varphi(\sigma)}{\varphi(\sigma_M)} = \frac{\varphi(\alpha_\sigma \sigma_M)}{\varphi(\sigma_M)}.$$

Podstawiając w tej równości

$$\sigma_M = 0$$

znajdujemy

$$\alpha_k = 1$$

Stąd

$$\varphi(\alpha_\sigma \sigma_M) = \varphi(\sigma_M) \text{ i } \alpha_\sigma = 1.$$

Rozpatrzmy zagadnienie konsolidacji stałej warstwy gruntu pod wpływem zmiennego w czasie obciążenia zakładając, że ciężar gruntu można zaniedbać. Równania konsolidacji i równowagi

w tym przypadku można zapisać w postaci (tak jak w równaniu 1) i

$$\sigma = q - \gamma H \quad (13)$$

Zapišemy te równania uwzględniając współczynniki bezwymiarowe i zależności (12), czyli

$$\frac{\partial H_M}{\partial t_M} = \frac{\alpha_q}{\alpha_\gamma \alpha_H} \frac{1}{\gamma_M} \frac{\partial q_M}{\partial t_M} +$$

$$+ \frac{\alpha_t}{\alpha_x^2 \alpha_\gamma} \frac{1 + \varepsilon_M}{\gamma_M \alpha_M} \frac{\partial}{\partial x_M} k_M \frac{\partial H_M}{\partial x_M} \quad (14)$$

$$\sigma_M = \alpha_q q_M - \alpha_\gamma \alpha_H \gamma_M H_M \quad (15)$$

Z równań tych wynika, że

$$\alpha_q = \alpha_\gamma \alpha_H, \alpha_t = \alpha_x^2 \alpha_\gamma, \alpha_q = 1, \alpha_\gamma \alpha_H = 1.$$

Warunki początkowe i brzegowe nie nakładają dodatkowych zależności na współczynniki bezwymiarowe.

Ostatecznie warunki modelowania otrzymamy w postaci

$$q = q_M, \frac{t}{x^2 \gamma} = \frac{t_M}{x_M^2 \gamma_M}, \frac{H}{\gamma} = \frac{H_M}{\gamma_M} \quad (16)$$

Jeśli przyjąć $\gamma = \gamma_M$, to z rozwiązania nieliniowego zagadnienia dla warstwy o grubości h można otrzymać rozwiązanie dla warstwy o grubości h_1 drogą prostego przeliczenia skali zgodnie ze wzorem

$$t_1 = \frac{th_1^2}{h^2} \quad (17)$$

Rozpatrzmy teraz problem modelowania zagadnienia konsolidacji powiększającej się warstwy gruntu.

Równania konsolidacji i równowagi w tym przypadku mają postać:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1 + \varepsilon}{\alpha \gamma} \frac{\partial}{\partial x} k \frac{\partial H}{\partial x} \quad (18)$$

$$\sigma = \gamma_m h - \gamma H - \gamma_m x \quad (19)$$

lub uwzględniając współczynniki bezwymiarowe i równania (12):

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_M}{\partial t_M} &= \frac{\alpha_{\gamma_m} \alpha_h}{\alpha_{\gamma} \alpha_H} \frac{\gamma_{m_M}}{\gamma_M} \frac{\partial h_M}{\partial t_M} + \\ &+ \frac{\alpha_t}{\alpha_x^2 \alpha_{\gamma}} \frac{1 + \varepsilon_M}{\alpha_M \gamma_M} \frac{\partial}{\partial x_M} k_M \cdot \frac{\partial H_M}{\partial x_M} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \sigma_M &= \alpha_{\gamma_m} \alpha_H \gamma_{m_M} h_M - \alpha_{\gamma} \alpha_n \gamma_M H_M + \\ &- \alpha_{\gamma_m} \alpha_x \gamma_{m_M} x_M \end{aligned} \quad (21)$$

Z równań (20) i (21) wynikają warunki modelowania:

$$\alpha_t = \alpha_{\gamma} \alpha_x^2, \alpha_{\gamma_m} \alpha_h = \alpha_{\gamma} \alpha_H = 1 \quad (22)$$

Przyjmując

$$\alpha_{\gamma} = \alpha_{\gamma_m}, \alpha_x = \alpha_h$$

otrzymujemy

$$\alpha_t = \alpha_h \text{ i } \alpha_h = \alpha_H \quad (23)$$

Z równości (23) wynika, że jeśli $\gamma = \gamma_M$, to $\alpha_t = \alpha_h = \alpha_H = 1$ lub $t = t_M$, $h = h_M$, $H = H_M$.

Tak więc warunki modelowania dla zagadnień konsolidacji powiększającej się warstwy gruntu nie pozwalają sprowadzić rozwiązania jednego zagadnienia do drugiego drogą przeliczenia skali. W tym przypadku każde zagadnienie należy rozwiązywać oddzielnie.

2. Stopniowe powiększanie grubości warstwy

Zagadnienie konsolidacji powiększającej się warstwy gruntu sprowadza się do rozwiązania równania:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{(1 + \varepsilon_{sr})}{\alpha \gamma} \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (24)$$

w obszarze

$$0 \leq x \leq x(t) = h(t), \quad t \geq 0 \quad (25)$$

z warunkami brzegowymi

$$\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \text{ dla } x = 0 \text{ i } H = 0 \text{ dla } x = h(t) \quad (26)$$

Rozpatrzmy zagadnienie powiększania grubości warstwy gruntu w czasie zgodnie z zależnością liniową:

$$h(t) = \frac{h}{T} t \text{ dla } t \geq T$$

$$h(t) = h \text{ dla } t > T$$

gdzie:

h – maksymalna miąższość warstwy,

T – czas.

Ponieważ wszystkie zależności przy rozwiązaniu liczbowym zagadnienia tracą sens w momencie czasu $t = 0$, jako warunek początkowy przyjmuje się

$$H(t_n, x) = \frac{\gamma h (1 - x)}{n} \quad (27)$$

gdzie

$$t_n = \frac{T}{n}.$$

Fizycznie odpowiada to chwilowemu powiększeniu warstwy o grubości $\frac{h}{n}$, a zatem wzrostowi liniowemu. Aby oszacować błąd powstały wskutek zmiany warunków początkowych, przeprowadzono porównanie wyników otrzymanych z obliczeń numerycznych dla zagadnienia liniowego konsolidacji z dokładnym rozwiązaniem analitycznym Gibsona (1958). Zgodność wyników okazała się pełna.

Sformułujemy schemat różnic skończonych odpowiadający powyższemu zagadnieniu różniczkowemu*.

Niech (x_i, t_j) – równomierna względem x i t prostokątna siatka różnicowa pokrywa obszar (25). W celu uproszczenia warunków brzegowych $x' = h(t)$ przyjmujemy krok względem czasu

$$\tau = \frac{T}{N}$$

krok względem grubości warstwy gruntu

$$l = m\tau, m = \frac{h}{T}, t_j = j\tau, x_i = il,$$

$$i, j = 0, 1, \dots, N, \dots,$$

Na (x_i, t_j) wprowadzamy funkcję siatkową y_i , odpowiadającą ciśnieniu H .

Ponadto przyjmujemy następujące oznaczenia:

$$y = y(x_i, y_{j+1}) = y^{j+1}, \check{y} = y(x, t_j) = y^j$$

*Problemom związanym z obliczeniami numerycznymi dla zagadnień nieliniowych konsolidacji będzie poświęcona oddzielna praca.

$$y^{\pm 1} = y(x \pm l, t), y_{\bar{x}} = \frac{y - y^{(-1)}}{l},$$

$$y_x = \frac{y^{(+1)} - y}{l}, y_i = \frac{y - \check{y}}{\tau},$$

$$(dy_{\bar{x}})_x = \frac{d_{i+1}(y_{i+1} - y_i) - d_i(y_i - y_{i-1})}{l^2},$$

$$\alpha = d(x, t, y^*), y^* = 0,5 (y + y^{(-1)}),$$

$$\check{t} = t - \tau, \lambda(y) = 0,5 \cdot (y_{\bar{x}} + y_x).$$

Doprowadzimy równanie (24) do postaci:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{(1 + \varepsilon_{sr})k(x, H)}{a(x, H)\gamma} \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \\ & + \frac{(1 + \varepsilon_{sr})k(x, H)}{a^2(x, H)\gamma} \frac{\partial a}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} \end{aligned} \quad (28)$$

i zapiszemy równanie (28) w postaci schematu różnicowego (Samarski 1962)

$$y_{\bar{t}} = (dy_{\bar{x}})_x + \varphi[x, t, y, \lambda(y)] \quad (29)$$

z warunkami brzegowymi i początkowymi, odpowiadającymi (26) i (27)

$$y = [h(t), t] = 0, y'_x = 0 \text{ dla } x = x_0 = 0;$$

$$y(x_i, t_n) = \frac{\gamma h}{n} (1 - x_i) \quad (30)$$

Ponieważ rozpatrywane zagadnienie dotyczy gruntu jednorodnego i funkcje $k(x, H)$ i $a(x, H)$ są ciągłe w całym obszarze, możemy przyjąć następujący schemat dyskretny:

$$\alpha_i = \frac{1 + \varepsilon_{sr}}{2} \left\{ \frac{k(x_i, y_i^*)}{a(x_i, y_i)} + \frac{k(x_{i-1}, y_i^*)}{a(x_{i-1}, y_i)} \right\},$$

$$\varphi_i = \varphi[x_i, t, y_i, \lambda(y_i)]$$

Uwzględniając zależności:

$$a = \frac{bc}{1 + b\sigma}, \quad \text{gdzie } k = \frac{AE_0}{(1 + b\sigma)^{\beta c}},$$

gdzie: $\sigma = \gamma_H h - \gamma_H - \gamma_m x$, $E_0 = e^{\beta \varepsilon_0}$,

otrzymujemy następujące wzory:

$$\begin{aligned} d_i &= \frac{A(1 + \varepsilon_{sr})E_0}{2bc} \{ (1 + b\sigma_i^*)^{1-\beta c} + \\ &+ (1 + b\sigma_{i-1}^*)^{1-\beta c} \}, \\ \varphi_i &= \frac{AE_0(1 + \varepsilon_{sr}) \{ [(\gamma_m + \lambda(y_i))\lambda(y_i)] \}}{c\gamma(1 + b\sigma_i)^{\beta c}} + \\ &+ \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t} \end{aligned} \quad (31)$$

gdzie

$$\sigma_i^* = \gamma_H h(t) - \frac{\gamma(y_i + y_{i-1})}{2} - \gamma_m x_i,$$

$$\sigma_{i-1}^* = \gamma_H h(t) - \frac{\gamma(y_i + y_{i-1})}{2} - \gamma_m x_{i-1},$$

$$\sigma_i = \gamma_H h - \gamma y_i - \gamma_m x_i.$$

Równość (29) wraz z warunkami brzegowymi (30) sprowadza się do trójdziagonalnego algebraicznego układu równań nieliniowych względem $y(x, t)$. Rozwiązanie tego układu znajdujemy metodą prostej iteracji zamieniając równość (29) na układ równań liniowych względem $y^{(k+1)}(x, t)$

$$y_i^{(k+1)} = (d^{(k)} y_x^{(k+1)})_x + \varphi(x, t, y^{(k)}, \lambda y^{(k)}) \quad (32)$$

gdzie:

$$d^{(k)} = d(x, y^{(k)}),$$

$$y_i^{(k+1)} = \frac{y^{(k+1)} - y}{\tau},$$

$y^{(k)}$ – k – ta iteracja funkcji siatkowej; za $y^{(1)} = y$ przyjmuje się wartość funkcji siatkowej w momencie czasu $t - \tau$. Proces iteracyjny prowadzi do rozwiązania układu równań nieliniowych (29), jeśli

$$\max_i |y_i^{(k+1)} - y_i^{(k)}| \leq \varepsilon,$$

przy tym wartość funkcji siatkowej w momencie t wynosi $y = y^{(k+1)}$.

Oczywiście, że liczba iteracji zależy od ε . W naszych obliczeniach dla $\varepsilon = 10^{-6}$ waha się ona od 5 do 7.

Liczba algebraicznych równań liniowych w układzie (32) zwiększa się wraz ze wzrostem grubości warstwy gruntu.

3. Stopniowe powiększanie obciążenia

Rozpatrzmy odkształcenie gruntu w konsolidometrze z drenażem na górnej i dolnej powierzchni warstwy. Równanie konsolidacji, warunki brzegowe i początkowe przyjmują w tym przypadku postać:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{(1 + \varepsilon_{sr})}{a(x, H)\gamma} \frac{\partial}{\partial x} \left[k(x, H) \frac{\partial H}{\partial x} \right],$$

$$H(0, t) = H(h, t) = 0, \quad H(x, 0) = 0 \quad (33)$$

gdzie:

$$q(t) = \frac{Q}{T} t \quad \text{dla } t \leq T, \quad q(t) = Q \quad \text{dla } t > T,$$

Q – maksymalne obciążenie,
 T – czas wzrostu obciążenia,
 h – grubość warstwy.

Zależność współczynników filtracji $k(x, H)$ i ścisłości $a(x, H)$ od σ jest taka jak poprzednio, lecz σ nie zależy w tym przypadku od współrzędnej x , ponieważ niewielka grubość warstwy pozwala zaniedbać ciężar gruntu:

$$\sigma = q(t) - \gamma H.$$

Metodyka rozwiązywania danego zagadnienia jest analogiczna do przypadku poprzedniego zagadnienia. Prostsze są obecnie warunki na brzegu, równanie różniczkowe i wzór na współczynniki w schemacie różnic skończonych.

Zapisując równość (33) w postaci (28) i uwzględniając, że $\frac{\partial a}{\partial x} = 0$, otrzymujemy równanie różniczkowe

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{(1 + \varepsilon_{sr})k(H)}{a(H)\gamma} \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t}$$

i odpowiadający temu równaniu schemat różnic skończonych:

$$y_{\bar{t}} = (dy_{\bar{x}})_x + \varphi(t) \quad (34)$$

Siatkę współrzędnych (x_i, t_j) i wszystkie oznaczenia dla funkcji siatkowej y pozostawiamy tak jak poprzednio. Wartości brzegowe i początkowe dla funkcji siatkowej mają postać:

$$y(h, t_j) = y(0, t_j) = y(x_i, 0) = 0$$

Współczynniki w równaniu (34) określone są następująco:

$$d_i = \frac{AE_0(1 + \varepsilon_{sr})(1 + b\sigma_i)^{1-\beta c}}{bc}$$

$$\varphi_i = \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial q(t)}{\partial t} = \begin{cases} \frac{Q}{T} & \text{dla } t \leq T \\ 0 & \text{dla } t > T \end{cases}$$

gdzie:

$$\sigma_i = q(t) - \frac{\gamma(y_i - y_{i-1})}{2}.$$

Dalsze rozważania należy przeprowadzić analogicznie do poprzednich, określając funkcję siatkową $y(x, t)$, będącą przybliżonym rozwiązaniem równania (33) z układu algebraicznych równań nieliniowych (34). Nieliniowy układ (34) analogiczny do (29) rozwiązuje się metodą iteracji.

4. Wyniki obliczeń

W celu interpretacji przedstawionych wyżej rozwiązań wykonano obliczenia numeryczne w następujących przypadkach:

a) zagadnienie nieliniowe konsolidacji powiększającej się w czasie warstwy gruntu pod wpływem ciężaru własnego (punkt 2);

b) zagadnienie nieliniowe konsolidacji warstwy o stałej grubości pod wpływem rosnącego w czasie obciążenia bez uwzględnienia ciężaru własnego (punkt 3).

Aby ocenić, jak na proces konsolidacji wpływają zależności współczynników filtracji $k(\sigma)$ od naprężenia w szkieletie gruntu, sporządzono programy zagadnień liniowych c) i d) odpowiadające a) i b):

$$c) \frac{\partial H}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\gamma_m}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$d) \frac{\partial H}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial t}$$

gdzie:

$$C_v = \frac{k(1 + \varepsilon_{sr})}{a\gamma} - \text{współczynnik konsolidacji.}$$

Liczbowe wartości parametrów k_0 , c_c , β , b w zależnościach (5) i (6) otrzymano drogą aproksymacji krzywych eksperymentalnych uzyskanych w Instytucie Hydromelioracyjnym w Moskwie:

$$A = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s}, b = 65 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{g}, \\ c = 62 \cdot 10^{-3}, \beta = 12. \quad (35)$$

Ponadto, przyjęto:

$$1 + \varepsilon = 1 + \varepsilon_{sr}, \gamma_m = 1,6 \text{ G/cm}^3, \\ \gamma = 1,0 \text{ G/cm}^3, \varepsilon_0 = 0,62, \varepsilon_{sr} = 0,50. \quad (36)$$

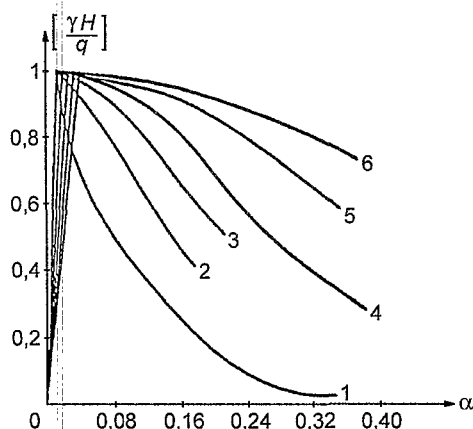
Wyniki obliczeń dla przypadku b) i różnych obciążeń przedstawia rysunek 1. W celu porównania przedstawiono na rysunku 1 rozwiązania dla zagadnienia d).

Wielkości współczynników konsolidacji C_v dla zagadnień liniowych określone zostały ze wzorów (5) i (6) oraz (35) i (36), C_v obliczono ze wzorów:

$$C_v = \frac{(1 + \varepsilon_{sr})k}{\gamma a}, \quad k = \frac{k_0 + k_Q}{2}, \\ a = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_Q}{Q} \quad (37)$$

gdzie:

k_0 i k_Q – współczynniki filtracji odpowiadające $\sigma = 0$ i $\sigma = Q$ określone za pomocą wzorów (5) i (6),



RYСУNEK 1. Zależności nadwyżki ciśnień od czynnika czasu przy wzrastającym obciążeniu: 1 – zagadnienie liniowe; 2, 3, 4, 5, 6 – zagadnienie nieliniowe dla Q równego odpowiednio: 5; 10; 20; 40 i 60 kG/cm^2

ε_Q – współczynnik porowatości odpowiadający $\sigma = Q$ określony ze wzoru (6).

Jeśli na osi odciętych zaznaczyć wielkość

$$\alpha = \frac{C_v t}{h^2},$$

to krzywe ilustrujące rozwiązania zagadnień liniowych dla różnych wartości α pokrywają się.

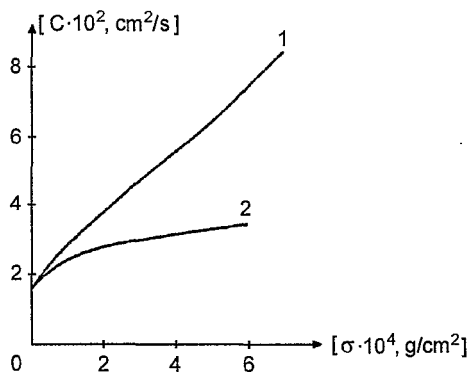
Z rysunku 1 widać, że rozwiązanie zagadnienia b) uwzględniające nieliniowość różni się istotnie od analogicznych rozwiązań zagadnień liniowych.

Zależności współczynników konsolidacji od σ przedstawione są na rysunku 2.

Krzywa 1 odpowiada współczynnikowi konsolidacji obliczonemu zgodnie z metodą Cassagrandego, krzywą 2 używano zaś na podstawie wzoru uwzględniającego zmienną wartość k :

gdzie $a = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial \delta}$, Q , k i ε określone są według wzorów (5) i (6).

Z rysunku widać, że najmniejszy współczynnik konsolidacji jest taki sam dla krzywych 1 i 2.

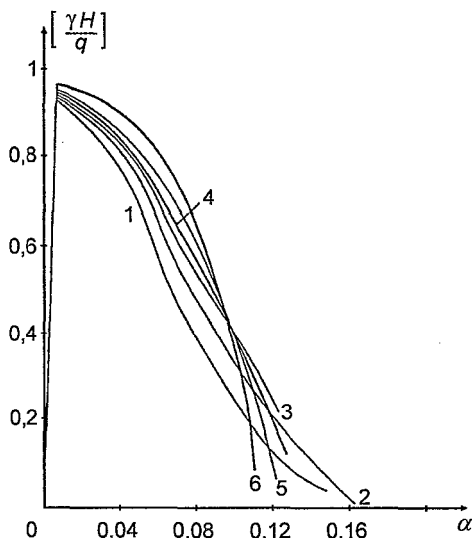


RYSUNEK 2. Zależność współczynnika konsolidacji od naprężenia w szkielecie gruntu: 1 – według standardowej metody; 2 – dla wartości faktycznych

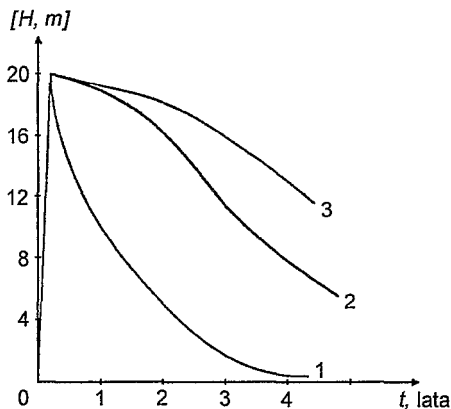
Na rys. 3 przedstawione są rozwiązania zagadnień nieliniowych dla różnych wartości Q i zagadnienia liniowego ze zmiennym współczynnikiem konsolidacji. W tym przypadku, jak widać z rysunku, rozwiązania z uwzględnieniem nieliniowości są bliskie rozwiązaniu zagadnienia liniowego.

Rozwiązanie zagadnienia nieliniowego jest bliskie rozwiązaniu zagadnienia liniowego z najmniejszym współczynnikiem konsolidacji również dla zagadnienia powiększającej się warstwy gruntu.

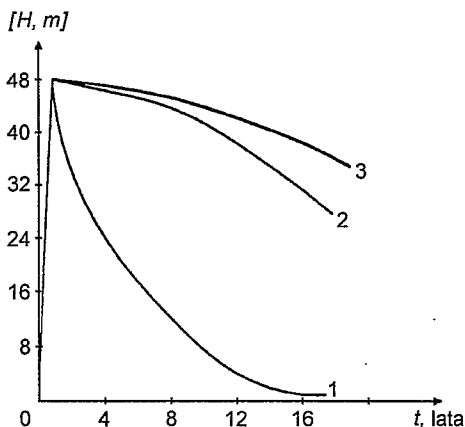
Rozwiązania te dla dwóch wartości h przedstawione są na rys. 4 i rys. 5.



RYSUNEK 3. Zależności nadwyżki ciśnienia od czynnika czasu przy wzrastającym obciążeniu: 1 – zagadnienie liniowe; 2, 3, 4, 5, 6 – zagadnienie nieliniowe dla Q równego odpowiednio: 2,5; 10; 20; 40 i 60 kG/cm²



RYSUNEK 4. Zależność nadwyżki ciśnienia od czasu przy wzrastającej grubości warstwy ($h = 25$ m): 1 – zagadnienie liniowe ($C_v = C_{v0}$); 2, 3 – zagadnienie nieliniowe dla Q równego odpowiednio 20 i 40 kG/cm²



RYSUNEK 5. Zależności nadwyżki ciśnienia od czasu przy wzrastającej grubości warstwy ($h = 50$ m): 1 – zagadnienie liniowe; ($C_v = C_{v0}$); 2, 3 – zagadnienie nieliniowe dla Q równego odpowiednio 40 i 60 kg/cm^2

Tak więc, dla przybliżonych rozwiązań zagadnień konsolidacji nasyconego woda gruntu z przyjętymi charakterystykami można posługiwać się rozwiązaniami odpowiednich zagadnień liniowych przyjmując C_v zmienne i zależne od stanu naprężenia σ .

Ponadto, w tych przypadkach słuszne są w przybliżeniu warunki modelowania, wyprowadzone dla zagadnień liniowych.

Literatura

- FLORIN W.A. 1961: Osnovy mechaniki gruntów. T. 2, Gosstrojizdat.
GIBSON R.E. 1958: The Progress of Consolidation in a Clay Layer Increasing in Thickness with Time. Geotechnique, v. 8; 4.

- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1994: O nieliniowym zagadnieniu konsolidacji ośrodka trójfazowego. Przegl. Nauk. Wydz. MiłŚ, SGGW, z. 6.
KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1995: O rozwiązaniu nieliniowych zagadnień konsolidacji gruntów. Przegl. Nauk. Wydz. MiłŚ, SGGW, z. 7.
KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1995a: Nieliniowe zagadnienie konsolidacji warstwy trójfazowego gruntu. Przegl. Nauk. Wydz. MiłŚ, SGGW, z. 14.
KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1996: Rozwiązanie nieliniowego jednowymiarowego zagadnienia konsolidacji gruntów. Przegl. Nauk. Wydz. MiłŚ, SGGW, z. 12.
SAMARSKI A.A. 1962: O schodimosti i tocznosti odnorodnych raznostnykh schem dla odnornykh i mnogornykh paraboliczeskikh urawnenij. Ž. Wycisl. Matem. i Matem. Fiz. 4.

Summary

A nonlinear consolidation analysis.

The phenomenon of consolidation of a saturated soil stratum is studied in this paper. Proposed approach takes into consideration variability of permeability coefficient and void ratio in consolidation process. Nonlinear soil characteristics make possible to describe the consolidation course for engineering purposes. The results obtained from calculation procedures indicate that the application of nonlinear theory improves the consolidation prediction to a considerable extent. It means that in the engineering calculation variability of soil parameters should be taken into account.

Authors' address:

H. Kazieko, L. Kazieko
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

Elżbieta BONDAR-NOWAKOWSKA, Donat DEJAS, Andrzej REINHARD

Instytut Melioracji i Kształtowania Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu
Institute of Land Reclamation and Environment Development, Agricultural University
of Wrocław

Określenie za pomocą teorii zbiorów przybliżonych hierarchii czynników oddziałujących na roślinność cieków w wyniku robót konserwacyjnych

Evaluation of hierarchy of factors affecting the plants on water – courses as a result of maintenance works with use the rough set theory

Wstęp

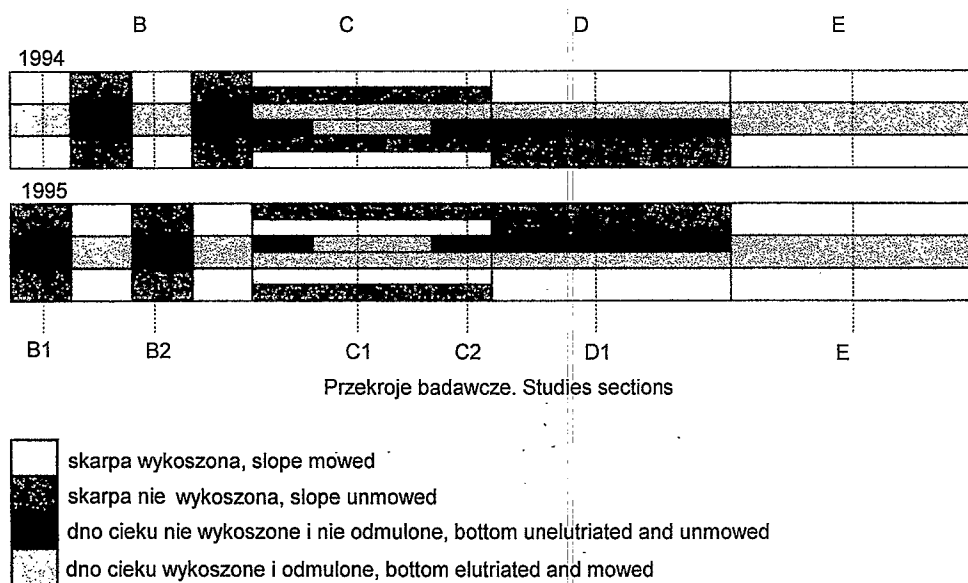
Jedną z czynności składających się na roboty konserwacyjne jest koszenie roślinności na skarpach i na dnie cieków. W wyniku takiego zabiegu ciekom przywraca się funkcje, które mają one do spełnienia. Równocześnie jednak, koszenie powoduje ilościowe zmiany w składzie florystycznym. W pracy określono, stosując teorię zbiorów przybliżonych, hierarchię oddziaływania niektórych czynników naturalnych danego środowiska oraz wykonawstwa robót na te zmiany.

Materiał i metody badań

Aby ciek mogły w sposób niezawodny pełnić swoją rolę, zwłaszcza te, których zadaniem jest regulacja stosunków

wodno-powietrznych na przyległych terenach i ochrona od powodzi, należy wykonywać zabiegi konserwacyjne, powtarzane na ogół co 2 lub 3 lata (Bala i in. 1991). Ogranicza to zatem okresy prowadzenia badań nad oddziaływaniem robót konserwacyjnych na biocenozę cieków do 2 lub 3 lat, co nie wpływa na wyciąganie wniosków i dalsze stosowanie tych robót (Bostelmann i Menze 1987, Menze 1992).

Podstawą analizy są obserwacje szaty roślinnej na ciekach Leniwki i Dobrej, (dopływy Widawy), na których wykonano w październiku 1994 i listopadzie 1995 roku roboty konserwacyjne. Roboty te polegały na odmuleniu dna wraz z usunięciem roślinności dennej koparko-odmularką Pelikan oraz ręcznym wykoszeniu całych skarp lub ich części według schematów (rys. 1).



RYSUNEK 1. Schematy konserwacji na ciekach Leniwki i Dobrej w 1994 i 1995 r.

FIG. 1. Schemes of maintenance works on the water-courses Leniwka and Dobra in 1994 and 1995

Na odcinku badawczym ciek Dobra średni spadek podłużny wynosił 0,24%, szerokość dna 4 m, nachylenie skarp 1 : 2,5, głębokość ok. 1,7 m. Na ciek Leniwka średni spadek podłużny wynosił 1,7%, średnia szerokość dna 1,8 m, nachylenie skarp 1:1,5, a głębokość ok. 0,7 m. Po wykonaniu konserwacji, w latach następnych, tj. 1995 i 1996 w miesiącach od maja do września, przeprowadzono obserwacje florystyczne w 6 przekrojach B1, B2, C1, C2, D, E (rys. 1) i 3 strefach: akwatywnej, amfibiotycznej i terystycznej (Bostelmann i Menze 1987). Badania terenowe wykonano metodą szacunkową według 5-stopniowej skali Braun-Blanqueta. (Bondar-Nowakowska 1997).

Na podstawie badań terenowych opracowano 33 tablice decyzyjne jako

zbiór wyników obserwacyjnych, uporządkowany według atrybutów i klas zamieszczonych w tabelach 1, 2, 3. Zbiór ten zawiera około 7500 informacji. Stanowił on podstawę analizy teorii zbiorów przybliżonych, której główną zaletą jest uzyskanie wyników obliczeń bez konieczności prowadzenia długich ciągów obserwacji i przy małej liczbie pomiarów (Pawlak 1982, Słowiński 1992). Tablice decyzyjne odnoszą się do roślin, których obecność w składzie florystycznym w poszczególnych przekrojach i strefach cieków była w okresie obserwacji najliczniejsza.

W strefie akwatywnej obu cieków były to mrozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*) i manna mielec (*Glyceria aquatica*). W strefie amfibiotycznej ciek Dobra: mrozga trzcinowata (*Phalaris*

TABELA 1. Tablica decyzyjna dla strefy akwaticznej
TABLE 1. Decision table of the aquatic zone

		Atrybuty warunkowe Condition attributes				Atrybut decyzyjny Decision attribute
Udział w składzie florystycznym w 1995 po wykonaniu konserwacji w 1994 Participation in the floristic composition in 1995, after the maintenance works were carried out in 1994	Zakres konserwacji w 1994 Range of the maintenance works in 1994	Zakres konserwacji w 1994 w strefie amfibiologicznej Range of the maintenance works in 1994 on amphibiotic zone	Długość odcinka konserwowanego Length of the maintenance segment	Termin obserwacji Time of observation	Zakres konserwacji w 1995 Range of the maintenance works in 1995	Udział w składzie florystycznym w 1996 po wykonaniu konserwacji w 1995 Participation in the floristic composition in 1996 after the maintenance works were carried out in 1995
1	2	3	4	5	6	7
0 – nie występuje 0 – not found	1 – 100% dna odmulone 1 – bottom elutriated in 100%	1 – skarpa 1 – slope mowed	Dobra 1 – 70 m	1 – V, VI 2 – VII, VII 3 – IX	1 – 100% dna odmulone 1 – bottom elutriated in 100%	0 – nie występuje 0 – not found
1 – sporadyczny 1 – sporadic	2 – 50% dna odmulone 2 – bottom elutriated in 50%	2 – skarpa nie 2 – slope	2 – 140 m 3 – 280 m		2 – 50% dna odmulone 2 – bottom elutriated in 50%	1 – sporadyczny 1 – sporadic
2 – < 10%	3 – 10–25% 3 – 10–25%	2 – skarpa nie 2 – slope	1 – 22 m		3 – 10–25% dna odmulone 3 – bottom elutriated in 10–25%	2 – < 10%
3 – 10–25%	4 – 25–50% 4 – 25–50%	2 – skarpa nie 2 – slope	2 – 45 m		4 – 25–50% dna odmulone 4 – bottom elutriated in 25–50%	3 – 10–25%
4 – 25–50%	5 – 50–75% 5 – 50–75%	2 – skarpa nie 2 – slope	3 – 90 m		5 – 50–75% dna odmulone 5 – bottom elutriated in 50–75%	4 – 25–50%
5 – 50–75%	6 – > 75% 6 – > 75%	2 – skarpa nie 2 – slope			6 – > 75% dna odmulone 6 – bottom elutriated in > 75%	5 – 50–75%
6 – > 75%		2 – skarpa nie 2 – slope				6 – > 75%

TABELA 2. Tablica decyzyjna dla strefy amfibiologicznej
TABLE 2. Decision table of the amphibiotic zone

Atrybuty warunkowe Condition attributes					Atrybut decyzyjny Decision attributes		
Udział w składzie florystycznym w 1995 po wykonaniu konserwacji w 1994 Participation in the floristic composition in 1995 after the maintenance works were carried out in 1994	Zakres konserwacji w 1994 Range of the maintenance works in 1994	Zakres konserwacji w 1994 w strefach sąsiednich Range of the maintenance works in 1994 on neighbouring zones		Długość odcinka konserwowanego Length of the maintenance segment	Termin obserwacji Time of observation	Zakres konserwacji w 1995 Range of the maintenance works in 1995	Udział w składzie florystycznym w 1996 po wykonaniu konserwacji w 1995 Participation in the floristic composition in 1996 after the maintenance works were carried out in 1995
0 – nie występuje 0 – not found	1 – skarpa koszona	1 – 100% dna odmulone	1 – skarpa koszona	Dobra 1 – 70 m	1 – V, VI 2 – VII, VII	1 – skarpa koszona	0 – nie występuje 0 – not found
1 – sporadyczny 1 – sporadic	1 – slope mowed	1 – bottom elutriated in 100%	1 – slope mowed	2 – 140 m	3 – IX	1 – slope mowed	1 – sporadyczny 1 – sporadic
2 – < 10% 3 – 10–25%	2 – skarpa nie koszona	2 – 50% dna odmulone	2 – skarpa nie koszona	3 – 280 m Leniwka		2 – skarpa nie koszona	2 – < 10% 3 – 10–25%
4 – 25–50% 5 – 50–75% 6 – 75%	2 – slope unmowed	2 – bottom elutriated in 50%	2 – slope unmowed	1 – 22 m 2 – 45 m 3 – 90 m		2 – slope unmowed	4 – 25–50% 5 – 50–75% 6 – > 75%
		3 – 50% dna nie odmulone 3 – bottom unelutriated in 50%					
		4 – 100% dna nie odmulone 4 – bottom unelutriated in 50%					

TABELA 3. Tablica decyzyjna dla strefy terystycznej
TABLE 3. Decision table of the terristic zone

Atrybuty warunkowe Condition attributes				Atrybut decyzyjny Decision attributes			
Udział w składzie florystycznym w 1995 po wykonaniu konserwacji w 1994 Participation in the floristic composition 1995 after the maintenance works were carried out in 1994	Zakres konserwacji w 1994 Range of the maintenance works in 1994	Zakres konserwacji w 1994 w strefach sąsiednich Range of the maintenance works 1994 on neighbouring zones		Długość odcinka konserwowanego Length of the maintenance segment	Termin obserwacji Time of observation	Zakres konserwacji w 1995 Range of the maintenance works in 1995	Udział w składzie florystycznym w 1996 po wykonaniu konserwacji Participation in the floristic composition in 1996 after the maintenance works were carried out in 1995
		w strefie amfibiologicznej on amphibiotic zone	na pasie przybrzeżnym on coastallane				
0 – nie występuje 0 – not found	1 – skarpa koszona	1 – skarpa koszona	1 – skarpa koszona	Dobra 1 – 70 m	1 – V, VI 2 – VII, VII	1 – skarpa koszona	0 – nie występuje 0 – not found
1 – sporadyczny	1 – slope mowed	1 – slope mowed	1 – slope mowed	2 – 140 m	3 – IX	1 – slope mowed	1 – sporadyczny
1 – sporadic	2 – skarpa nie koszona	2 – skarpa nie koszona	2 – skarpa nie koszona	3 – 280 m		2 – skarpa nie koszona	1 – sporadic
2 – < 10%				Leniwka			2 – < 10%
3 – 10–25%	2 – slope	2 – slope unmowed	2 – slope	1 – 22 m		2 – slope	3 – 10–25%
4 – 25–50%	unmowed		unmowed	2 – 45 m		unmowed	4 – 25–50%
5 – 50–75%				3 – 90 m			5 – 50–75%
6 – > 75%							6 – > 75%

arundinacea), wyczyniec łąkowy (*Alopecurus pratensis*), mietlica biaława (*Agrostis alba*), wiechlina łąkowa (*Poa pratensis*), kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata*), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*), a na cieku Leniwka: manna mielec (*Glyceria aquatica*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), wyczyniec łąkowy (*Alopecurus pratensis*), mietlica biaława (*Agrostis alba*), perz właściwy (*Agropyron repens*), nawłóć późna (*Solidago serotina*) i pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*). W strefie terystycznej cieku Dobra, tablice decyzyjne opracowano dla wyczynca łąkowego (*Alopecurus pratensis*), wiechliny łąkowej (*Poa pratensis*), kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata*), pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica*), tymotki łąkowej (*Pheleum pratense*), krwawnika pospolitego (*Achillea millefolium*), kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis*), perzu właściwego (*Agropyron repens*), żywokostu lekarskiego (*Symphytum officinale*), koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense*), a w cieku Leniwka dla: mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea*), wyczynca łąkowego (*Alopecurus pratensis*), pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica*), perzu właściwego (*Agropyron repens*), nawłoci późnej (*Solidago serotina*).

We wszystkich tablicach decyzyjnych atrybutem decyzyjnym był procentowy udział danej rośliny w składzie florystycznym po wykonaniu robót konserwacyjnych. Tablice odnoszące się do strefy akwatywnej zawierają 6, a do strefy amfibiotycznej i terystycznej – 7 atrybutów warunkowych. Pełny opis wszystkich atrybutów, z podziałem na klasy, przedstawiony jest w tabelach 1, 2, 3.

Wyniki

W celu określenia zaistniałych zmian w szacie roślinnej na skutek robót konserwacyjnych, dokonano porównania udziału w składzie florystycznym dominujących gatunków w poszczególnych przekrojach i strefach badawczych z roku 1995 z rokiem 1996. Analiza ta obejmowała 1000 porównań. Wykazały one, że w 118 przypadkach nastąpił wzrost udziału gatunku w szacie roślinnej, w 193 przypadkach ubytek, a w 689 przypadkach udział się nie zmienił. Wszystkie zmiany wynosiły od jednego stopnia w skali Braun-Blanqueta, a więc były niewielkie.

Na podstawie obliczeń wg teorii zbiorów przybliżonych można stwierdzić, że zmiany te były powiązane z czynnikami ujętymi w tablicach decyzyjnych. Świadczą o tym współczynniki γ (Bondar-Nowakowska i in. 1996), których wartości są duże i wynoszą 0,6–1 (tab. 4).

Związek atrybutów warunkowych (tab. 1, 2, 3) ze zmianami ilościowymi głównych gatunków szaty roślinnej w cieku Dobra jest większy w strefie akwatywnej niż w pozostałych strefach. Związek ten w cieku Leniwka jest bardziej widoczny, natomiast w strefie terystycznej mniej niż w amfibiotycznej i akwatywnej. Można przyjąć, że różne oddziaływania atrybutów na zmiany ilościowe roślin, w poszczególnych strefach cieków Dobra i Leniwka, wiążą się z innymi czynnikami, trudnymi do wyodrębnienia i nie związanymi z robotami konserwacyjnymi.

Zastosowana teoria zbiorów przybliżonych pozwoliła również określić hie-

TABELA 4. Wartości współczynników γ
TABLE 4. Value of the γ coefficient

Roślina Plant	Strefa akwaticzna Aquatic zone		Strefa amfibiocytna Amphibiotic zone		Strefa terystyczna Terristic zone	
	Dobra	Leniwka	Dobra	Leniwka	Dobra	Leniwka
<i>Glyceria aquatica</i>	0,85	0,70		0,75		
<i>Phalaris arundinacea</i>	0,90	0,67	0,60	0,63		0,89
<i>Alopecurus pratensis</i>			0,80	0,84	0,90	0,83
<i>Agrostis alba</i>			0,67	0,85		
<i>Poa pratensis</i>			0,83			
<i>Agropyron repens</i>				0,74	0,80	0,92
<i>Dactylis glomerata</i>			0,89		0,67	
<i>Solidago serotina</i>				1		0,94
<i>Urtica dioica</i>			0,92	0,94	0,80	0,77
<i>Phleum pratense</i>					0,63	
<i>Achillea millefolium</i>					0,71	
<i>Festuca pratensis</i>					0,6	
<i>Symphytum officinale</i>					0,7	
<i>Trifolium pratense</i>					0,6	

rarchię oddziaływania atrybutów warunkowych na zaobserwowane zmiany w składzie florystycznym na skutek wykonanych zabiegów konserwacyjnych.

Klasyfikując stopień oddziaływania poszczególnych atrybutów na florę stwierdzono, że wpływ **atrybutu 1**, tzn. udział w składzie florystycznym w 1995 po wykonaniu konserwacji w 1994 r., na mozgę trzcinowatą i mannę mielec był w strefie akwaticznej obu cieków znaczny (pierwsze miejsce). W strefie amfibiocytniej i terystycznej oddziaływanie tego atrybutu było nieco mniejsze (drugie miejsce). Wyjątkiem jest tutaj pokrzywa zwyczajna, występująca w strefie amfibiocytniej Leniwki i w strefie terystycznej Dobrej. Oddziaływanie tego atrybutu na tę roślinę było znaczne, (pierwsze miejsce).

Atrybuty 2 i 3 (tab. 1) oraz **2, 3 i 4** w tab. 2 i 3 – zakres konserwacji wykonanej w 1994, znajdują się w hierarchii oddzia-

ływania na udział roślin w składach florystycznych na ostatnich miejscach.

Atrybut 4 (tab. 1), długość odcinka konserwowanego oddziałuje zupełnie nieznacznie na rośliny w strefie akwaticznej. Natomiast w strefach amfibiocytniej i terystycznej, oznaczony jako **atrybut 5** (tab. 2 i 3), zajmuje w hierarchii miejsce drugie.

W **atrybucie 5** (tab. 1) i **6** (tab. 2, 3) wprowadzono terminy wykonanych obserwacji jako wskaźnik rozwoju roślinności od czasu wykonania konserwacji (1994 i 1995) do końca okresów wegetacyjnych w latach 1995 i 1996. Z opracowanych 33 tablic decyzyjnych wynika, że jego oddziaływanie, spośród pozostałych atrybutów, jest dominujące. W 23 tablicach zajmuje pierwsze miejsce, a w 6 miejsce drugie. W 4 pozostałych tablicach znaczenie jego jest małe.

Powtórzenie robót konserwacyjnych w roku 1995 – **atrybut 6** (tab. 1), a **7** w

tab. 2 i 3 nie wykazywało żadnego wpływu na roślinność strefy akwatywnej obu cieków, a w strefach amfibiotycznej i terystycznej oddziaływanie było bardzo małe.

Wnioski

1. Badania wykazały, że pomimo dwukrotnego przeprowadzenia robót konserwacyjnych, 17 dominujących gatunków roślin w ciekach Dobra i Leniwka wykazało dużą liczebną stabilność.

2. Spośród czynników naturalnych, na zmiany zachodzące w szacie roślinnej cieków, w największym stopniu wpływa udział poszczególnych roślin w składzie florystycznym przed wykonaniem robót konserwacyjnych, a także faza wzrostu roślin.

3. Sposób wykonywania robót konserwacyjnych oddziałuje w niedużym stopniu na zmiany w szacie roślinnej. Wyraźnie wyróżnić można jednak element długości odcinków konserwowanych i nie konserwowanych, którego wpływ jest dość duży. Przemienność takich odcinków zastosowano na Leniwce i Dobrej według schematu sektora B (rys. 1) z dobrym skutkiem.

Literatura

- BALA W., KWAPISZ J., WRÓBEL F. 1991: *Wyznaczenie normatywnów obsługiwanego rowów melioracyjnych na podstawie badań eksploatacyjnych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, cz. 2; 249, 107–123.
- BONDAR-NOWAKOWSKA E., DEJAS D., REINHARD A. 1996: *Określenie hierarchii czynników wpływających na czas napełnienia*

łyżki maszyny Pelikan przy odmuleniu cieków z zastosowaniem teorii zbiorów przybliżonych. Przegl. Nauk. Wydz. Melior. i Inż. Środ. SGGW, Warszawa z. 12; 169–174.

BONDAR-NOWAKOWSKA E., DEJAS D., ROJEK S. 1997. *Oddziaływanie robót konserwacyjnych na zbiorowisko roślinne w korycie cieku Dobra (dopływ Widawy)*. Roczn. AR Pozn. CCXCIV Melior. Inż. Środ., cz. 1: 235–242.

BOSTELMANN R., MENZER R. 1987: *Auswirkungen von Maßnahmen der Gewässerunterhaltung auf Gewässerlebensgemeinschaften*. DVWK Schriften. P. Parey Hamburg u. Berlin, 76–77.

MENZER R. 1992: *Auswirkungen der maschinellen Gewässerunterhaltung auf aquatische Lebensgemeinschaften*. DVWK Schriften 99, P. Parey Hamburg u. Berlin, 78–79.

PAWLAK Z. 1982: *Rough sets*. International Journal of Information and Computer Sciences 11(5) 341–356.

SŁOWIŃSKI R. 1992: *Intelligent decision support Applications and Advances of the Rough Sets Theory*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. 267–286.

Summary

Evaluation of hierarchy of factors affecting the plants on water-courses as a result of maintenance works with use the rough set theory. In the paper the rough set theory has been applied. This theory permitted to determine the hierarchy of effect, for some characteristics of the maintenance works, on changes in floristic composition. The maintenance works were carried out in autumn 1994 and 1995 on the Dobra and Leniwka water-courses (tributary of Widawa) The analysis concerns 17 species of plants on the aquatic, amphibiotic and terristic zones. Among maintenance works factors, the most explicitly effect on changes in floristic composition shows the length of

segments where the maintenance works were carried out and length where this works don't were carried out.

Authors' address

E. Bondar-Nowakowska, D. Dejas, A. Reinhard
Institute of Land Reclamation and Environment

Development
Agricultural University of Wrocław
50-363 Wrocław
Pl. Grunwaldzki 24
Poland

Kinga PACHUTA

Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska SGGW
Department of Natural Bases of Environmental Engineering WAU

Andrzej PACHUTA

Instytut Geodezji i Astronomii Geodezyjnej
Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy

Wykorzystanie metod geodezyjnych i automatyzacja pomiarów w badaniach zbiorowisk roślin wodnych The geodetic methods use and automatic measurements in hydrophyte communities investigation

Wprowadzenie

Oceny intensywności zarastania cieku lub akwenu, sezonowego nasilenia wegetacji i zróżnicowania okrywy roślinnej wymagają m.in. określenia zasięgu całego zbiorowiska, położenia poziomego i pionowego poszczególnych jego elementów (roślin i ich skupisk), pokrycia powierzchni przez roślinność, a także kształtu, np. koryta rzeki. Zmienność zbiorowisk, różnorodność siedlisk, a nawet zmiany warunków pogodowych i stanów wody sprawiają, że mamy tu do czynienia z ogromną złożonością zjawisk. Pomiary są bardzo uciążliwe, a czasami niewykonalne z powodu braku bezpośredniego dostępu do niektórych miejsc. Zautomatyzowanie procesu zapisywania danych i wstępnego przetwarzania wyników możliwe jest dzięki rejestracji danych na przenośnych komputerach polowych typu PSION ORGANIZER, wypo-

sażonych w odpowiednie programy opracowane specjalnie dla zbiorowisk roślin.

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie propozycji rejestracyjnych programów komputerowych ułatwiających pomiary powierzchni zbiorowisk i położenia poszczególnych ich elementów, a także kształtu dna, np. koryta rzeczno. Zakres artykułu obejmuje krótką charakterystykę wybranych, pospolitych zbiorowisk roślin wodnych i szuwarowych oraz programów komputerowych LOR, NIWTECH3 i LORNETA autorstwa A. Pachuty pomocnych do oceny ich zasięgu.

Obiekty badawcze i metody badań

Szata roślinna polskich akwenów należy do najbardziej atrakcyjnych krajo-
brazowo i urozmaiconych przyrodniczo w środkowej Europie. Szczególnie do-

rzecze Biebrzy jest obszarem różnorodnym gatunkowo, interesującym ekologicznie i bardzo bogatym florystycznie. W rzekach występuje tu naturalny proces zarastania, w którym uczestniczy około 160 gatunków roślin naczyniowych (Pachuta 1990, Podbielkowski i Tomaszewicz 1996). Spośród ogromnej różnorodności fitocenoz – mając na uwadze łatwość ich odnalezienia w terenie i odróżnienia nawet przez niespecjalistów, do prezentacji wybrano najczęściej spotykane w Polsce, a również i w Europie (Flora der Schweiz 1967, Haslam 1978) zbiorowiska:

- moczarki kanadyjskiej *Elodea canadensis*, tj. roślin podwodnych,
- grążela żółtego *Nuphar luteum*, tj. roślin wodnych o liściach pływających po powierzchni wody,
- jeżogłówki prostej *Sparganium simplex*, której forma zanurzona tworzy zbiorowiska w środkowych częściach koryt,
- trzciny pospolitej *Phragmites australis*, tworzącej szuwar wysoki.

Znaczenie wymienionych fitocenoz w procesie zarastania akwenów można analizować w aspekcie ekologicznym, ochrony środowiska oraz znaczenia w praktyce inżynierskiej:

- identyfikacji i rozmieszczenia poszczególnych zbiorowisk,
- nasilenia sezonowego rozwoju roślinności (tab. 1),
- oddziaływania zbiorowisk na konfigurację dna (rys. 1) oraz zmiany prędkości wody (rys. 2),
- długości okresu szczególnie intensywnej wegetacji i co się z tym wiąże wielkości i terminu piętrzenia wegetacyjnego (tab. 2).

Dla wymienionych fitocenoz i sygnalizowanej problematyki zaproponowano przedstawione poniżej metody pomiarowe i służące im rejestracyjne programy komputerowe LOR, NIWTECH3 i LOR-NETA.

Metody satelitarnych technik pomiarowych GPS, w szczególności metoda pozwalająca na wyznaczanie punktów w czasie rzeczywistym (RTK) mogą mieć duże znaczenie przy określaniu położenia i struktury zbiorowisk roślinnych. Na obszarach zadrzewionych można zaproponować zastosowanie tachimetrów elektronicznych.

W powyższych pomiarach zazwyczaj nie jest wymagana tak wysoka dokładność i do określania powierzchni zbiorowisk można z powodzeniem wykorzystać lornetkę Geovit firmy Leica. Ten ciekawy instrument pozwala na wyznaczanie zasięgu zbiorowisk roślin wodnych i bagiennych przy utrudnionym do nich dostępie. Zaletą jest brak potrzeby stosowania reflektora zwrotnego. Pomiaru azymutów wykonywane „Geowitem” za pomocą wbudowanego dalmierza elektromagnetycznego, umożliwiają określenie odległości do punktów bezpośrednio niedostępnych. Zastosowanie specjalistycznego autorskiego oprogramowania LOR-NETA na komputer polowy PSION ORGANISER pozwala między innymi na szybkie obliczenie w terenie pól powierzchni wybranych zbiorowisk roślin.

Dla oszacowania powierzchni przekroju poprzecznego koryta i jego części zajętej przez roślinność oraz pokrycia dna przez zbiorowisko proponuje się zastosowanie niwelacji geometrycznej lub trygonometrycznej. Tradycyjne zanoto-

TABELA 1. Ocena intensywności zarastania koryt rzecznych: długość sezonu wegetacyjnego (liczba miesięcy) – SW, czas oddziaływania na ruch wody i morfologię koryt rzecznych – SO, okres szczególnego nasilenia wegetacji i czasu trwania piętrzenia wegetacyjnego – PW

TABLE 1. The intensity of river beds overgrowing: the vegetation period length (number of months) – SW, the time of plants influence on the water flow and river beds morphology – SO, the period of most intense vegetation and the time of vegetation water lifting – PW; 11-12 the number of the months

Lp. No	Fitocenoza z: Phytocenosis with:	Cechy charakterystyczne gatunku wodącego The dominating species features:	Typ i intensywność zarastania The kind and intensity of overgrowing	Okresy Periods		
				SW	SO	PW
1	<i>Elodea canadensis</i> Rys. 1.A.	Długie do 3 m, drobnoulistnione pędy	Występuje pospolicie, w wodach eutroficznych tworzy gęste, jednogatunkowe płyty	11 – 12	9–11	6–7
2	<i>Nuphar</i> <i>Luteum</i> Rys. 1.B	Sztywne liście pływające po powierzchni wody i (lub) liście wiotkie, przydenne; kłacza grube, żółte; kwiaty żółte	Tworzy pas roślinności za linią szuwarów, intensywnie zarasta środkową części i głębsze partie koryt rzek wolno płynących o wodzie eutroficznej	7–8	4–5	2
3	<i>Sparganium ramosum</i> Rys. 1.C	Bylina wys. 0,3–1,5 m o równowaskich liściach i charaktery- stycznych kwiatostanach	Wchodzi w skład szuwarów lub tworzy własne, niewielkie, zlokalizowane skupienia w strefie płycizn przybrzeżnych	6	3–4	3
4	<i>Phragmites australis</i> Rys. 1.D	Wysoka do 4 m trawa o gęstych, rozgałęzionych kłaczach	Tworzy rozległe łany szuwaru właściwego, wkraczając do głębokości 4 m	10	12	7
Razem średnio: Total – average:				7–12	3–12	2–10

wanie danych i opracowanie materiału jest żmudne i czasochłonne. Obecnie automatyzację zapisu pomiarów monitorujących kształt i położenie dna cieku zapewnia niwelacyjny program autorski NIWTECH3 na komputer polowy PSION ORGANISER LZ 64. Program ten jest zmienioną wersją programów do rejestracji niwelacji precyzyjnej (Bryś

i in. 1997) oraz unowocześnioną wersją NIWTECH, stosowanego w klasycznej niwelacji ciągów 3 i 4 klasy (Pachuta 1996). W porównaniu do swojego pierwowzoru omawiany program pozwala nie tylko na rejestrację i wyznaczanie różnic wysokości między reperami w ciągu niwelacyjnym, ale także na określenie wyrównanych wysokości

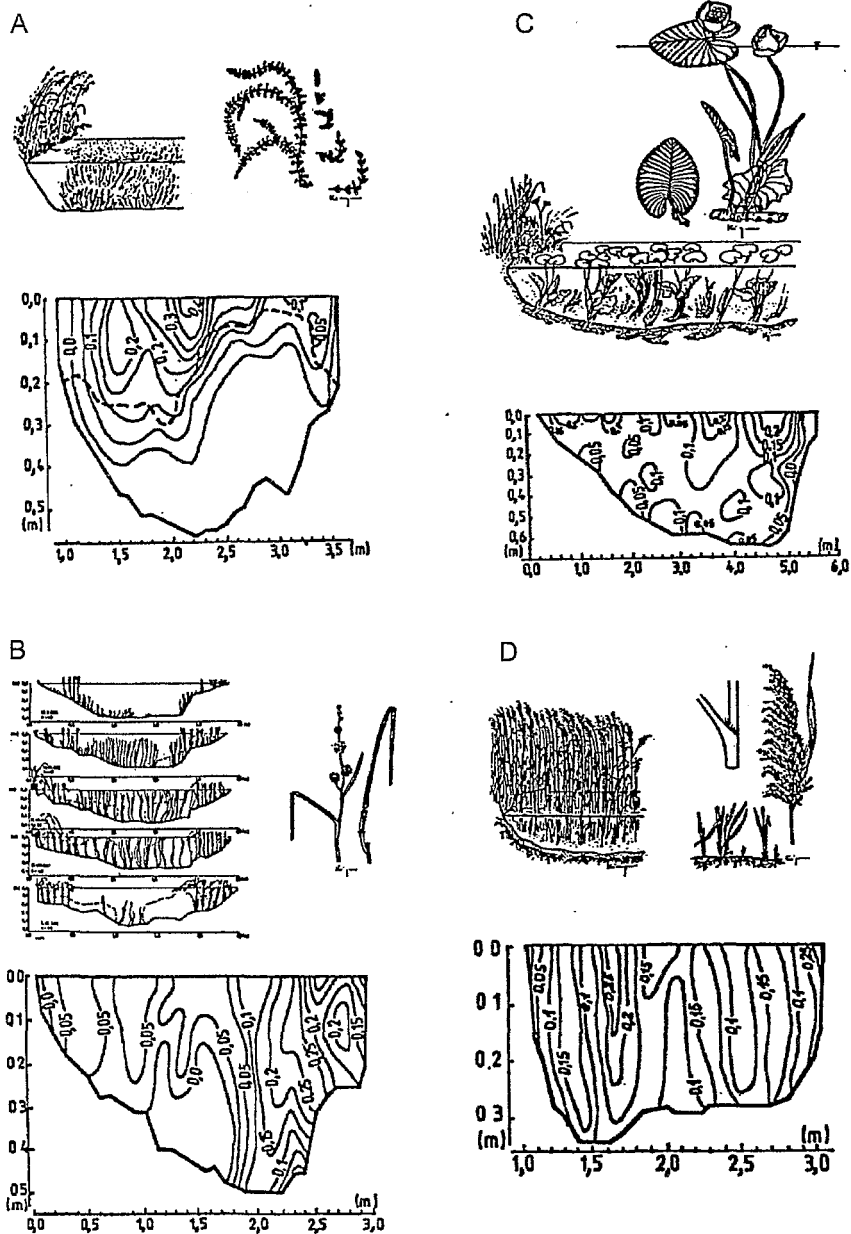
TABELA 2. Uśredniona ocena nasilenia sezonowego rozwoju fitocenozy grążela w wybranych przekrojach: 1 RS, 2 RS – rzeka Sidra, wodowskaz Poturbowszczyzna, 2RJ, 3RJ – rzeka Biebrza, wodowskaz Jastrzębna. PPP – powierzchnia przekroju poprzecznego, PD – pokrycie dna

TABLE 2. Average estimate of water surface covering – PD, and percentage of river cross-section covering – PPP in the typical, representative plot association with *Nuphar luteum*: 1RS, 2RS – Sidra river, Poturbowszczyzna stage-recorder, 2RJ, 3RJ – Biebrza river, Jastrzębna stage-recorder

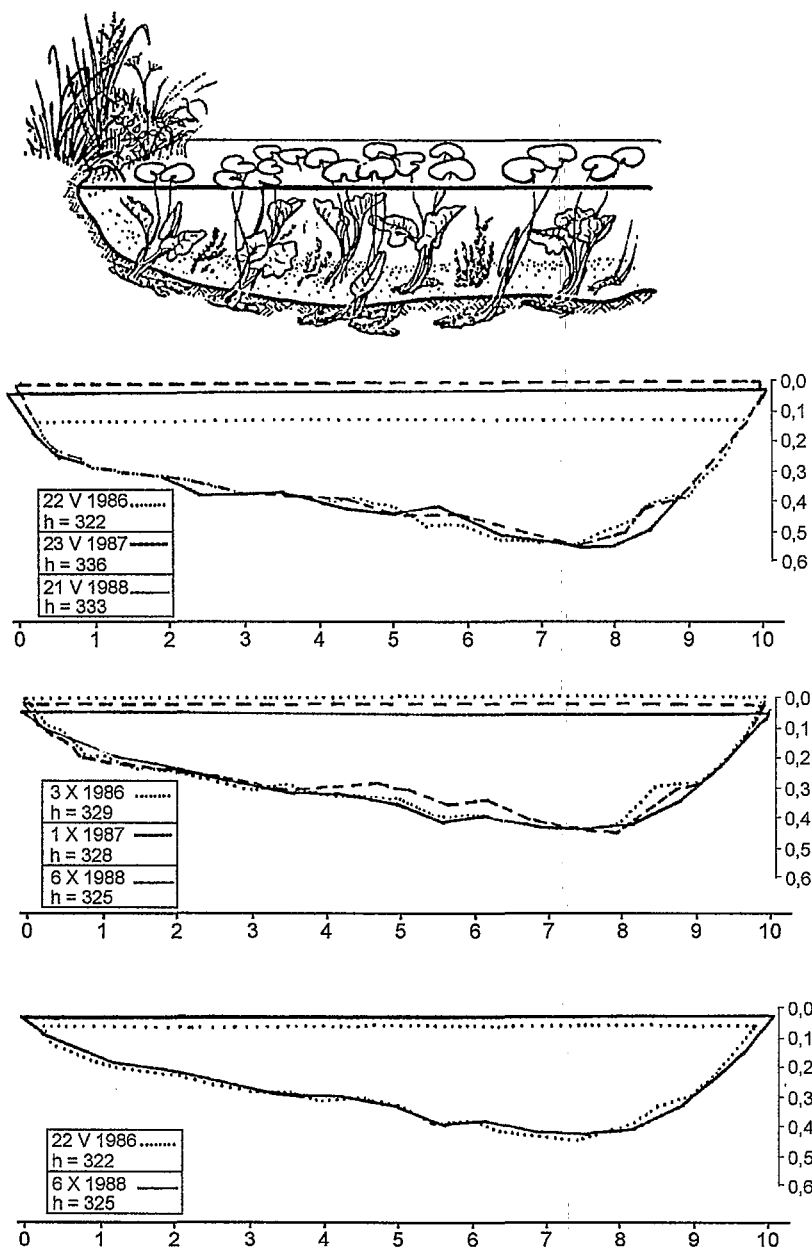
Lp. No	Data Datum			% PPP	% PD
	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day		
1	1976	Maj May	22	–	–
2	1977	Maj May	23	5	20
3	1978	Maj May	22	5	12
Średnio average		Maj May		5	16
4	1976	Czerwiec Juni	17	12	50
5	1977	Czerwiec Juni	15	11	30
6	1978	Czerwiec Juni	14	12	40
Średnio average		Czerwiec Juni		12	40
7	1976	Lipiec Juli	16	30	100
8	1977	Lipiec Juli	19	23	100
9	1978	Lipiec Juli	1	25	100
Średnio average		Lipiec Juli		26	100
10	1976	Sierpień August	19	30	100
11	1977	Sierpień August	12	38	100
12	1978	Sierpień August	19	30	100
Średnio average		Sierpień August		32	100
13	1976	Wrzesień September	13	23	80
14	1977	Wrzesień September	6	34	90
15	1978	Wrzesień September	16	21	60
Średnio average		Wrzesień September		26	76
16	1976	Październik October	1	17	30
17	1977	Wrzesień September	27	11	30
18	1978	Październik October	3	5	15
Średnio average		Początek października October beginning		11	25
19	1976	Październik	23	–	–
20	1977	Październik	12	–	–
21	1978	Październik	17	–	–
Średnio average		Druga dekada października October second decade		–	–

każdego wybranego punktu w zbiorowisku roślin – tj. stanowiska łaty. Po dowiązaniu do innego reperu, lub powrocie do reperu wyjściowego, można wyznaczyć

wysokości wyrównane, a tym samym głębokość wody, grubość warstwy osadu dennego (rumowiska) oraz rozmieszczenia roślinności na różnych głębokościach



RYSUNEK 1. Wybrane zbiorowiska roślin, gatunki wodzące i oddziaływanie roślinności na ruch wody:
 A – moczarki kanadyjskiej *Elodea canadensis*, B – grążela żółtego *Nuphar luteum*, C – jeżogłówki prostej
Sparganium simplex, D – trzciny pospolitej *Phragmites australis*
 FIG. 1. Selected plant community, leading species and vegetation influence on water moving: A – *Elodea canadensis*, B – *Nuphar luteum*, C – *Sparganium simplex*, D – *Phragmites australis*



RYSUNEK 2. Zmiany konfiguracji koryta rzeki Sidry pod fitocenozą z grążelą w przekroju badawczym 1 RS (wodowskaz Poturbowszczyzna)

FIG. 2. The river bed configuration changes under *Nuphar luteum* phytocenosis in the 1RS cross-section (Sidra river – Poturbowszczyzna stage-recorder)

koryta. Zastosowany program NIW-TECH3 ma następujące zalety: jest łatwy w obsłudze, umożliwia przeprowadzanie kontroli na każdym etapie pomiaru, pozwala na wyrównanie mierzonych przewyższeń i wysokości punktów oraz szybkie przetwarzanie i zestawianie danych pomiarowych i uzyskanych wysokości.

Mając dane w postaci głębokości wody w poszczególnych pionach przekroju poprzecznego i rzędnej x liczonej od jednego z brzegów ciek (pomierzone np. tachimetrem) można obliczyć nie tylko pole powierzchni przekroju poprzecznego koryta rzeki, jego część zajęta przez roślinność ale, jeśli zachodzi taka potrzeba, grubość nagromadzonych osadów. Obliczenia te wykonuje się w terenie za pomocą komputera polowego PSION ORGANISER, wykorzystując do tego celu specjalistyczny program LOR.

Badania okrywy roślinnej i procesu zarastania akwenów

Jak wynika z wieloletnich badań (Pachuta i Molski 1990, Pachuta 1992) korzystną metodą oceny zarówno zaawansowania sezonowego rozwoju, jak i zasięgu zbiorowisk jest określenie (tab. 1):

- długości sezonu wegetacyjnego roślin dominujących w zbiorowisku SW,
- czasu oddziaływania roślinności na ruch wody i morfologię koryt rzecznych SO,
- okresów szczególnego nasilenia wegetacji i czasu trwania piętrzenia wegetacyjnego PW,
- pokrycia powierzchni koryta rzecznego przez fitocenozę (tab. 2),

- oddziaływanie zbiorowiska na ruch wody (rys. 1.).

Chociaż sezon wegetacyjny dla większości gatunków roślin w Polsce rozpoczyna się przeciętnie w kwietniu, a kończy w październiku, to dla niektórych trwa on znacznie dłużej. W przypadku niewystąpienia zjawisk zamarzania i zejścia pokrywy lodowej sezon wegetacyjny np. moczarki kanadyjskiej *Elodea canadensis*, w wodach płynących może trwać cały rok (Pachuta i Molski 1992).

Czas oddziaływania na ruch wody i morfologię koryt rzecznych jest zazwyczaj krótszy od sezonu wegetacyjnego, jednak w przypadku np. trzciny pospolitej *Phragmites australis* jest znacznie dłuższy i również może trwać cały rok.

Największym przybywaniem biomasy i najbujniejszym rozwojem roślin charakteryzuje się faza kwitnienia. W rzekach dorzecza np. górnej Biebrzy pełnia rozwoju roślin wodnych i szuwarowych następuje w około dwumiesięcznym okresie (od połowy czerwca do połowy sierpnia) i jest to czas piętrzenia wegetacyjnego. Zjawisko to jest bardzo istotne z punktu widzenia wzmożonego zapotrzebowania na wodę roślin uprawnych i hodowli roślinnych.

Koniec pełni wegetacji większości roślin nastaje wraz z końcem września. Jednak np. fitocenozy moczarki kanadyjskiej i trzciny pospolitej, w niektórych latach, mogą przez cały rok piętrzyć wodę w prawie jednakowym stopniu.

Dla wielu dziedzin naukowych i w praktyce inżynierskiej istotna jest powierzchnia jaką zajmują rośliny wodne. Zasięg i pokrycie powierzchni koryta rzecz- nego przez fitocenozę oraz oszacowanie

części przekroju poprzecznego zajętego przez rośliny (rys. 1) można określić za pomocą wspomnianych metod geodezyjnych: GPS, niwelacji i tachimetrii. Potrzebne są do tego jednak specjalne programy komputerowe, utworzone do celu badań zbiorowisk roślin.

Przykładowo zaobserwowano (Pachuta 1990), że zacienianie dna koryta przez liście grążela jest szczególnie silne od czerwca do września (w trzyletnim okresie badawczym temperatura i warunki pogodowe były typowe dla lat chłodniejszych i cieplejszych). Grązel wpływał wtedy eliminująco na inne gatunki roślin i zmniejszał zarastanie koryt. Ponadto kłącza grążela dobrze stabilizują podłoże dna cieków. W prezentowanym na rysunku 2 jednym z typowych przekrojów zjawiska akumulacji i erozji, zachodzące w ciągu roku, miały bardzo podobne nasilenie i wystąpiły w niewielkim stopniu. W ciągu trzech lat badawczych procesy erozji koryta i akumulacji rumowiska rzeczniczego nie zmieniły w zasadniczy sposób konfiguracji dna. Rezultaty pomiarów ruchu dna w okresie trzech lat w jednym z przekrojów hydrometrycznych, na dopływie Biebrzy, przedstawia rys. 2.

Niewielkie zmiany położenia i kształtu dna świadczą o silnym wiązaniu podłoża przez kłącza i korzenie grążela oraz ochronnym działaniu liści pływających i zanurzonych. Rozbijając główny nurt na kilka niewielkich strumieni, przyczyniały się one do ograniczenia obszarów większych prędkości wody i rozpraszania energii.

Przykład zastosowania programu NIWTECH3

Poniżej przedstawiono skrócony opis funkcjonowania programu NIWTECH3 proponowanego między innymi do wyznaczania kształtu koryta rzeki lub dna jeziora. Jednym z najważniejszych błędów instrumentalnych wpływających na dokładność pomiarów niwelacyjnych jest błąd nierównoległości osi celowej do osi libeli w niwelatorach libelowych lub odpowiadający mu błąd quasi-horyzontu dla niwelatorów samopoziomujących. Opcja „Rektyfikacja”, wybrana z menu głównego programu NIWTECH3, pozwala na szybką kontrolę lub eliminację tych błędów.

Rejestrację danych rozpoczynamy od zadeklarowania nazwy pliku, w którym przechowywane będą wszystkie pośrednie odczyty i ostateczne wyniki. Następnie należy zdecydować się na wybór jednego z wariantów:

WYBIERZ WARIANT

Początek pomiaru

Dane wyjściowe

Rektyfikacja

Wyjście

Jeżeli przystępujemy pierwszy raz do pomiaru konkretnej linii pomiarowej, należy wybrać opcję „Dane wyjściowe”. W opcji tej należy zapisać zarówno wybrane dane odnoszące się do sprzętu, jakim wykonywany ma być pomiar, jak i dane charakteryzujące mierzony obiekt.

Właściwy pomiar uruchomiony zostaje po wyborze wariantu „Początek pomiaru”. W tym miejscu należy podać nazwy reperów, między którymi wykonywana ma być niwelacja i numer mierzonego odcinka. Nazwy te muszą być ściśle określone, gdyż wg nich następuje porównanie wyników niwelacji w kierunku TAM i POWRÓT. Kolejnym etapem jest podanie wysokości reperu wyjściowego (wstecz).

Po wykonaniu odczytów z łąt wg zadanej z góry kolejności, na ekranie komputera ukażą się przewyższenia, różnice między przewyższeniami uzyskanymi z pierwszego i drugiego podziału (pomiaru), przewyższenie średnie oraz wysokość stanowiska łąty. Jeżeli warunki geometryczno-analityczne nie zostaną zachowane (za niska celowa, zbyt duża rozbieżność między przewyższeniami uzyskanymi dla pierwszego i drugiego podziału lub pomiaru), sygnał dźwiękowy poinformuje o błędzie i pomiar należy powtórzyć zgodnie z informacją podaną na ekranie. Po zaakceptowaniu wyniku pomiaru, na stanowisku należy wybrać jedną z przedstawionych opcji:

WYBIERZ OPCJĘ

Nowe stanowisko

Koniec pomiaru

Bagnet

Ostatnie stanowisko

Wyjście

Wybór wariantu „Nowe stanowisko” powoduje powielenie czynności wykonanych na poprzednim stanowisku. Opcję „Bagnet” wybrać należy wtedy, gdy z tego samego stanowiska chcemy wykonać pomiar wysokości innego punktu.

Opcja „Ostatnie stanowisko” jest wyznaczona, gdyż tylko w tym przypadku nie ma ograniczenia co do wysokości celowej.

Wybór wariantu „Koniec pomiaru” spowoduje, że na ekranie komputera ukaże się ostateczna różnica wysokości wraz ze wszystkimi wyodrębnionymi poprawkami. W tym miejscu należy zdecydować się na dalszy tryb postępowania. Jeżeli wysokość reperu, do którego „doszliśmy” ciągiem pomiarowym jest znana, wówczas należy wszystkie wysokości wyrównać. W tym celu z dwóch podanych opcji wybieramy „Wyrównanie”:

WYBIERZ OPCJĘ

Niwelacja ciągu

Wyrównanie

Wszystkie zapisywane dane pomiarowe oraz ostateczne wyniki niwelacji zostają zapisane w zadeklarowanym na początku zbiorze wyników lub w zbiorach tworzonych automatycznie. W dzienniku pomiarowym w tabeli wyników obok odczytów łąt podane są numery lub nazwy stanowisk łąt, przewyższenia średnie i wysokości reperów.

Przykład zastosowania programu LORNETA

W badaniach roślinności często zachodzi potrzeba określenia powierzchni zbiorowiska. Zwykle dokładność pomiaru, wobec dynamiki stanu roślinności, nie musi być zbyt duża. Bardzo przydatna w takim przypadku może być lornetka firmy Leica – instrument o nazwie Geovit. Lornetka ta wyposażona jest w dalmierz

świetlny, nie wymagający reflektora zwrotnego i urządzenie określające azymut magnetyczny. Autorzy tego opracowania sporządzili przedstawiony poniżej program LORNETA, opracowany w języku OPL na komputer PSION Organiser LZ64, dzięki któremu można określić powierzchnię (zasięg) zbiorowiska na podstawie współrzędnych. Program ten służy do opracowywania różnego typu pomiarów wykonywanych za pomocą lornetki pomiarowej Geovit.

Na początku funkcjonowania programu należy zdecydować, czy chcemy, aby wszystkie dane oraz pośrednie i ostateczne wyniki obliczeń były zapisywane w deklarowanym zbiorze wyników:

ZAPISUJESZ WYNIKI DO PAMIĘCI?

NIE TAK

Po wyborze opcji „TAK” rejestrację danych rozpoczynamy od zadeklarowania nazwy pliku, w którym przechowywane będą wszystkie pośrednie odczyty i ostateczne wyniki pomiarów. W tym miejscu należy wybrać również nośnik pamięci, na którym rejestrowany będzie deklarowany zbiór. Następnie należy zdecydować się na wybór jednego z wariantów:

WYBIERZ WARIANT

Początek pomiaru

Dane wyjściowe

Wyjście

Jeżeli przystępujemy pierwszy raz do pomiaru, należy wybrać opcję „Dane wyjściowe”. W opcji tej należy zapisać zarówno wybrane dane odnoszące się do sprzętu, jakim wykonywany ma być po-

miar, jak i dane charakteryzujące mierzony obiekt.

Właściwy pomiar uruchomiony zostaje po wyborze wariantu „Początek pomiaru”. Należy więc zdecydować się na jedną z proponowanych opcji:

WYBIERZ OPCJĘ

Odległość i azymut

Pole powierzchni

Wysokość obiektu

Odległość od prostej

Powierzchnia elewacji

Współrzędne punktu

Wyjście z programu

Opcja „Pole powierzchni” pozwala określić powierzchnię (lub zasięg) zbiorowiska na podstawie współrzędnych lub na podstawie powierzchni poszczególnych trójkątów określonego wielokąta. Po wyborze opcji „Pole powierzchni” należy wybrać jeden z wariantów:

WYBIERZ WARIANT

Pomiar odległości i azymutów

Pomiar odległości

Wyjście

Wariant „Pomiar odległości” jest mniej przydatny i bardziej kłopotliwy, gdyż wymaga od obserwatora obecności na wszystkich charakterystycznych punktach danego zbiorowiska. Wariant „Pomiar odległości i azymutów” jest zdecydowanie korzystniejszy, gdyż w praktyce pozwala na określenie powierzchni zbiorowiska na podstawie obserwacji jego punktów charakterystycznych z jednego stanowiska. Należy jednak wcześniej wybrać jedną z dwóch możliwości:

CZY STANOWISKO JEST NAROŻNIKIEM DZIAŁKI (ZBIOROWISKA) ? TAK NIE

Następnie wykonuje się pomiar azymutów i odległości do wszystkich charakterystycznych punktów danego zbiorowiska. Pomierzone wartości rejestruje się na komputerze polowym, dzięki czemu automatycznie w dowolnym układzie obliczane są współrzędne tych punktów. Wybór opcji „Koniec Pomiaru” pozwala na obliczenie pola powierzchni mierzonego obszaru. Na ekranie komputera pojawia się nie tylko pole powierzchni, ale również błąd wyznaczonego pola na podstawie błędów wyznaczenia poszczególnych punktów charakterystycznych. Metoda ta jest bardzo efektywna, zwłaszcza w przypadku określania powierzchni roślin wodnych lub bagiennych, gdy nie ma możliwości dostępu do granicy ich zasięgu.

Powyższe oprogramowania zostały szczegółowo przedstawione na XXIV Kongresie GPS (Pachuta i Pachuta 1999a, b).

Podsumowanie i wnioski

Prezentowane zbiorowiska moczarki kanadyjskiej *Elodea canadensis*, grążela żółtego *Nuphar luteum*, jeżogłówki prostej *Sparganium simplex*, trzciny pospolitej *Phragmites australis* są jednymi z najczęściej spotykanych w Polsce i w Europie. Ich znaczenie w ekosystemach wodnych polega m.in. na zarastaniu koryt rzecznych i jezior, zaciemnianiu dna oraz ograniczaniu rozwoju glonów, a także

niektórych hydrofitów, utrwalaniu podłoża i ograniczaniu erozji dennej oraz współtworzeniu zbiorowisk o niepowtarzalnych walorach przyrodniczych i estetycznych. Powyższe względy powodują, że niezbędna dla wielu dziedzin jest ocena procesu zarastania. Oszacowanie intensywności zarastania cieków lub akwenu oraz sezonowego nasilenia wegetacji jest bardzo trudne ze względu na dużą różnorodność i często niedostępność zbiorowisk. Badania roślinności wymagają pomiarów m.in. zasięgu i powierzchni poszczególnych zbiorowisk, położenia poziomego i pionowego różnych elementów (roślin i ich skupisk), a także kształtu dna akwenu.

Ocenę taką można uzyskać stosując geodezyjne techniki pomiarowe. W pracach terenowych związanych z określaniem położenia i zasięgu danego zbiorowiska można wykorzystać metody satelitarne (GPS). Metody statyczne, jako zbyt dokładne, stosowane mogą być w wyjątkowych przypadkach, gdy zaistnieje taka potrzeba. Natomiast w przypadku wyznaczenia pozycji lub powierzchni w czasie rzeczywistym, duże perspektywy wykorzystania dają metody RTK (real time kinematic). Pomiary za pomocą niewielkich odbiorników typu Pathfinder na pewno równie szybko znajdą użytkowników.

Przygotowane przez autorów oprogramowania LOR, NIWTECH3 i LOR-NETA, na komputer polowy PSION LZ 64, pozwalają na zapisanie i wyznaczenie wysokości i odległości badanych punktów zbiorowisk bezpośrednio w terenie, na bieżącą kontrolę pomiarów i na oceny:

- zasięgu zbiorowiska – przez pomiary GPS, tachimetryczne bądź przy zastosowaniu lornetki Geovit i rejestrację danych pomiarowych oraz obliczeń w programach NIWTECH3 i LORNETA, na komputerze polowym PSION LZ 64,
- pokrycia powierzchni koryta rzecznego przez zbiorowisko – metody jak wyżej,
- powierzchni przekroju poprzecznego koryta zajętej przez roślinność – z wykorzystaniem pomiarów tachimetrycznych lub niwelacji geometrycznej i trygonometrycznej – przy użyciu rejestratorów polowych, wyposażonych w specjalistyczne oprogramowanie NIWTECH3 i LOR.

Zastosowanie powyższego oprogramowania na komputer polowy pozwala między innymi na:

- wyeliminowanie potrzeby prowadzenia klasycznego dziennika pomiarowego,
- rejestrację wszystkich danych pomiarowych w przejrzystej tabelarycznej postaci,
- kontrolę wykonywanych pomiarów na każdym etapie prac terenowych,
- natychmiastowe uzyskiwanie ostatecznych wyników pomiarów (wysokości, pola przekrojów, głębokości dna).

Literatura

- BRYŚ H., PACHUTA A., ZIELINA L. 1997: *Problem automatyzacji procesu pomiarowego w aspekcie uwzględniania poprawek w niwelacji precyzyjnej*. III Konf. Nauk.-Techn. „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”. Warszawa, 20–21 III 1997.
- Flora der Schweiz und Angrenzender Gebiete 1967: Birkhauser Verlag, Basel und Stuttgart, Hess E., Landt E., Hirzel R.
- PACHUTA A. 1996: Instrukcja obsługi programu NIWTECH do rejestracji i wstępnego przetwarzania pomiarów niwelacji technicznej 3 i 4 klasy. Warszawa (nie publikowane).
- PACHUTA K. 1990: *Macrophytes of river beds and riparian zone of rivers in the upper Biebrza basin*. Ann. WAU Land Reclam, 25; s. 93–106.
- PACHUTA K., MOLSKI K. 1992: *The effect of communities with Elodea canadensis on river flow*. Pol. Arch. Hydrobiol. 39; 1; 51–64.
- PACHUTA A., PACHUTA K. 1999a: *Rivers plant communities and the application of current geodetic methods for their localisation*. G051. EGS XXIV General Assembly conference The Hague, 19–23 April 1999. Geophysical Research Abstracts: 211.
- PACHUTA A., PACHUTA K. 1999b: *The geodetic methods in Nuphar luteum communities ranging in the chosen cross – sections of upper Biebrza tributaries*. G052. EGS XXIV General Assembly conference The Hague, 19–23 April 1999. Geophysical Research Abstracts: 211.
- PODBIELKOWSKI Z., TOMASZEWICZ H. 1996: *Zarys hydrobotaniki*. Warszawa, PWN.
- HASLAM S.M. 1978: *River plants*. Cambridge Univ. Press.

Summary

The geodetic methods use and automatic measurements in hydrophyte communities investigation. Very important in river ecosystems consists, in ecological investigation, for hydrologic practice and environment protection is overgrowing intensivity determination. The community ranges, vertical and horizontal differentiation of plant species, plant coverage and riverbed shape have to be measured. The modern methods (GPS -RTK), being used in geodetic,

would be very helpful. The code levellers or classical levellers should be used for cross-section datum's estimation. The software proposed by authors allows for all objects highness estimation in field conditions and actual levelling measure control. The LORNETA programme was made by A. Pachuta and prepared for OPL language for the field computer PSION ORGANISER LZ 64. This programme may be used for the interpreta-

tion of all the measurement being made by the GEOVIT field glasses.

Authors' address:

K. Pachuta, A. Pachuta
Warsaw Agricultural University – SGGW
02–786 Warsaw, Nowoursynowska 166
Poland
E-mail: pachuta@alpha.sggw.waw.pl
E-mail: igga@gik.pw.edu.pl

Zbigniew POPEK

Katedra Budownictwa Wodnego SGGW
Department of Hydraulic Structures WAU

Stanowisko do pomiaru transportu rumowiska wlezonego **Bedload transport measurements station**

Wprowadzenie

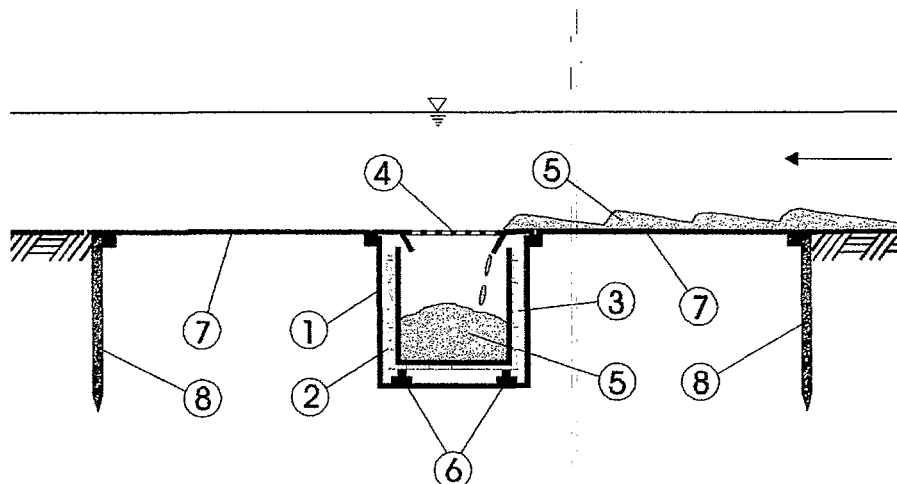
Najczęściej stosowanym w praktyce hydrometrycznej przyrządem do pomiaru natężenia ruchu rumowiska wlezonego po dnie cieku są łapaczki. Po opuszczeniu łapaczki na dno cieku do jej wnętrza dostaje się tylko pewna ilość rumowiska, zależna od współczynnika sprawności łapaczki. Łapaczka umieszczona na dnie cieku powoduje zaburzenia strumienia wody przy dnie i powstawanie zawirów w wyniku czego część rumowiska wlezonego omija otwór wlotowy łapaczki. Wartość współczynnika sprawności łapaczek wynosi na ogół 0,40–0,60 i zależy od konstrukcji i wielkości przyrządu. Błędy pomiaru wynikają również z charakteru ruchu rumowiska wlezonego. Materiał piaszczysty poruszający się w postaci form dennych wykazuje zmienne natężenie ruchu w poszczególnych punktach dna i w czasie nawet wtedy, gdy warunki hydrauliczne w korycie są ustalone.

Omówione poniżej stanowisko pomiarowe pozwala na wyeliminowanie błędów pomiaru wykonywanego za po-

mocą łapaczki. Pomiar może odbywać się w sposób ciągły przez kilka, kilkanaście dni, jednocześnie na prawie całej szerokości dna lub w wybranych pionach pomiarowych.

Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe zostało zainstalowane jesienią 1998 roku w korycie rzeki Zagożdżonki w miejscowości Czar-na, w zlewni badawczej Katedry Budownictwa Wodnego. Przekrój pomiarowy zlokalizowany jest na prostoliniowym, naturalnym odcinku rzeki w odległości ok. 200 m powyżej profilu wodowskazowego, który zamyka zlewnię o powierzchni 23,4 km². Stanowisko pomiarowe zostało wykonane w postaci tzw. łapacza rumowiska składającego się z dwóch otwartych od góry zbiorników umieszczonych w dnie koryta. Na rysunku 1 pokazano schematyczny przekrój podłużny stanowiska pomiarowego. W zbiorniku osłonowym (1) znajduje się rama w formie kratownicy (2), stanowiąca element nośny dla dwóch ustawionych



RYSUNEK 1. Schemat urządzenia pomiarowego: 1 – zbiornik osłonowy, 2 – rama nośna, 3 – zbiornik na rumowisko, 4 – pokrywa zbiornika (otwór wlotowy zabezpieczony siatką), 5 – rumowisko wleczzone, 6 – czujniki wagowe, 7 – podłoga drewniana, 8 – palisada drewniana

FIG. 1. Scheme of measurement device: 1 – protecting box, 2 – bearing frame, 3 – tank for sediment, 4 – tanks cover with steel net, 5 – sediment, 6 – weight sensors, 7 – wooden floor, 8 – wooden palisade

obok siebie zbiorników na rumowisko (3). Zbiorniki mają jednakowe wymiary: $0,75 \times 0,75$ m i wysokość $0,63$ m; całkowita pojemność obu zbiorników wynosi $0,709 \text{ m}^3$. Od góry zbiorniki przykryte są pokrywą (4) z dwoma otworami wlotowymi o wymiarach $0,7 \times 0,7$ m, zabezpieczonymi siatką stalową o wymiarach oczek 5×5 cm. Łączna szerokość otworów wlotowych ($B_o = 1,4$ m) stanowi około 80% szerokości dna koryta ($b_d = 1,8$ m) w przekroju pomiarowym. Szerokość wlotu do zbiorników może być zmniejszana, można również za pomocą blach osłonowych sytuować otwór wlotowy w dowolnym miejscu na szerokości każdego zbiornika pomiarowego. Po całkowitym wypełnieniu się zbiorników rumowiskiem (5) są one opróżniane przy pomocy zatapialnej pompy odśrodkowej.

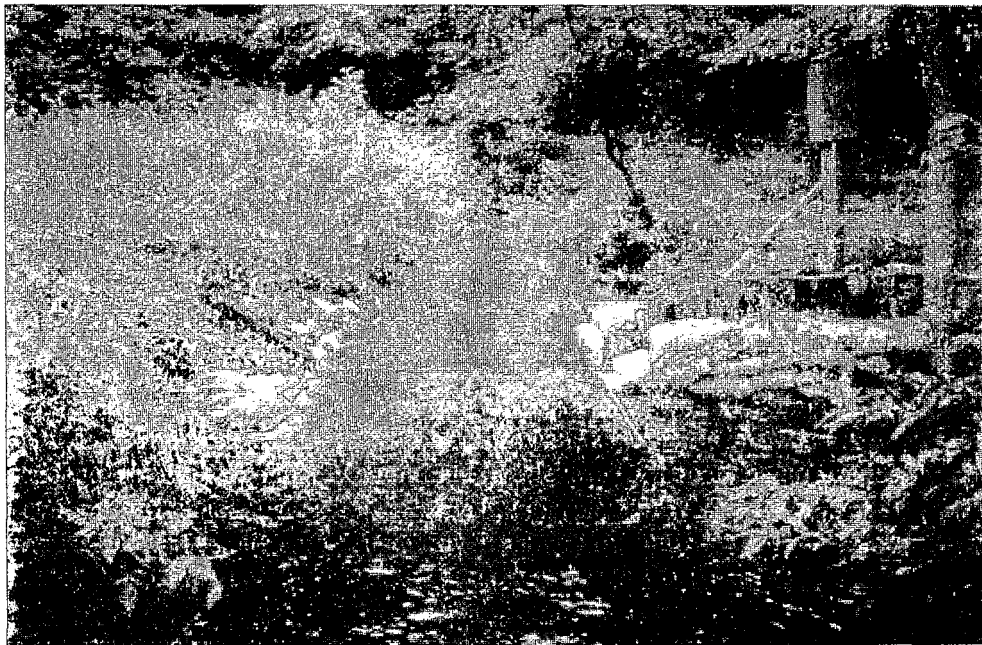
Pomiar natężenia ruchu rumowiska wleczanego odbywa się przez rejestrację zmian ciężaru rumowiska (5) zgroma-

żonego w zbiornikach pomiarowych. Ciężar ten jest mierzony przez trzy czujniki tensometryczne (6) przymocowane do spodu ramy (2) i oparte na dnie zbiornika osłonowego (1). Układ pomiarowy mierzy ciężar rumowiska z uwzględnieniem wyporu. Czujniki obciążenia współpracują z miernikiem cyfrowym i miernikiem napięciowym z sygnałem wyjściowym $1-5 \text{ V}$. Ciężar rumowiska określany jest na podstawie zależności ustalonej metodą tarowania układu pomiarowego pomiędzy napięciowym sygnałem elektrycznym a odpowiadającym mu obciążeniem. Wyniki pomiarów są rejestrowane z krokiem czasowym 10 minut w elektronicznym rejestratorze danych, który służy również do zapisu innych parametrów mierzonych w przekroju wodowskazowym (stan i temperatura wody) oraz na stacji meteorologicznej. Dane przechowywane są w wewnętrznej pamięci rejestratora, o pojemności 128 kB , a ich transfer do komputera typu

laptop klasy IBM PC odbywa się przez złącze szeregowo.

Koryto rzeki w rejonie stanowiska pomiarowego zostało zabezpieczone przed rozmyciem. Na dnie koryta, w górę i w dół rzeki wykonano podłogę (7) z desek drewnianych, zamocowaną z jednej strony do zbiornika osłonowego (1) a z drugiej – do palisady drewnianej (8). Dodatkowo grunt dna chroniony jest przed rozmyciem za pomocą włókniny umieszczonej pod podłogą. Od strony wody górnej, w linii ściany zbiornika osłonowego wykonano na dnie i skarpach koryta drewnianą ściankę szczelną. Skarpy koryta ubezpieczono za pomocą worków z piaskiem. Na rysunku 2 pokazano widok stanowiska od strony wody górnej.

Opisane wyżej stanowisko pomiarowe jest pierwszym tego typu w Polsce. Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że jest to również stanowisko unikatowe w świecie ze względu na charakter rzeki, w jakiej zostało zainstalowane. Konstrukcja urządzenia pomiarowego została zaprojektowana na podstawie analizy podobnych instalacji (Popek i Gładecki 1995). Jak podaje Habersack (1994) na świecie podobne instalacje pomiarowe były stosowane w 6 przypadkach, w korytach rzek i potoków górskich i podgórskich. W badaniach Habersacka (1994), prowadzonych na rzece Drawie w Austrii, zbiornik gromadzący rumowisko wleczone był ustawiony na poduszce ciśnieniowej podłączonej do manometru. Wzrost ciężaru rumowiska w zbiorniku



RYSUNEK 2. Widok stanowiska pomiarowego od strony wody górnej

FIG. 2. Downstream view of measurement station

powodował zmianę wskazań manometru i na tej podstawie określano natężenie transportu rumowiska. Podobny układ był wcześniej stosowany w pomiarach na rzece Nahal Yatir w Izraelu (Laronne i in. 1992). Natomiast pomiary prowadzone w USA na potoku Caspar Creek w północnej Kalifornii wykazały dużą zawodność systemu pomiarowego opartego na poduszce ciśnieniowej (Lewis 1991). W czasie pomiarów często dochodziło do przebić poduszki oraz do zapowietrzania się układu ciśnieniowego. Dlatego też zmieniono układ pomiarowy i zastosowano czujniki tensometryczne, a więc podobnie jak w stanowisku pomiarowym w Czarnej.

Wstępne wyniki badań

Pierwszy pomiar natężenia ruchu rumowiska wleczonego wykonano w ciągu 19 dób, od 12 listopada do 1 grudnia 1998 roku. Pomiar wykonano przy ograniczonej szerokości otworu wlotowego do zbiorników $b_o = 0,14$ m (2 otwory po 7 cm). Osie szczelin otworów wlotowych były usytuowane symetrycznie, w odległości 0,3 m od środka przekroju pomiarowego i w odległości 0,6 m od dolnej krawędzi obu skarp. Niestety, na początku pomiaru nastąpiła awaria urządzenia pomiarowego, dlatego też nie jest znany czasowy przebieg zmian ciężaru rumowiska zgromadzonego w zbiornikach. Wiadomo tylko, że w po 19 dobach ciężar rumowiska w zbiornikach z uwzględnieniem wyporu wyniósł $G = 6,38$ kN, co odpowiada objętości $V_p = 0,563$ m³. Jeżeli przyjmiemy założenie, że tak określona objętość rumowiska, która prze-

mieściła się na szerokości $b_o = 0,14$ m, jest miarodajna dla całej szerokości dna, wówczas można obliczyć całkowitą objętość rumowiska, jaka została przetransportowana w ciągu 19 dób:

$$V_c = V_p \frac{b_d}{b_o} = 0,563 \frac{1,8}{0,14} = 7,24 \text{ m}^3$$

tj. $V_d = 0,381$ m³/dobę

i $Q_r = 4,41 \cdot 10^{-6}$ m³/s.

Obliczenia porównawcze

Dla warunków hydraulicznych występujących w przekroju leżącym w odległości 25 m powyżej stanowiska pomiarowego wykonano obliczenia wielkości transportu rumowiska wleczonego według wzorów empirycznych, stosowanych w korytach z dnem piaszczystym. Do obliczeń zastosowano znane wzory: Skibińskiego, Meyer-Petera i Müllera, Van Rijna oraz Engelunda i Hansena.

Wzór Skibińskiego (1981), wyprowadzony na podstawie pomiarów wykonanych w nizinnych rzekach środkowej Polski, po dokonaniu przekształceń przyjmuje postać:

$$q_r = 6,18 \cdot 10^{-5} \cdot C_d^{0,134} \cdot h^{-0,223} \cdot v_s^{3,40} \quad (1)$$

gdzie:

q_r – intensywność transportu rumowiska [m³ · s⁻¹ · m⁻¹],

C_d – cecha dominacji materiału dennego [-],

h – głębokość wody w pionie [m],

v_s – średnia prędkość przepływu wody w pionie (m · s⁻¹)

Cechę dominacji C_d oblicza się ze wzoru:

$$C_d = \frac{d_{90} \cdot d_{10}}{d_{50}^2} \quad (2)$$

gdzie:

d_{10} , d_{50} , d_{90} – średnice ziarn materiału dennego, których zawartości w próbie wraz z mniejszymi wynoszą wagowo: 10, 50 i 90%.

Wzór Meyer-Petera i Müllera, przekształcony względem intensywności wleczenia, przyjmuje postać (Ciepielowski 1995):

$$q_r = \frac{25,1}{(1-p) \cdot (s-1)} \left[\left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{1,5} \cdot R_s \cdot J - 0,047 \cdot (s-1) \cdot d_m \right]^{1,5} \quad (3)$$

gdzie:

q_r – intensywność transportu rumowiska [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$],

p – współczynnik porowatości materiału wleczonego w odkładzie [-],

s – względny ciężar rumowiska wleczonego [-]; ($s = \gamma_r / \gamma_w$; γ_r – ciężar właściwy rumowiska, γ_w – ciężar właściwy wody),

k_s – współczynnik szorstkości dna [$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$],

k_r – współczynnik szorstkości ziarn materiału rumowiska [$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$],

R_s – promień hydrauliczny tej części przekroju poprzecznego, w którym przepływ wody oddziałuje na dno i wpływa na intensywność wleczenia [m],

J – spadek hydrauliczny [-],

d_m – średnica miarodajna ziarn rumowiska [m].

Wartości współczynników k_s i k_r oblicza się z zależności:

$$k_s = \frac{1}{n} = \frac{V_s}{R_s^{2/3} \cdot J^{1/2}}$$

$$k_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

gdzie:

n – współczynnik szorstkości Manninga [$\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$],

V_s – średnia prędkość przepływu wody w części przekroju oddziałującej na dno [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], oznaczenia pozostałych parametrów jak do wzorów (1) i (3).

Równanie Van Rijna (za Fisher 1995), stosowane dla ziarn materiału dennego o średnicach 0,2–2 mm, wyraża koncentrację rumowiska wleczonego C_r w jednostkach ppm (czyli stosunek wagowy ilości cząstek rumowiska na milion cząstek wody):

$$C_r = \frac{5,25 T_r^{2,1}}{V \cdot h \cdot D_r^{0,3}} \sqrt{s-1} \cdot d_{50}^{1,5} \quad (4)$$

gdzie:

C_r – koncentracja rumowiska wleczonego [ppm],

V – średnia prędkość przepływu wody [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

h – głębokość wody [m],

D_r – bezwymiarowy parametr wielkości ziarn rumowiska, obliczany ze wzoru:

$$D_r = d_{50} \left[\frac{(s-1) \cdot g}{v^2} \right]^{1/3} \quad (5)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 v – współczynnik lepkości kinematycznej wody [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],
 d_{50} , s – jak we wzorach (2) i (3),
 T_r – parametr transportu rumowiska, wyrażony wzorem:

$$T_r = \frac{V_*^2 - V_{*kr}^2}{V_{*kr}^2}$$

gdzie:

V_* – prędkość dynamiczna [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 V_{*kr} – krytyczna prędkość dynamiczna [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Prędkość dynamiczna V_* jest określana z zależności:

$$V_* = \frac{\sqrt{g} V}{C'}$$

w której V i g – jak we wzorze (4) i (5), natomiast C' jest współczynnikiem prędkości Chezy odnoszącym się do ziarn rumowiska o średnicy zastępczej d_{90} , obliczanym ze wzoru:

gdzie R jest promieniem hydraulicznym w przekroju poprzecznym koryta [m].

$$C' = 18 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot R}{d_{90}} \right) + 54$$

Wartość krytycznej prędkości dynamicznej V_{*kr} określana jest według równania:

$$V_{*kr} = [0,001 \cdot \theta_{kr} \cdot (s-1) \cdot g \cdot d_{50}]^{0,5}$$

gdzie s , g i d_{50} – jak w poprzednich wzorach, natomiast θ_{kr} jest bezwymiarowym

napężeniem stycznym, którego wartość obliczamy z następujących wzorów, zależnie od wartości bezwymiarowego parametru wielkości ziarn rumowiska D_r :

$$\begin{array}{ll} D_r < 4 & \theta_{kr} = 0,24 \cdot D_r^{-1} \\ 4 < D_r < 10 & \theta_{kr} = 0,14 \cdot D_r^{-0,64} \\ 10 < D_r < 20 & \theta_{kr} = 0,04 \cdot D_r^{-0,10} \\ 20 < D_r < 150 & \theta_{kr} = 0,013 \cdot D_r^{0,29} \\ D_r > 150 & \theta_{kr} = 0,055 \end{array}$$

Po obliczeniu koncentracji rumowiska wlezonego C_r w ppm (wg wzoru 4) można określić natężenie ruchu rumowiska wlezonego Q_r , wyrażone w $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$Q_r = C_r \cdot Q \cdot 0,001 \quad (6)$$

lub w $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$:

$$Q_r = C_r Q / (s-1)(1-p) \quad (7)$$

gdzie Q jest natężeniem przepływu wody ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zaś s i p jak we wzorze (3).

Według Engelunda i Hansena (za Fisher 1995) koncentracja transportu rumowiska wlezonego (w jednostkach ppm) wyrażana jest następującym wzorem:

$$C_r = \frac{5 \cdot J V V_*^3}{h g^2 d_{50} \cdot (s-1)^2} \cdot 10^6 \quad (9)$$

gdzie:

V – średnia prędkość przepływu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

V_* – prędkość dynamiczna obliczana ze wzoru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]: $V_* = \sqrt{ghJ}$,

h – głębokość wody [m], pozostałe oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

Natężenie ruchu rumowiska wlezonego Q_r obliczane jest podobnie jak według Van Rijna, tj. ze wzoru (6) lub (7).

Obliczenia transportu rumowiska wlezonego omówionymi wyżej wzora-

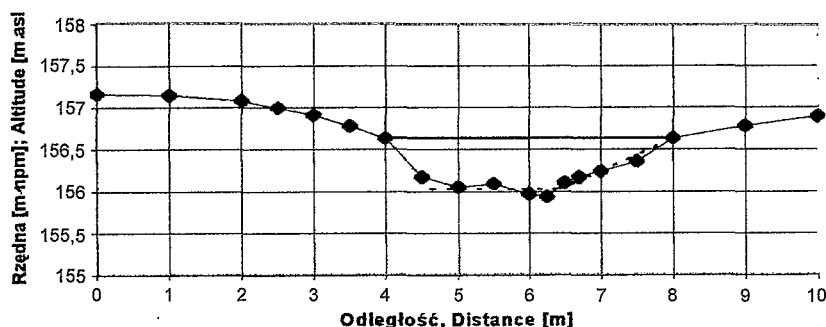
mi empirycznymi wykonano w przekroju pokazanym na rysunku 3. Do obliczeń przyjęto uproszczony kształt przekroju trapezowego szerokości dna $b_d = 1,8$ m i o zróżnicowanym nachyleniu skarp. Dla zmiennych napełnień w przekroju obliczeniowym określano natężenia transportu rumowiska Q_r , co pozwoliło na określenie zależności $Q_r = f(Q)$, gdzie Q jest natężeniem przepływu przy danym napełnieniu koryta. Wykresy zależności $Q_r = f(Q)$ dla poszczególnych wzorów empirycznych pokazano na rysunku 4. W obliczeniach przyjęto stałe wartości spadku $J = 1,5\%$, współczynnika szorstkości koryta $n = 0,040 \text{ m}^{-1/3}$ oraz średnic charakterystycznych rumowiska wlezonego: $d_{90} = 0,93$, $d_{50} = 0,44$, $d_{10} = 0,26$ mm. Wartości te przyjęto na podstawie wcześniejszych pomiarów terenowych wykonanych na odcinku koryta w rejonie przekroju obliczeniowego i stanowiska pomiarowego.

W czasie pomiaru transportu rumowiska wlezonego od 12.11 do 1.12.1998 roku (tj. w ciągu 19 dób) w korycie Za-

gożdżonki występowały zmienne stany wody w zakresie $H = 164,0\text{--}157,7$ cm, którym odpowiadały natężenia przepływu $Q = 0,10\text{--}0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Do obliczeń transportu rumowiska przyjmowano średnie dobowe przepływy Q_d , określane dla średnich dobowych stanów wody $H_d = H_i / m$, gdzie: H_i – stan wody rejestrowany z krokiem czasowym 10 minut, m – liczba pomiarów stanu wody w ciągu doby ($m = 24 \cdot 6 = 144$). Dla przepływów średnich dobowych Q_d odczytywano następnie z wykresu $Q_r = f(Q)$ (rys. 4) odpowiadające im średnie dobowe natężenia transportu rumowiska wlezonego Q_{rd} . Całkowitą objętość rumowiska wlezonego V_c , które przemieściło się w przekroju obliczeniowym w ciągu 19 dni, wyznaczono ze wzoru:

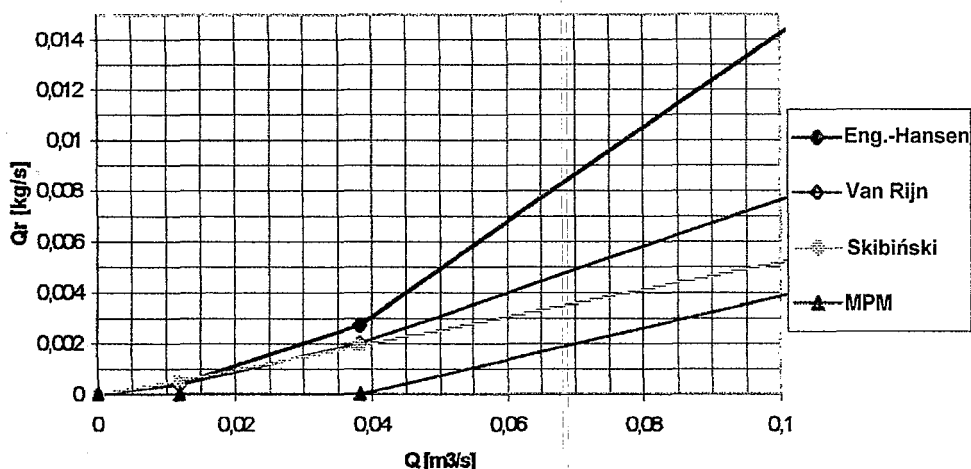
$$V_c = \sum_{n=1}^{n=19} Q_{rd(n)} 86\,400$$

gdzie $Q_{rd(n)}$ jest średnim natężeniem transportu rumowiska w danej dobie.



RYСУNEK 3. Przekrój obliczeniowy: linia ciągła – punkty pomierzone, linia przerywana – uproszczony kształt przekroju do obliczeń wlezenia

FIG. 3. Calculate cross-section: continuous line – measured points, dashed line – simplified shape of cross-section for bedload transport calculations



RYSUNEK 4. Zależności natężenia transportu rumowiska wlezonego Q_r od przepływu Q określone dla różnych wzorów empirycznych

FIG. 4. Relations between bedload transport discharge Q_r and discharge Q established for different empirical formulas

TABELA 1. Porównanie obliczonych wielkości wleczenia z wartością pomierzoną

TABLE 1. Comparison quantity of measured and calculated bedload transport

Wielkość określona według: Quantity determined by:	V_c [m³]	Q_r [m³ · s ⁻¹]
Pomiaru; Measurement	7,24	$4,41 \cdot 10^{-6}$
Wzoru Skibińskiego Skibiński's formula	2,47	$1,51 \cdot 10^{-6}$
Wzoru Meyer-Petera i Müllera Meyer-Peter and Müller's formula	1,51	$9,21 \cdot 10^{-7}$
Wzoru Van Rijna Van Rijn's formula	7,92	$4,83 \cdot 10^{-6}$
Wzoru Engelunda i Hansena Engelund and Hansen's formula	14,3	$8,71 \cdot 10^{-6}$

W tabeli 1 zestawiono wielkości transportu rumowiska wlezonego uzyskane z pomiaru i określone według wzorów empirycznych. Wynik zbliżony do wartości pomierzonej uzyskano tylko ze wzoru Van Rijna. Według formuły Engelunda i Hansena wielkość wleczenia jest prawie dwukrotnie większa od wielkości

pomierzonej. Wyniki obliczeń według pozostałych wzorów dały mniejsze wielkości wleczenia: ze wzoru Skibińskiego uzyskano prawie 3-krotnie mniejszą, natomiast według wzoru Meyer-Petera i Müllera prawie 5-krotnie mniejszą od wielkości pomierzonej.

Wnioski

Badania wstępne potwierdziły dużą przydatność zainstalowanego stanowiska do pomiaru transportu rumowiska wleczonego. Usunięcie awarii rejestratora umożliwi w przyszłości uzyskanie zapisu zmiennego w czasie natężenia ruchu rumowiska, co pozwoli na określenie zależności intensywności tego ruchu od zmiennych przepływów i innych parametrów hydraulicznych.

Znaczące różnice wyników pomiaru i obliczeń transportu rumowiska wykonane według wzorów empirycznych wskazują na konieczność prowadzenia dalszych prac badawczych. Należy wyjaśnić, czy rzeczywiście rozkład natężenia ruchu rumowiska wleczonego na szerokości dna koryta jest jednakowy. Pozwoli to na dokładne wyznaczanie transportu rumowiska w przekroju pomiarowym, w przypadku gdy szerokość wlotowa do zbiornika pomiarowego będzie mniejsza od szerokości maksymalnej. Ograniczenie szerokości wlotowej do zbiorników związane jest z szybkością ich wypełniania przez rumowisko. Badania wstępne wskazują na stosunkowo dużą intensywność wleczenia w korycie Zagożdżonki. Przy maksymalnie otwartym wlocie do zbiornika będzie on całkowicie wypełniony już po 1–2 dniach.

Uzyskane wyniki obliczeń transportu rumowiska według wzorów empirycznych, wskazują na konieczność ich dalszej weryfikacji i ewentualnie modyfikacji. Ważna jest również bardziej szczegółowa ocena zmienności wielu parametrów hydraulicznych, których właściwe oszacowanie warunkuje dokładność używanych wyników obliczeń.

Literatura

- BANASIK K., SKIBIŃSKI J., GÓRSKI D. 1995: *Metody oceny erozji powierzchniowej i akumulacji rumowiska w zbiornikach* rozdz. *Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych* red. A. Ciepielowski, Wydaw. SGGW, Warszawa, s. 152.
- FISHER K.R. 1995: *Manual of sediment transport in rivers*. Raport SR 356, HR Wallingford England, s. 61.
- HABERSACK H. 1994: *Development of a measurement technique to monitor continuously sediment transport in a large Austrian gravel bed river: Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*. Poster Contribution Canberra, 12–16 Dec.; 39–43.
- LARONNE J., REID I., YITSCHAK Y., FROSTICK L. 1992: *Recording bedload discharge in a semiarid channel Nahal Yatir, Israel*. Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins. Proc. of the Oslo Symposium IAHS Publ. 210; s. 79–86.
- LEWIS J. 1991: *An improved bedload sampler*. Proc. of the Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, Vol. 1; 6.1–6.8.
- POPEK Z., GŁADECKI J. 1995: *Stanowisko do ciągłego pomiaru rumowiska wleczonego*. Monitorowanie i modelowanie procesów hydrologicznych w zmieniającym się środowisku, mat. konf., Pionki, 4–5 wrzesień; 37–40.
- SKIBIŃSKI J. 1981: *Regional formulae for computation of bedload transport rate*. Advances in sediment transport. Proc. of the Conference Jabłonna (Poland), Nov. 13–18, 1978. Wydaw. PAN, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Warszawa, 351–361.

Summary

Bedload transport measurements station. In the paper has been presented bedload transport measurement device which has been installed in Zagożdżonka river at Czarna gauge station. The measurement device consist of tank collecting

sediment which is placed below bottom level of the river. The weight of sediment is continuously measured by sensors placed under sediments tank. The first investigation has shown good agreement between measured bedload transport and calculated once from Van Rijn formula. The significant differences between results obtained from others empirical for-

mulas: Engelund and Hansen, Skibiński, Meyer-Peter and Müller.

Author's address:

Z. Popek
Warsaw Agricultural University – SGGW
02–787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Zastosowania metody Newtona do rozwiązywania problemów hydraulicznych

Application of Newton Method for Solutions of Hydraulic Problems

Wstęp

Wiele praktycznych zadań z hydrauliki sprowadza się do równań nie mających rozwiązań analitycznych. Często rozwiązanie wyprowadzonych równań jest możliwe tylko z wykorzystaniem metod numerycznych. Metody te obecnie nabrały szczególnego znaczenia wobec powszechnego dostępu do komputerów. Do grupy jednokrokowych metod iteracyjnych należy metoda Newtona (Dahlquist i Björck 1983), zwana też metodą stycznych i stosowana zarówno do pojedynczych równań, jak i układów równań. Metoda Newtona pozwala znaleźć ich rozwiązanie, używając w prostych przypadkach kalkulatora, a w rozwiązaniach układu równań – komputera osobistego.

Pierwiastek równania

$$f(x) = 0 \quad (1)$$

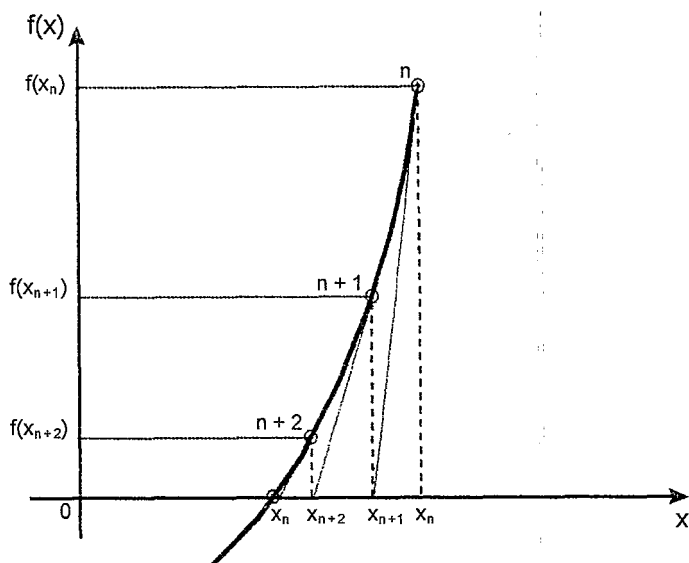
jest punktem przecięcia się krzywej $f(x)$ z osią x . Założono, że znane jest przybliżenie x_n pierwiastka x_0 . Graficzną interpre-

tację metody Newtona (Tarnawski 1973) pokazano na rysunku 1. W punkcie n odciętej x_n prowadzi się styczną do krzywej $f(x)$. Styczna ta przecina oś x w punkcie x_{n+1} . Punkt ten traktuje się jako następne przybliżenie pierwiastka x_0 . Odciętej x_{n+1} odpowiada punkt $n + 1$ na krzywej. Przez punkt ten prowadzi się ponownie styczną do przecięcia z osią x w punkcie x_{n+2} , będącym kolejnym przybliżeniem pierwiastka x_0 . Zgodnie z interpretacją geometryczną pochodnej funkcji $f(x)$ w punkcie x_n , jest ona równa współczynnikowi kierunkowemu stycznej w punkcie x_n . Styczna ta ma równanie:

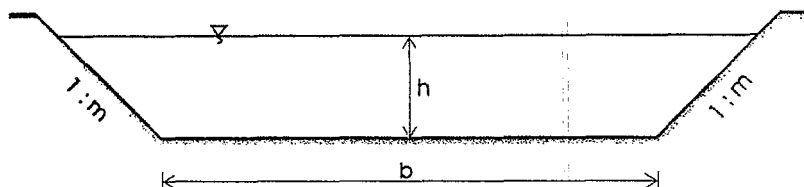
$$y = f'(x_n)(x - x_n) + f(x_n) \quad (2)$$

Punkt x_{n+1} znajdujemy z przecięcia tej stycznej z osią OX . Stąd otrzymuje się równanie (3) przy założeniu, że $f'(x_n) \neq 0$

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (3)$$



RYSUNEK 1. Ilustracja geometryczna metody Newtona
FIG. 1. Geometrical rule of Newton method



RYSUNEK 2. Przekrój poprzeczny trapezowego koryta
FIG. 2. The cross – section of the channel

Aby obliczyć kolejne przybliżenia pierwiastka, należy przyjąć początkową jego wartość x_n . Obliczenia metodą Newtona zawodzą, gdy pochodna $f'(x_n)$ jest bliska zera (styczna równoległa do osi x) lub gdy początkowe przybliżenie pierwiastka jest niewłaściwe. Metoda ta staje się niewygodna, gdy wyznaczanie pochodnej jest trudne lub gdy każdorazowe jej obliczanie jest długie.

Przykłady zastosowania metody Newtona

W jednostajnym ustalonym przepływie nie występują zmiany prędkości i głębokości wzdłuż koryta (przewodu). Może on więc występować jedynie przy stałym, niezmiennym na długości przekroju strumienia.

Przykład 1: Obliczyć normalną głębokość h w korycie o stałym trapezowym przekroju (rys. 2), przy natężeniu przepływu $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, znając współ-

czynnik szorstkości koryta według Manninga $n = 0,025 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$, spadek podłużny koryta $J = 0,0015$, szerokość dna przekroju $b = 8 \text{ m}$, nachylenie skarp przekroju $1 : m = 1 : 1,5$.

Średnią prędkość przepływu w ruchu jednostajnym ustalonym oblicza się z równania Manninga:

$$V = \frac{1}{n} R h^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (4)$$

gdzie:

n – współczynnik szorstkości [$\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$],

R_h – promień hydrauliczny przekroju, obliczany jako iloraz powierzchni przekroju A i obwodu zwilżonego O_z ,

$$R_h = \frac{A}{O_z} [\text{m}],$$

J – spadek hydrauliczny [–].

Pole trapezowego przekroju koryta szerokości b w dnie, o nachyleniu skarp $1 : m$ przy głębokości h oblicza się z zależności: $A = h(b + mh)$, natomiast obwód zwilżony trapezowego przekroju koryta oblicza się z zależności: $O_z = b + 2h(1 + m^2)^{1/2}$

Natężenie przepływu w korycie oblicza się z równania:

$$Q_{\text{oblicz.}} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J^{1/2} A \quad (5)$$

Równanie, do którego rozwiązania zastosowano metodę Newtona-Raphsona zbudowano następująco:

$$f(h) = Q_{\text{oblicz.}} - Q = 0 \quad (6)$$

gdzie:

Q – jest zadana wartością natężenia przepływu w korycie.

W celu zastosowania wzoru (3) do obliczania głębokości h spełniającej równanie (6) konieczna jest znajomość pierwszego przybliżenia pierwiastka równania oraz wartości funkcji $f(h)$ i jej pochodnej $f'(h)$. W tym celu obliczono:

$$f(h) = \frac{1}{n} \frac{(bh + mh^2)^{5/3}}{[b + 2h(1 + m^2)^{1/2}]^{2/3}} \cdot \frac{1}{J^{1/2}} - Q \quad (7)$$

i obliczono pochodną:

$$f'(h) = \frac{J^{1/2}}{n} \left\{ \frac{5}{3} \left[\frac{(bh + mh^2)}{b + 2h(1 + m^2)^{1/2}} \right]^{2/3} \cdot (b + 2mh) - \frac{4}{3} \left[\frac{bh + mh^2}{b + 2h(1 + m^2)^{1/2}} \right]^{5/3} \cdot (1 + m^2)^{1/2} \right\} \quad (8)$$

Otrzymane równania (7) i (8) są wykorzystane do obliczenia nowego przybliżenia h według równania (3).

Jako pierwsze przybliżenie pierwiastka równania (7) przyjęto wartość $h = 1,0 \text{ m}$. Wyniki kolejnych przybliżeń wartości h obliczone według wzoru (3) zestawiono w tabeli 1.

Jak widać z tabeli 1, już po trzech przybliżeniach obliczono z wystarczają-

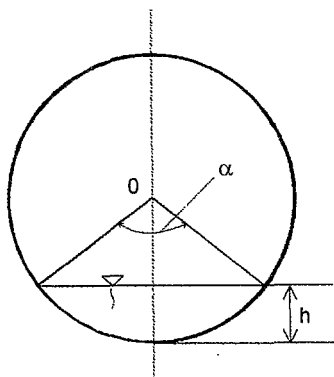
TABELA 1. Wartości h obliczane w kolejnych krokach metodą Newtona

TABLE 1. Values of h calculated using Newton method

h [m]	$f(h)$	$f'(h)$
1,0	1,8581	14,3210
0,8703	0,0935	12,8868
0,8630	-0,0003	12,8055

cą dla praktyki dokładnością głębokość normalną h z równania (7).

Przykład 2: Obliczyć normalną głębokość h w korycie o kołowym przekroju (rys. 3), średnicy $d = 6$ m i stałym spadku $J = 0,001$ przy natężeniu przepływu $Q =$



RYSunEK 3. Schemat koryta o przekroju kołowym

FIG. 3. The cross - section of the pipe

$= 4 \text{ m}^3/\text{s}$. Współczynnik szorstkości koryta do wzoru Manninga $n = 0,015 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$.

Dla kanału o przekroju kołowym przy głębokości h długość obwodu zwilżonego

$$O = \alpha \frac{d}{2} \quad (9)$$

gdzie:

α – kąt środkowy jak na rysunku 3 wyrażony w mierze łukowej,

d – średnica kołowego przekroju.

Pole przekroju strumienia o kształcie wycinka kołowego oblicza się z zależności:

$$A = (\alpha - \sin \alpha) \frac{d^2}{8} \quad (10)$$

Natężenie przepływu w korycie obliczono stosując wzór Manninga (5). Rozwiązujące równanie ma więc postać $f(\alpha) = Q_{\text{oblicz.}} - Q = 0$ lub po przekształceniach :

$$\frac{A^{5/3}}{O^{2/3}} - \frac{Qn}{J^{1/2}} = 0 \quad (11)$$

Wyrażając O i A w równaniu (11) zależnościami (9) i (10) otrzymano :

$$\frac{d^{8/3}(\alpha - \sin \alpha)^{5/3}}{2^{13/3}\alpha^{2/3}} - \frac{Qn}{J^{1/2}} = 0 \quad (12)$$

Równanie (12) jest rozwiązywane względem kąta α . Głębokość normalna h (rys. 3) powiązana jest z kątem środkowym α zależnością:

$$h = \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \frac{d}{2} \quad (13)$$

Równanie (12) dla ułatwienia zapisu algorytmu rozwiązania można uprościć, mnożąc obie jego strony przez $2^{13/3}/d^{8/3}$:

$$f(\alpha) = \frac{(\alpha - \sin \alpha)^{5/3}}{\alpha^{2/3}} - \frac{2^{13/3}Qn}{d^{8/3}J^{1/2}} \quad (14)$$

Pochodna funkcji $f(\alpha)$ względem α wynosi

$$f'(\alpha) = \frac{5}{3} \left(\frac{\alpha - \sin \alpha}{\alpha} \right)^{2/3} \cdot (1 - \cos \alpha) - \frac{2}{3} \left(\frac{\alpha - \sin \alpha}{\alpha} \right)^{5/3}$$

Wartość kąta α wyrażoną w mierze łukowej oblicza się z równania (3), wykorzystując zależności (14) i (15).

Dla podanych wcześniej danych przyjęto jako początkowe przybliżenie

TABELA 2. Wartość kąta α w kolejnych krokach metodą Newtona

TABLE 2. Values angle α calculated using Newton method

α	$f(\alpha)$	$f'(\alpha)$
1	-0,275334	0,193462
2,423	1,107079	1,971917
1,862	0,236494	1,124904
1,652	0,031614	0,829376
1,613	0,000955	0,779507
1,612	$9,68 \cdot 10^{-7}$	0,777927

pierwiastka równania (14) $\alpha_1 = 1$ radian. Obliczone kolejne wartości funkcji (14) zestawiono w tabeli 2.

Kolejne wartości kąta α nie różnią się do trzeciego miejsca po przecinku, więc wartość tę przyjęto jako rozwiązanie równania (15). Głębokość h w przekroju obliczono z równania (13) dla $\alpha = 1,612$, z którego otrzymano $h = 0,923$ m.

Przykład 3: Obliczyć średnicę przewodu, gdy dane są :

- natężenie przepływu w przewodzie $Q = 0,02$ m³/s,
- długość przewodu $L = 1200$ m,
- dopuszczalny spadek ciśnienia na

długości przewodu $\frac{\Delta p}{\gamma} = 9,5$ m,

- chropowatość bezwzględna powierzchni przewodu $k = 4,41 \cdot 10^{-5}$ m,
- kinematyczny współczynnik lepkości wody $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Problem znajdowania średnicy przewodu rozwiązuje się metodą kolejnych założeń. Zakłada się wartość średnicy przewodu d , oblicza się współczynnik oporów λ i sprawdza czy spadek linii energii na długości przewodu nie przekroczy dopuszczalnego spadku ciśnienia na długości przewodu (w ruchu jednostajnym ustalonym obie linie są równo-

ległe). Średnią prędkość przepływu w przewodzie oblicza się dla założonej średnicy przewodu $d = 0,15$ m ze wzoru:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (16)$$

Współczynnik strat energii na długości przewodu oblicza się z równania Colebrook-White'a:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71d} \right) \quad (17)$$

gdzie :

k – chropowatość bezwzględna przewodu [m],

Re – bezwymiarowa liczba Reynoldsa obliczona ze wzoru [–]:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} \quad (18)$$

ν – kinematyczny współczynnik lepkości wody [m²/s].

W celu rozwiązania równania Colebrook-White'a względem λ zapisuje się je w postaci:

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71d} \right) = 0 \quad (19)$$

Pochodna funkcji (19) ma postać:

$$f'(\lambda) = -\frac{1}{2} \lambda^{-\frac{3}{2}} \left(1 + \frac{0,8686 \frac{2,51}{\text{Re}}}{\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71d}} \right) \quad (20)$$

Podstawiając równania (19) i (20) do (3) otrzymuje się zależności do obliczania kolejnych przybliżeń wartości λ . Po jej obliczeniu należy sprawdzić, czy wartość

strat energii na długości przewodu nie przekracza wartości zadanej różnicy ciśnień:

$$\Delta h_{\text{str.}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (21)$$

Jeśli $h_{\text{str.}} > \frac{\Delta p}{\gamma}$ obliczenia należy powtórzyć dla zwiększonej średnicy przewodu.

Pierwiastka równania (20) poszukiwano po założeniu wartości średnicy $d = 0,15$ m. Obliczane w kolejnych iteracjach wartości współczynnika oporów zestawiono w tabeli 3. Dla znalezionej wartości λ wyznaczono wartości strat energii z równania (21), otrzymując $\Delta h_{\text{str.}} = 9,36$ m. Ponieważ wartości $\Delta h_{\text{str.}}$ są mniejsze od strat założonych w zadaniu, to warunek ten dla założonej średnicy d został spełniony.

TABELA 3. Wartość współczynnika oporów obliczana z równania (19) metodą Newtona dla przyjętej średnicy $d = 0,15$ m

TABLE 3. Values of Darcy – Weisbacha friction factor calculated after equation (19) for given diameter of pipe

λ	$f(\lambda)$	$f'(\lambda)$
0,02	-0,04005	-186,200
0,01788	0,00693	-223,828
0,01791	0,00066	-223,266

Podsumowanie

Na przedstawionych tu przykładach można stwierdzić, że użyta metoda Newtona jest prostym i skutecznym narzędziem do rozwiązywania równań, które nie mają rozwiązań analitycznych. Trzeba jednak pamiętać o spełnieniu założeń zbieżności.

Metoda Newtona może być stosowana do rozwiązywania wielu innych problemów hydraulicznych, takich jak np.: obliczanie układu zwierciadła wody w korycie, krytycznej głębokości przepływu w przekroju, głębokości sprężonych w odskoku hydraulicznym, czy wielu innych zagadnień. Wykorzystanie tej metody do rozwiązania nieliniowych układów równań w hydraulice opisano m.in. w pracy Kubraka (1989).

Literatura

- DAHLQUIST G., BJÖRCK Å. 1983: *Metody numeryczne*. PWN, Warszawa, 13–14.
 KUBRAK J. 1989: *Modele numeryczne rozprzestrzeniania się fali wypływającej przez wyrwę w zaporze*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
 TARNAWSKI E. 1973: *Matematyka dla studiów technicznych*. PWN, Warszawa, 187–189.

Summary

Application of Newton Method for Solutions of Hydraulic Problems. There are many hydraulic problems which involve the solution of an equation or set of equations which cannot be solved explicitly. The paper describes Newton method, which is a numerical technique for fast solution of nonlinear equations. Description of three examples of the Newton method application are given. The examples presented in this paper are limited to the solution of single equations frequently used in the engineering practice. The examples showed step-by-step procedure for formulating the problems and their solutions using Newton method.

Authors' address:

Kozioł, M. Krukowski
 Warsaw Agricultural University – SGGW
 02–787 Warszawa
 ul. Nowoursynowska 166
 Poland

Małgorzata KLENIEWSKA

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment WAU

Wstępne wyniki badań nad stężeniem dwutlenku siarki w powietrzu w Warszawie-Ursynowie

Introductory results on the study concerning of sulphur dioxide air concentration in Warsaw-Ursynów

Wstęp

Dwutlenek siarki powstaje głównie w procesach spalania paliw – wytwarzanie i zużycie energii powoduje emisję ponad 95% siarki ze źródeł sztucznych. W rejonie Warszawy głównymi źródłami emisji SO_2 są ciepłownie i elektrociepłownie. Największe elektrociepłownie to: „Żerań”, „Powiśle”, „Pruszków”, „Kawęczyn”, „Siekierki” oraz ciepłownia „Wola”.

Poza tym źródłem emisji dwutlenku siarki są także kotłownie lokalne oraz komunikacja. Czas retencji SO_2 w powietrzu ocenia się na 1 tydzień – wtedy to może być on przenoszony na odległości nawet tysięcy kilometrów (Pollo 1984), podlegając różnym reakcjom chemicznym. Powstałe w wyniku tych reakcji związki siarki wpływają niekorzystnie na środowisko naturalne, materiały budowlane; stwarzają również zagrożenie dla człowieka przez swoje drażniące i żrące działanie.

Dwutlenek siarki jest ok. 2,5 razy cięższy od powietrza i podczas inwersji temperatury w atmosferze gromadzi się w przyziemnych warstwach atmosfery, zalegając w dolinach i wszelkich obniżeniach terenu, zajętych przeważnie przez łąki i pastwiska.

W wyniku badań (Jagiello i in. 1977/78) stwierdzono, że pod wpływem wzrastającego stężenia SO_2 w powietrzu zawartość S-SO_4^{2-} w roślinach motylkowatych i trawach wzrasta, a wraz ze wzrostem ilości siarki plonowanie roślin maleje.

Podatność roślin na wpływ dwutlenku siarki jest zróżnicowana i zależna od gatunku. W obrębie gatunku istotną rolę odgrywają takie czynniki, jak: temperatura, wilgotność gleby, rodzaj gleby oraz czas oddziaływania i wartość stężenia SO_2 .

Związki siarki działające przez krótki czas ale o dużym stężeniu (ok. $100 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) powodują tzw. uszkodzenia ostre, polegające na uszkodzeniu systemu asymilacyjnego i zakłóceniu procesu fotosynte-

zy. Działając w mniejszych stężeniach przez dłuższy czas prowadzą do powstania tzw. szkód chronicznych, zaburzających mechanizm chlorofilowy (Gomółka i Szaynok 1993).

Material i metoda

Od czerwca 1997 roku na stacji meteorologicznej Warszawa-Ursynów SGGW prowadzone są pomiary stężenia SO_2 w powietrzu atmosferycznym. Pomiary te wykonywane są za pomocą zespołu pomiarowego pozwalającego na rejestrację ciągłą stężenia dwutlenku siarki. W skład tego zespołu wchodzi: układ poboru próby powietrza, analizator SO_2 , system kalibracji oraz system gromadzenia danych (rejestrator centralny + komputer AT).

Wybór lokalizacji czerpni powietrza jest zgodny z wymaganiami zamieszczonymi w *Zasadach projektowania elementów sieci monitoringu zanieczyszczenia atmosfery* (PIOŚ, Warszawa 1991). Czerpnia powietrza umieszczona jest na południowo-wschodniej ścianie budynku Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW na wysokości 11 m n.p.g. Część wlotowa powietrza znajduje się w odległości 2 m od ściany budynku, co zapewnia niezakłócony przepływ powietrza w obrębie 270° .

Do opracowania wykorzystano wartości średnie godzinne stężenia SO_2 (24 wartości w ciągu doby) od 1 VI 1997 r. do 31 I 1999 r. Wykonano następujące obliczenia i opracowania graficzne:

- średnie miesięczne godzinne stężenie SO_2 (tab. 1),
- przebiegi dobowe stężenia SO_2 w miesiącach: VII, XI 1997 r., I, VIII, XI 1998 r., I 1999 r. (rys. 1),
- średnie dobowe stężenie SO_2 (tab. 2) – otrzymano 81% poprawnych wyników w całym okresie pomiarowym. Oznacza to, że luki w materiale pomiarowym spowodowane awariami były niewielkie.
- średnie miesięczne stężenie SO_2 (tab. 3) – wartości te otrzymano jako średnie ze stężeń dobowych,
- przebieg stężenia SO_2 w rozpatrywanym okresie pomiarowym na podstawie średnich miesięcznych wartości stężenia dwutlenku siarki (rys. 2),
- średnie stężenie SO_2 w zależności od kierunku wiatru (dla 8-kierunkowej różnicy wiatrów) w wybranych terminach pomiarowych – 01, 07, 13, 19 CSE, czyli tzw. zanieczyszczeniowa różnica wiatrów (tab. 4, rys. 3). Zanieczyszczeniową różnicę wiatrów sporządza się przypisując wartości stężenia SO_2 z danego terminu pomiarowego kierunkowi wiatru, który w tym terminie przeważał. Następnie liczy się średnie stężenia SO_2 dla każdego kierunku wiatru. Zanieczyszczeniowe różnice wiatru sporządzono oddzielnie dla półrocza zimowego – X–III (sezon grzewczy) i półrocza letniego – IV–IX.
- rozkład częstości stężenia SO_2 dla półrocza zimowego i półrocza letniego (tab. 5, rys. 4).

Wyniki badań

W tabeli 3 i na rysunku 4 przedstawiono przebieg stężenia SO_2 w okresie badań według wartości średnich miesię-

cznych. Zaznacza się tu wyraźny sinusoidalny przebieg stężenia dwutlenku siarki, przy czym wartości wyższe występują w półroczu zimowym, a niższe w półroczu letnim.

Podwyższone stężenia SO_2 w półroczu zimowym w stosunku do stężenia w półroczu letnim związane są z występowaniem okresu grzewczego, czyli zwiększoną emisją z procesów spalania w energetyce. Średnie stężenie SO_2 dla półroczu zimowego wynosi $9,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ i jest aż 2,6 razy wyższe od średniego stężenia SO_2 dla półroczu letniego [$3,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$].

Średnie roczne stężenie SO_2 dla stacji Warszawa-Ursynów w 1998 roku wyniosło $5,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, co stanowi 15% normy dopuszczalnej [$D_a = 40 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] i 46% średniego rocznego stężenia SO_2 dla Warszawy (PIOŚ, 1999) w 1998 roku [$12,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$].

W tabeli 1 przedstawiono przebieg dobowy stężenia SO_2 na podstawie średnich godzinnych (na rys. 1 przedstawiono wybrane przebiegi dobowe stężenia SO_2). Generalnie można tu zaobserwować wzrost stężenia dwutlenku siarki ok. godz. 9⁰⁰, trwający do godz. 16⁰⁰ spowodowany wzmożonym ruchem komunikacyjnym. Pojawiające się w niektórych przypadkach gwałtowne krótkookresowe (ok. 1 godz.) wzrosty stężenia SO_2 prawie do $20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (rys. 1c, godz. 17⁰⁰) spowodowane są emisją z lokalnych źródeł (spalanie odpadów), oddalonych prawie o 100 metrów od punktu poboru próby powietrza. Średnie dobowe stężenie SO_2 (tab. 2) uzyskuje wartość maksymalną 24 XI 1997 r. i wynosi 24,4 ppb, czyli $71,4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, co stanowi 48% war-

tości stężenia dopuszczalnego [$D_{24} = 150 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]. $1 \text{ ppb} = 2,926 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

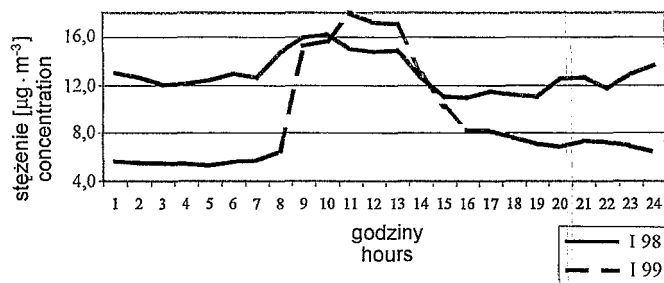
Analizując rozkład stężenia SO_2 na poszczególnych kierunkach wiatru (tab. 4, rys. 5) można stwierdzić, że najbardziej wyrównany rozkład stężenia SO_2 na poszczególnych kierunkach ma róża wiatrów z półroczu zimowego o godz. 1⁰⁰. Jest to spowodowane brakiem większej wymiany masy powietrza o tej porze doby pomiędzy centrum miasta a jego obrzeżami. Taka wymiana masy powietrza zaznacza się już o godz. 7⁰⁰ (większe stężenia na kierunkach N i E – o $1,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), co może świadczyć o wpływie miasta na wzrost stężenia SO_2 .

W półroczu zimowym obserwuje się najmniejsze stężenia dwutlenku siarki z kierunku NW – w każdym terminie pomiarowym. Taka sama zależność charakterystyczna jest również dla półroczu letniego (poza godz. 1⁰⁰). Konieczne jest dalsze prowadzenie badań tego zjawiska po zgromadzeniu większego materiału pomiarowego.

Interesujące wyniki uzyskano po opracowaniu rozkładów częstości stężenia SO_2 (tab. 5, rys. 6a, b). W półroczu letnim najczęściej (55 razy) występowały stężenia dwutlenku siarki w przedziale $2,1\text{--}4,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Stanowi to 38% wszystkich przypadków pomiarów stężenia SO_2 w półroczu letnim, przy średnim stężeniu $3,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ dla tego okresu. Natomiast w półroczu zimowym najczęściej (64 razy) występowały stężenia w przedziale $4,1\text{--}8,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Stanowi to 40% przypadków pomiarów stężenia SO_2 w półroczu zimowym, przy średnim stężeniu $9,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ dla tego okresu.

TABELA 1. Wartości średnie godzinne stężenia SO_2 [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] VI 1997 r. – I 1999 r. Warszawa-Ursynów
TABLE 1. Mean hourly values of sulphur dioxide concentration since June 1997 to January 1999. Warsaw-Ursynów

Rok Year	1997								1998	
Miesiąc Month	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		I	II
Godz. Hour										
1	3,1	3,7	5,6	5,1	7,8	7,6	10,9		13,0	6,6
2	2,7	3,5	5,4	4,9	7,6	7,5	10,5		12,7	6,7
3	2,0	3,8	5,4	4,3	7,5	7,4	9,6		12,1	5,9
4	2,2	3,9	5,3	4,1	6,7	6,6	9,4		12,1	5,8
5	2,9	4,8	5,9	4,1	6,0	6,7	9,4		12,4	6,2
6	4,9	6,1	7,6	4,9	6,8	6,9	9,4		13,0	6,2
7	5,5	5,9	8,7	6,4	7,9	7,9	9,5		12,7	6,6
8	8,5	5,0	8,7	6,9	8,6	8,7	10,2		14,7	8,0
9	7,9	5,7	9,6	7,1	9,0	11,1	11,1		16,0	8,2
10	8,6	4,8	10,4	7,2	10,4	10,8	11,1		16,2	8,8
11	6,2	5,7	8,4	6,7	10,0	9,7	11,1		15,0	8,3
12	3,9	6,9	7,9	7,2	10,4	13,0	10,5		14,8	8,1
13	3,4	6,7	7,8	5,7	10,9	13,4	11,2		14,9	6,4
14	3,0	4,2	6,8	5,2	9,7	11,1	11,2		12,7	7,6
15	3,2	5,1	6,6	5,2	8,9	13,4	10,8		11,0	7,1
16	3,6	5,9	6,7	6,4	9,3	16,4	10,5		11,0	6,8
17	3,4	5,0	6,9	6,2	9,5	19,5	9,1		11,5	6,6
18	3,0	4,1	7,2	7,3	9,7	14,1	11,8		11,2	7,0
19	2,7	4,1	7,2	7,4	9,9	15,9	12,4		11,0	7,5
20	3,8	4,5	7,1	6,3	9,3	14,0	12,4		12,5	8,2
21	3,7	4,7	6,9	5,5	10,2	11,5	12,5		12,6	6,9
22	4,9	4,5	6,5	5,4	9,7	9,6	12,2		11,8	7,3
23	3,9	4,1	5,9	5,3	9,9	9,9	11,6		12,9	7,9
24	3,5	3,7	5,7	5,1	10,0	9,1	11,5		13,6	7,4



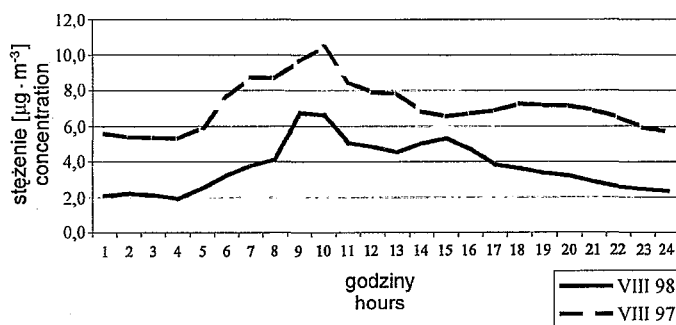
RYСУNEK 1a. Przebieg dobowy stężenia SO_2 w miesiącach I 1998 r. i I 1999 r. Warszawa-Ursynów

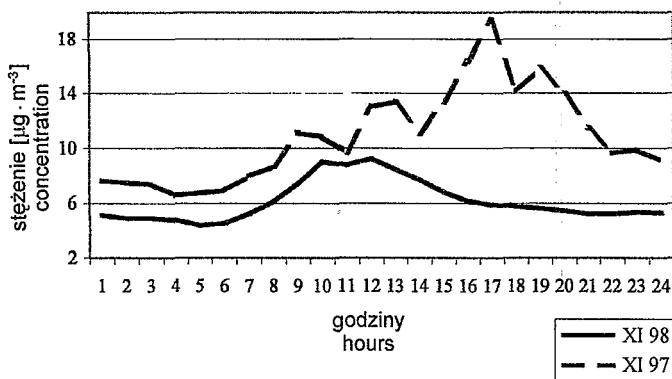
FIG. 1a. Daily course sulphur dioxide concentration in months January 1998 and January 1999 Warsaw-Ursynów

1998										1999
III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I
6,6	4,2	2,1	2,3	1,8	2,1	2,8	3,5	5,1	7,3	5,7
7,3	3,5	1,6	2,3	1,3	2,2	2,7	3,4	4,9	7,1	5,5
5,9	3,1	1,7	2,9	1,1	2,1	2,5	3,2	4,9	6,8	5,5
5,8	3,1	1,6	2,8	1,3	1,9	2,5	3,2	4,8	6,7	5,4
7,2	3,7	1,4	2,9	1,9	2,5	2,7	3,4	4,4	6,6	5,3
8,9	4,7	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,5	4,5	6,7	5,6
9,9	5,0	6,2	4,1	3,8	3,8	4,6	4,4	5,2	7,0	5,7
10,2	6,0	7,6	4,7	4,3	4,1	5,2	6,1	6,1	8,3	6,5
10,3	5,9	9,5	5,1	4,0	6,7	5,9	7,2	7,4	11,9	15,3
10,4	9,7	5,5	5,8	3,6	6,6	6,7	8,8	9,0	13,9	15,7
8,8	11,4	5,1	5,6	4,0	5,1	6,7	8,2	8,8	11,8	18,0
10,5	4,7	3,7	5,9	4,9	4,8	7,1	6,4	9,2	15,8	17,2
8,2	4,7	2,8	4,7	4,4	4,5	6,8	6,6	8,5	14,8	17,1
7,9	7,2	3,1	3,7	5,1	5,0	5,8	6,7	7,7	12,8	12,9
7,2	3,7	3,4	2,8	4,5	5,3	5,6	6,1	6,8	10,3	10,2
6,6	3,5	2,4	2,6	4,1	4,7	5,4	5,1	6,1	9,0	8,2
6,2	3,1	1,8	2,3	3,6	3,8	5,0	5,2	5,9	8,7	8,2
6,0	3,3	2,6	3,0	3,9	3,6	4,9	4,8	5,8	8,6	7,7
6,9	4,3	1,8	2,5	3,7	3,4	4,8	4,7	5,6	8,6	7,1
7,7	4,6	2,4	2,5	3,2	3,2	4,4	4,3	5,4	8,2	6,8
7,5	4,3	2,5	2,6	2,7	2,9	4,3	4,0	5,2	8,2	7,4
7,3	4,6	2,9	2,6	2,2	2,6	3,8	3,9	5,2	8,4	7,3
8,1	5,1	3,2	2,1	1,9	2,5	3,5	3,9	5,3	7,9	6,9
8,6	4,2	2,7	1,9	1,9	2,3	3,1	3,7	5,3	7,7	6,4

RYSUNEK 1b. Przebieg dobowy stężenia SO₂ w miesiącach VIII 1997 r. i VIII 1998 r. Warszawa-Ursynów

FIG. 1b. Daily course of sulphur dioxide concentration in month August 1997 and August 1998 Warsaw-Ursynów





RYSUNEK 1c. Przebieg dobowy stężenia SO_2 w miesiącach XI 1997 r. i XI 1998 r. Warszawa-Ursynów

FIG. 1c. Daily course of sulphur dioxide concentration in months November 1997 and November 1998 Warsaw-Ursynów

TABELA 2. Wartości średnie dobowe stężenia SO_2 (ppb) VI 1997 r. do I 1999 r. Warszawa-Ursynów
TABLE 2. Mean daily values of sulphur dioxide concentration since June 1997 to January 1999 Warsaw-Ursynów.

Rok Year	1997							1998	
Miesiąc Month	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Godz. Hour									
1	0,4	—	1,7	3,3	2,6	4,7	1,6	1,0	3,0
2	2,1	—	1,2	2,2	1,1	3,7	1,3	2,8	4,7
3	1,8	—	1,1	2,2	1,2	5,3	1,6	2,7	2,4
4	0,9	—	1,6	2,6	1,2	7,6	4,7	4,0	2,4
5	6,9	—	2,1	4,2	1,0	3,6	4,6	5,7	5,6
6	0,9	—	1,9	2,5	2,8	2,4	4,6	3,8	0,6
7	1,2	—	2,7	1,8	5,2	3,9	7,8	5,5	1,8
8	2,4	—	2,3	1,9	4,2	1,1	9,8	4,8	1,1
9	2,6	—	1,6	1,5	3,2	2,1	9,2	2,4	1,7
10	1,1	—	3,1	0,5	1,7	4,4	9,3	2,7	3,3
11	—	—	3,8	0,5	1,2	2,0	5,6	3,1	2,6
12	—	—	2,7	3,2	1,7	1,6	2,0	3,2	0,2
13	—	—	2,9	1,9	1,8	1,5	1,4	2,6	1,8
14	—	0,8	2,4	0,5	4,5	2,2	1,3	1,1	2,5
15	—	1,2	2,6	1,6	3,2	4,2	1,1	2,3	1,5
16	—	2,0	2,1	4,7	9,2	2,4	1,7	6,0	2,1
17	—	1,7	2,3	5,7	2,7	2,2	3,5	5,5	1,9
18	—	1,8	4,2	2,4	7,2	1,6	7,4	9,0	1,5
19	—	2,0	1,7	1,5	6,2	2,5	6,5	7,1	2,0
20	—	1,4	1,7	1,7	5,3	4,8	4,3	6,2	2,4
21	—	0,8	2,0	1,6	5,5	2,4	1,5	5,4	6,4
22	—	0,8	2,5	1,4	7,5	2,8	1,5	2,4	5,0
23	—	0,6	3,8	1,3	—	2,3	3,2	0,9	3,5
24	—	0,9	2,9	0,9	—	24,4	4,7	—	1,7
25	—	2,5	2,2	1,4	—	1,5	2,4	—	2,3
26	—	1,8	2,1	1,1	—	1,4	2,5	—	1,8
27	—	1,8	2,0	0,6	—	2,0	2,4	—	2,3
28	—	3,1	2,9	0,9	—	—	1,9	—	1,2
29	—	1,3	3,3	2,2	—	—	2,8	—	—
30	—	1,3	3,3	1,6	—	—	3,1	—	—
31	—	1,4	2,5	—	—	—	—	—	—

Wnioski

Krótką serią pomiarową nie pozwala na wyciągnięcie daleko idących wniosków.

Jednak na podstawie przedstawionych materiałów można stwierdzić, że:

1. Średnie roczne (1998) stężenie dwutlenku siarki na stacji Warszawa-Ursynów stanowi tylko 15% dopuszczalnej normy.

2. Bardzo wyraźnie zaznaczają się różnice pomiędzy stężeniem SO_2 w pół-

roczu zimowym [średnia $9,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$], a średnim stężeniem SO_2 w półroczu letnim [średnia $3,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$].

3. W przebiegu dobowym stężenia dwutlenku siarki zaznacza się wpływ emisji SO_2 spowodowanej ruchem komunikacyjnym.

4. Najmniejsze stężenia SO_2 obserwuje się przy wietrze z kierunku NW (poza godz. 1⁰⁰ w półroczu letnim).

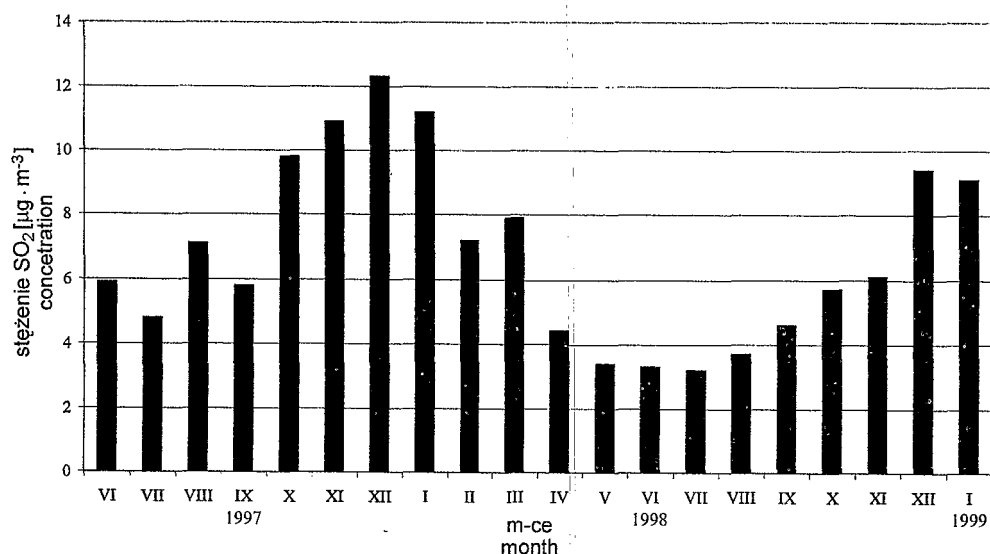
5. Wzrost stężenia dwutlenku siarki o godz. 7⁰⁰ w półroczu zimowym (na kierunkach N i E) w stosunku do stężenia

1998										1999
III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I
1,0	2,2	1,3	3,1	0,9	1,8	1,0	1,8	0,2	2,9	2,7
1,4	0,3	2,2	1,6	0,4	1,1	1,0	1,0	3,4	7,4	4,4
1,4	0,1	0,6	0,2	0,5	1,0	0,9	0,9	0,7	7,4	4,5
2,1	2,1	0,7	0,5	0,2	0,4	0,9	0,9	1,2	5,7	5,4
1,1	2,9	0,6	0,2	0,0	0,8	0,9	1,1	1,3	3,4	3,5
1,3	3,2	0,4	1,3	0,1	0,6	0,9	1,4	1,0	2,9	5,6
1,7	2,7	2,8	—	0,9	1,6	1,6	1,3	0,9	1,6	2,9
1,5	1,1	3,2	—	1,0	1,0	2,6	1,2	0,7	1,9	0,9
1,8	0,8	1,0	—	0,6	0,6	2,0	1,4	0,2	2,2	0,9
3,5	0,7	0,5	—	0,7	0,7	2,3	1,8	0,7	2,6	3,2
4,4	1,2	0,2	—	0,6	3,2	2,8	1,0	0,5	3,6	1,4
3,4	0,9	0,0	—	0,7	0,7	2,6	1,6	0,9	7,3	1,6
4,0	0,5	0,2	—	0,8	2,4	1,3	1,5	1,9	2,7	4,6
1,7	1,0	0,8	—	0,5	0,8	1,5	2,4	0,7	1,7	3,7
3,2	2,0	1,4	—	1,0	1,0	1,5	2,2	0,7	2,2	1,2
4,0	2,2	1,4	—	1,9	3,1	0,9	2,7	0,8	0,9	3,0
5,0	2,4	1,6	—	1,7	1,1	1,5	3,7	2,0	1,3	5,2
5,1	2,1	1,2	—	1,5	3,0	2,7	2,5	2,6	6,0	4,5
2,1	1,2	1,8	—	0,8	1,2	1,9	2,7	3,7	2,8	1,5
2,5	0,9	1,1	—	1,5	1,7	1,1	2,6	3,0	1,2	—
2,6	0,9	—	—	1,8	2,1	1,6	3,4	5,9	0,9	—
4,4	0,8	—	—	1,9	0,8	1,9	6,4	4,6	1,9	—
3,3	1,5	—	—	4,8	0,9	1,4	3,4	4,1	2,3	—
3,7	2,5	—	—	0,9	1,1	2,1	4,8	3,9	3,9	—
3,0	2,3	—	—	0,6	0,9	1,9	1,0	5,2	3,8	—
2,6	1,2	—	—	3,0	1,0	2,1	0,8	5,0	4,7	—
3,3	1,5	—	—	0,6	1,0	1,3	0,9	4,3	4,5	—
1,2	1,7	—	—	0,5	1,3	1,0	3,5	2,9	7,9	—
0,9	1,0	—	—	0,7	1,0	0,9	0,4	1,9	4,5	—
3,0	1,8	—	—	1,8	0,6	0,8	0,2	1,5	1,0	—
3,5	—	—	—	1,1	0,8	—	0,1	—	0,8	—

TABELA 3. Wartości średnie miesięczne stężenia SO_2 ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) w okresie od VI 1997 r. do I 1999 r. Warszawa-Ursynów

TABLE 3. Mean monthly values of sulphur dioxide concentration since June 1997 to January 1999. Warsaw-Ursynów

Rok Year	1997							1998	
M-c Month	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Średnia m-czna Monthly mean	5,9	4,8	7,1	5,8	9,8	10,9	12,3	11,2	7,2
Średnia/mean X 97 r. – III 98 r.	9,9								
Średnia/mean IV 98 r. – IX 98 r.									
Średnia roczna Annual mean									



RYSUNEK 2. Przebieg stężenia SO_2 od VI 1997 r. do I 1999 r. Warszawa-Ursynów

FIG. 2. Course of sulphur dioxide concentration since June 1997 to January 1999. Warsaw-Ursynów

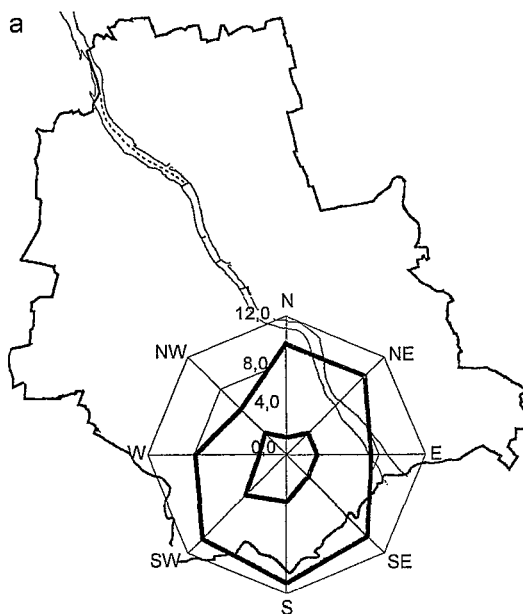
SO_2 o godz. 1⁰⁰ może świadczyć o wpływie centralnej części miasta na stężenie SO_2 w Warszawie-Ursynowie

6. W półroczu letnim stężenia dwutlenku siarki występujące najczęściej w przedziale $2,1\text{--}4,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ stanowiły

38% pomiarów w tym okresie (przy średnim stężeniu $3,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

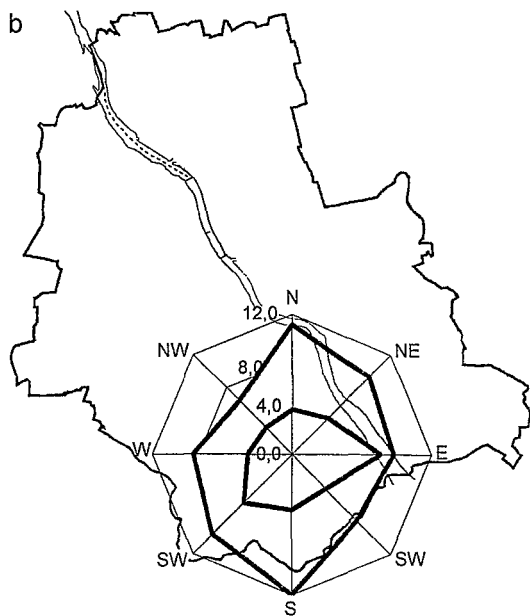
Natomiast w półroczu zimowym stężenia SO_2 najczęściej występowały w przedziale $4,1\text{--}8,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ i stanowiły 40% pomiarów w tym okresie (przy średnim stężeniu $9,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

1998										1999
III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I
7,9	4,4	3,4	3,3	3,2	3,7	4,6	5,7	6,1	9,4	9,1
3,8										
5,9										



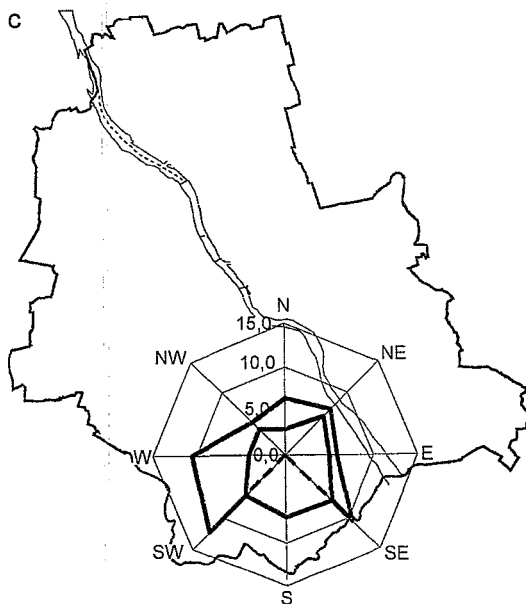
RYSUNEK 3a. Zanieczyszczeniowa róża wiatrów o godz. 1⁰⁰ Warszawa-Ursynów [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$]
FIG. 3a. Wind rose of air pollution, 1 a.m. Warsaw-Ursynów

— półrocze zimowe winter half-year period
— — półrocze letnie summer half-year period



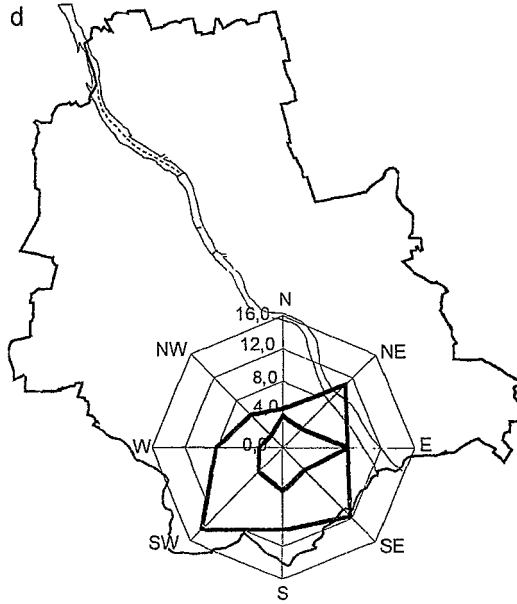
RYSUNEK 3b. Zanieczyszczeniowa róża wiatrów o godz. 7⁰⁰ Warszawa-Ursynów [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$]
FIG. 3b. Wind rose of air pollution, 7 a.m. Warsaw-Ursynów

— półrocze zimowe winter half-year period
-- półrocze letnie summer half-year period



RYSUNEK 3c. Zanieczyszczeniowa róża wiatrów o godz. 13⁰⁰ Warszawa-Ursynów [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$]
FIG. 3c. Wind rose of air pollution, 1 p.m. Warsaw-Ursynów

— półrocze zimowe winter half-year period
-- półrocze letnie summer half-year period



RYSUNEK 3d. Zanieczyszczeniowa róża wiatrów o godz. 19⁰⁰ Warszawa-Ursynów [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$]
FIG. 3b. Wind rose of air pollution, 7 p.m. Warsaw-Ursynów

— półrocze zimowe winter half-year period
--- półrocze letnie summer half-year period

TABELA 4. Wartości średnie stężenia SO_2 (ppb) w zależności od kierunku wiatru od 1 X 1997 r. – 31 III 1998 r. (półrocze zimowe) i 1 IV 1998 r. – 30 IX 1998 r. (półrocze letnie) Warszawa-Ursynów
TABLE 4. Mean values of sulphur dioxide concentration response to wind direction since 1 X 1997 to 31 III 1998 (winter half-year period) and 1 IV 1998 to 30 IX 1998 (summer half-year period). Warsaw-Ursynów

Kierunek wiatru Direction of wind	Okresy Periods	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Godz. HOD									
1 ⁰⁰	Półrocze	3,3	3,3	2,5	3,4	3,8	3,5	2,7	1,9
7 ⁰⁰	zimowe	3,8	3,2	3,0	2,7	4,1	3,3	2,9	2,2
13 ⁰⁰	winter	2,2	2,5	2,0	3,6	0,0	4,2	3,6	1,8
19 ⁰⁰	half-year period	1,6	3,7	2,7	4,0	3,4	4,8	2,8	1,9
1 ⁰⁰	półrocze letnie	0,5	0,9	0,9	0,9	1,4	1,7	0,8	0,9
7 ⁰⁰	summer	1,3	1,5	2,6	1,4	1,6	2,0	1,3	1,1
13 ⁰⁰	half-year period	1,0	2,1	1,7	2,5	2,4	2,2	1,4	1,4
19 ⁰⁰		1,3	1,1	2,7	1,3	1,8	1,4	1,0	0,7

TABELA 5. Rozkład częstości stężenia SO₂ . Warszawa-Ursynów

TABLE 5. Frequency distribution of sulphur dioxide concentration Warsaw-Ursynów

Klasa Class	Dolna granica przedziału Lower limit	Górna granica przedziału Upper limit	Częstość Frequency
Półrocze zimowe (1 X 1997 r. – 31 III 1998 r.) winter half-year period			
1	at or below	0,0	0
2	0,0	4,0	21
3	4,1	8,0	64
4	8,1	12,0	23
5	12,1	16,0	22
6	16,1	20,0	11
7	20,1	24,0	6
8	24,1	28,0	4
9	28,1	32,0	1
10	32,1	36,0	0
11	36,1	40,0	0
12	40,1	44,0	0
13	44,1	48,0	0
14	48,1	52,0	0
15	52,1	56,0	0
16	56,1	60,0	0
17	60,1	64,0	0
18	64,1	68,0	0
19	68,1	72,0	1
Półrocze letnie (1 IV – 30 IX 1998 r.) summer half-year period			
1	at or below	0,0	2
2	0,1	2,0	33
3	2,1	4,0	55
4	4,1	6,0	30
5	6,1	8,0	16
6	8,1	10,0	10

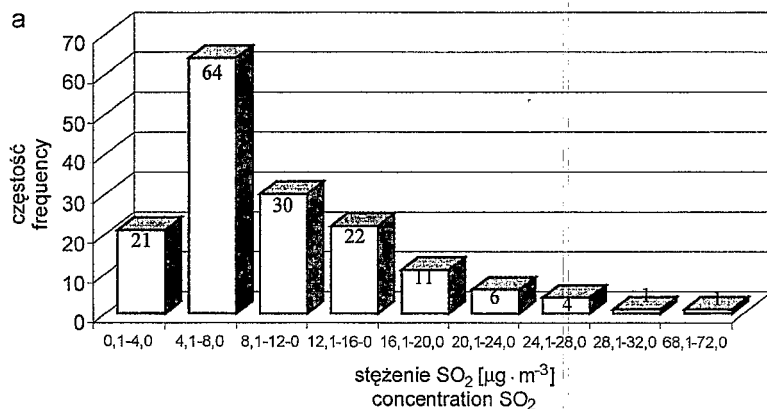
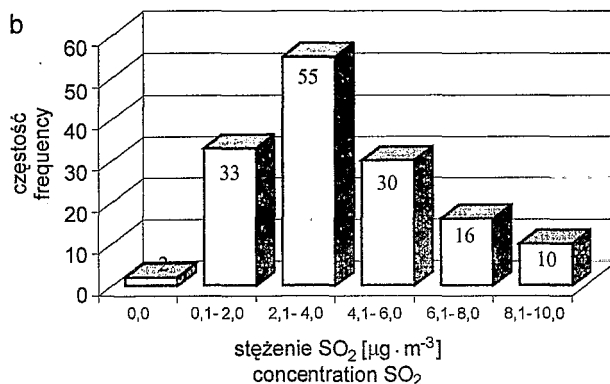
RYSUNEK 4a. Rozkład częstości stężenia SO₂ w półroczu zimowym, Warszawa-Ursynów

FIG. 4a. Frequency distribution - of sulphur dioxide concentration for winter half year period, Warsaw-Ursynów

RYSUNEK 4b. Rozkład częstości stężenia SO₂ w półroczu letnim, Warszawa-Ursynów

FIG. 4b. Frequency distribution of sulphur dioxide concentration for summer half year period, Warsaw-Ursynów



Literatura

- GOMÓŁKA E., SZAYNOK A. 1993: *Chemia wody i powietrza*. Wrocław.
- JAGIEŁŁO J., KERN H., MIAZGA S. 1977/78: *Wpływ zanieczyszczenia atmosfery dwutlenkiem siarki i produktami jego neutralizacji amoniakiem na plonowanie niektórych traw i motylkowatych*. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E, Agricultura.
- PIOŚ, 1999: *Stan środowiska w woj. mazowieckim*. Warszawa.
- POLLO I. 1984: *Aktualne problemy zagrożenia i ochrony środowiska*. Mat. z Ogólnopol. Sem. w Lublinie.
- Dziennik Ustaw 1998 nr 55 poz. 355.

Summary

Introductory results on the study concerning of sulphur dioxide air concentra-

tion in Warsaw-Ursynów. The research was realized in the period from April 1997 to January 1999. The following characteristics were elaborated: mean monthly hourly SO₂ concentrations, mean daily SO₂ concentrations, mean monthly SO₂ concentrations, wind rose of the air pollution and frequency of SO₂ concentration distribution for summer half-year period and winter half-year period. Mean annual (1998) SO₂ concentration is only 15% of permissible concentration. There is the influence of central part of the city and the local sources of air pollution on SO₂ concentration in Ursynów.

Author's address:

M. Kleniewska
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Joanna SZTYBER

Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska SGGW
Department of Natural Bases of Environmental Engineering WAU

Próba oceny skażenia powietrza dwutlenkiem siarki w obszarze wpływów Petrochemii Płock S.A. za pomocą stref lichenoindykacyjnych

Attempt of valuation of sulphur dioxide air pollution in region of influence Petrochemia Plock by means of lichens-indication areas

Wprowadzenie

Jedną z bezpośrednich przyczyn degradacji środowiska naturalnego jest skażenie powietrza atmosferycznego. Głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza jest pozyskiwanie energii z paliw nieodnawialnych, takich jak węgiel kamienny, paliwa płynne i gazowe. Polski węgiel kamienny zawiera przeciętnie 0,8% siarki, przy czym udział ten waha się od 0,5–5%. Tak więc jedną z podstawowych substancji zanieczyszczających powietrze jest dwutlenek siarki, który obok działania bezpośredniego wpływa na środowisko także pośrednio (kwaśne deszcze).

Z wyjątkiem sporadycznych przypadków mających charakter klęsk, wpływ dwutlenku siarki na środowisko wynika z oddziaływania długotrwałego. Ma to szczególne znaczenie w odniesie-

niu do flory pozostającej stale pod długotrwałym wpływem szkodliwych emisji. Bezpośrednie pomiary skażenia powietrza atmosferycznego wykonywane są różnymi metodami w stacjach ogólnopolskiego monitoringu środowiska Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, Państwowej Inspekcji Sanitarnej, stacjach kontrolnych zakładów przemysłowych w dużym stopniu oddziałujących na środowisko. Do metod pomiarów pośrednich zaliczyć można metody oparte na **bioindykacji**, rozumianej jako czerpanie informacji o świecie na podstawie reakcji organizmów żywych, roślin i zwierząt na zmiany zachodzące w otaczającym je środowisku.

Do testowania jakości środowiska rośliny stosowano już w XIX wieku. Belg W. Nylander i Niemiec S. Arnold w 1860 roku zaobserwowali wrażliwość mchów i porostów na pogarszanie się jakości powietrza. Reakcja roślin objawiała się

zmianą barwy i obumieraniem plech (Sokół 1993). W tym samym czasie R. Sernander (Fałtynowicz 1995) badał zanik porostów w Monachium i Sztokholmie. Po raz pierwszy zwrócił on uwagę na fakt, że wokół miasta tworzą się strefy o podobnym stopniu destrukcji plech porostowych. Wprowadził on terminy: pustynia porostowa, strefa walki, strefa normalnego wzrostu.

W latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych naszego wieku, gdy nastąpił wzrost zanieczyszczeń i ich uciążliwości, zainteresowano się ponownie możliwością indykacji skażeń powietrza za pomocą porostów.

W 1970 roku w *Nature* opublikowali badania z terenów Wielkiej Brytanii D.L. Hawksworth i F. Rose (Sokół 1993). Potwierdzały one spostrzeżenia Sernandera o strefach porostowych wokół miast, z tym że Hawksworth i Rose skorelowali strefy z zawartością dwutlenku siarki w atmosferze. Wydzielili oni 11 stref zagrożenia oraz wyróżnili najczęściej występujące tam porosty. Według nich strefa zerowa, najbardziej skażona, odpowiada pustyni porostowej, nie ma w niej w ogóle porostów. W pierwszej strefie stężenia dwutlenku siarki przekraczają $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i na drzewach występują tylko glony protokokkoidalne (*Protococcus*). Porosty pojawiają się dopiero od drugiej strefy, gdzie stężenia dwutlenku siarki mają wartość około $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Przy przejściu od strefy trzeciej do jedenastej pojawia się coraz więcej porostów, a oprócz form skorupiastych pojawiają się także listkowate i krzaczkowate przy czym stężenia dwutlenku siarki zmniejszają się odpowiednio aż do poziomu tła.

Cel badań

Celem badań autorki (Szyber 1998) była ocena przydatności metody porostowych gatunków wskaźnikowych do szacowania wielkości zanieczyszczeń powietrza przez dwutlenek siarki na przykładzie okolic Petrochemii Płock S.A., polegająca na:

- wyznaczeniu stref lichenoindykacyjnych i sporządzeniu map lichenoindykacyjnych na wybranym terenie, pozostającym pod długotrwałym wpływem działania dwutlenku siarki,
- przeprowadzeniu analizy porównawczej stężeń dwutlenku siarki, oszacowanych na podstawie skali lichenoindykacyjnej i otrzymanych innymi metodami (pomiaru bezpośredniego w stacjach WIOŚ-ii, Petrochemii, badania zawartości SO_2 w śniegu).

Wybór Płocka na miejsce badań nie był przypadkowy. Zanieczyszczenia emitowane do atmosfery przez Petrochemię w Płocku to głównie dwutlenek siarki, następnie węglowodory, tlenki węgla i azotu, a ponadto duże ilości trójtlenku siarki, pięciotlenku wanadu i metali ciężkich (Petrochemia 1998). Teren więc nadawał się do dokonania próby przypisania określonych stężeń SO_2 poszczególnym strefom porostowym. Korelację tę uzasadniał skład zanieczyszczeń emitowanych przez Petrochemię, gdyż poza dwutlenkiem siarki i tlenkiem azotu (których działanie polega na potęgowaniu oddziaływania SO_2), nie było tu innych związków mających wpływ na porosty.

Metodyka badań

Do oceny skażenia powietrza dwutlenkiem siarki w rejonie Petrochemii Płock zastosowano metodę porostowych gatunków wskaźnikowych (Duszkar i Wiącek 1986, Marska 1988). Metoda ta powiązana ze zmodyfikowanymi korelacjami Hawkswortha i Rose'a (Sokół 1993) pozwala na otrzymanie obrazu rozkładu stężeń wokół źródła skażenia. Modyfikacja korelacji Hawkswortha i Rose'a konieczna była z powodu mniej wilgotnego klimatu Polski w porównaniu do atlantyckiego klimatu Anglii i Walii i polegała na przyjęciu w Polsce nieco wyższych wartości stężeń, charakterystycznych dla poszczególnych stref lichenindykacyjnych (Le Blanca i in. 1976, Kiszka 1977). Metoda gatunków wskaźnikowych polega na opisanu istniejących na danym terenie wszystkich gatunków porostów, wybraniu charakterystycznych dla tego

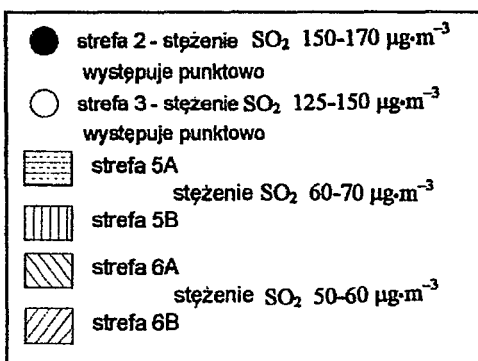
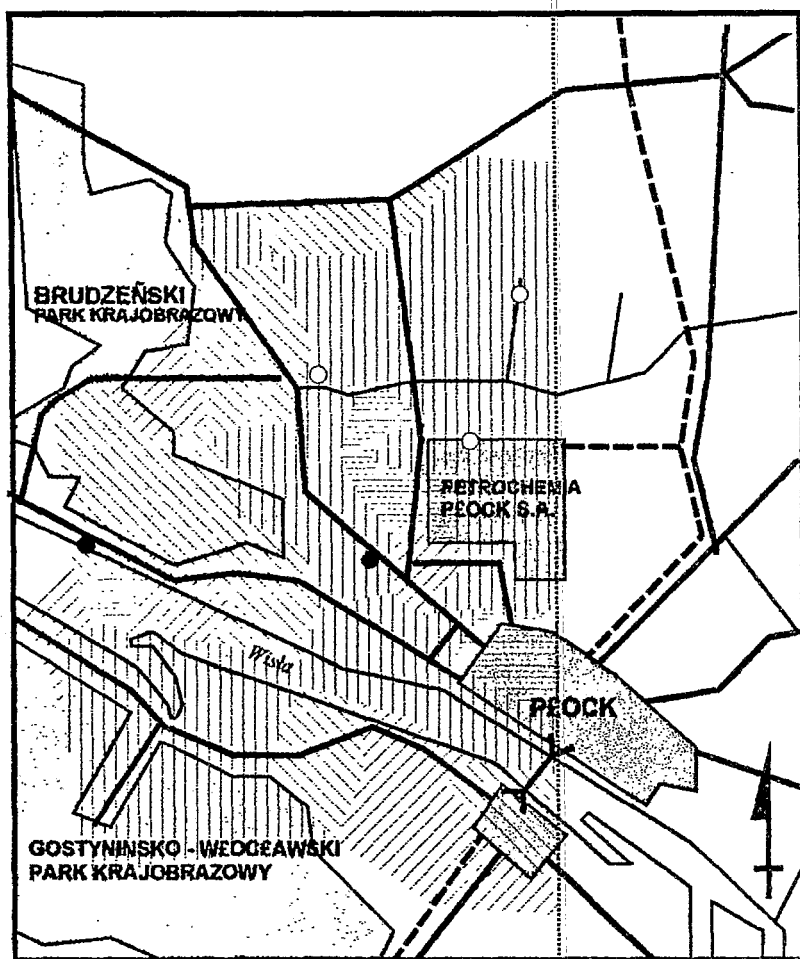
obszaru gatunków wskaźnikowych i wyznaczeniu za pomocą skali porostowej stref lichenindykacyjnych. Skala ta umożliwia przypisanie poszczególnym obszarom przybliżonych stężeń SO_2 i sporządzenie na tej podstawie mapy lichenindykacyjnej; przez interpolacje danych z punktów pomiarowych. Przyjęto listę bioindykacyjną (skalę porostową) podaną w tabeli.

Badany obszar to teren o powierzchni ok. 13 600 ha, położony po zachodniej stronie Petrochemii Płock S.A., obejmujący część miasta Płock oraz fragment Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego, znajdującego się na lewym brzegu Wisły (rys.). Przybliżone granice badanego terenu wyznaczają miejscowości: Draganie, Dziarnowo, Proboszczewice, Kamionki, Sikórz, Murzynowo, Wola Brwileńska, Sędeń, Góry, Radziwie, Płock.

TABELA. Lista bioindykacyjna stężeń SO_2 (Kiszka 1977)

TABLE. Bioindication list of sulphur dioxide concentration (by Kiszka 1977)

Stopień Index	Stężenie SO_2 Concentration SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Wyróżniające gatunki porostów Distinguishing lichens species
0	—	Brak epifitów
1	ponad 170	Głon <i>Desmococcus viridis</i>
2	150–170	misecznica proszkowata <i>Lecanora conizaeoides</i> , głon <i>Desmococcus viridis</i>
3	125–150	Liszajec zwyczajny <i>Lepraria incana</i> , brunatka kropkowata <i>Buellia punctata</i> i inne
4	70–125	Tarczownica bruzdkowana <i>Parmelia sulcata</i> i złotorost ścienny <i>Xantoria parietina</i> i inne
5	60–70	Makla tarniowa <i>Evernia prunastri</i> , obrost drobny <i>Physcia tenella</i> , obrost kolisty <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , złotorost postrzępiony <i>Xantoria candelaria</i> , misecznica jaśniejsza <i>Lecanora chlorotera</i> i inne
6	50–60	Gatunki z rodzajów tarczownic <i>Parmelia</i> , misecznic <i>Lecanora</i> oraz złotorost wieloowocnikowy <i>Xantoria polycarpa</i> i inne



RYSUNEK. Rozkład stężenia SO_2 wyznaczony na podstawie listy bioindykacyjnej
FIG. Distribution sulphur dioxide concentration based on lichens bioindication list

Badania terenowe odbywały się od września 1997 roku do maja 1998 roku. Badany obszar został pokryty siecią 50. punktów badawczych, oddalonych od siebie prawie o 1–2 km. W każdym punkcie zbadane zostały do wysokości 1,5 m pnie 10 drzew. Punkty najczęściej umieszczane były przy drogach, ponieważ przydrożne drzewa niejednokrotnie były jedynymi występującymi lub nadającymi się do badania. Porosty spisywane były w miarę możliwości ze starszych drzew liściastych, z pominięciem drzew obcych gatunków np. grochodrzewu czy kasztanowca oraz gatunków słabo porastających porostami, np. dębów.

Gatunki porostów oznaczane były za pomocą klucza do oznaczania porostów (Lipnicki i Wójciak 1995) oraz odczynników chemicznych (10% roztworu KOH, roztworu wodnego podchlorynu wapnia) dających określone reakcje barwne. Rozpoznane gatunki porostów wpisane zostały do raptularzy z zaznaczeniem procentowego lub powierzchniowego stopnia pokrycia pnia i z ewentualnymi uwagami dotyczącymi wyraźnego zniszczenia plechy porostu.

W zbadanych punktach oznaczono 20 gatunków drzew. Najczęściej występującymi gatunkami były: klon zwyczajny (*Acer platanoides*), klon polny (*Acer campestre*) i brzoza brodawkowata (*Betula pendula*). Na drzewach oprócz glonu *Desmoccocus viridis* stwierdzono obecność 12 gatunków porostów: misecznicy proszkowatej (*Lecanora conizaoides*), obrostu drobnego (*Physcia tenella*), obrostu kolistego (*Physcia orbicularis*), złotorostu ściennego (*Xantoria parientina*), złotorostu wieloowocnikowego

(*Xantoria polycarpa*), złotorostu postrzępionego (*Xantoria candelaria*), liszajca zwyczajnego (*Lepraria incana*), brunatki kropkowanej (*Buellia punctata*), tarczownicy bruzdkowanej (*Parmelia sulcata*), makli tarniowej (*Evernia prunastri*), chrobotka szydlastego (*Cladonia coniocraea*) i misecznicy jaśniejszej (*Lecanora chlarotera*).

Po przypisaniu poszczególnym punktom pomiarowym wartości ze skali porostowej, sporządzono przez interpolację mapę lichenoindykacyjną na podkładzie z mapy topograficznej w skali 1:10 000 (rys.).

Wyniki badań

Na badanym obszarze (na zachód od Petrochemii Płock S.A.) nie stwierdzono miejsc należących do stref 0 i 1, a więc odpowiadających największym stężeniom dwutlenku siarki – ponad $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Stężenia SO_2 odpowiadające strefom 2 i 3 (odpowiednio stężenie SO_2 pomiędzy 150 – 170 i 125 – $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) stwierdzono sporadycznie i nie uwzględniono ich przy przedstawianiu ogólnej tendencji w rozkładzie zanieczyszczeń w rejonie Petrochemii. Stężenie dwutlenku siarki odpowiadających czwartej strefie nie zaobserwowano.

Na badanym terenie dominowały obszary należące do strefy 5 (o stężeniu SO_2 pomiędzy 60 – $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Znajdowały się one w bezpośredniej bliskości Petrochemii i w mieście Płocku. Strefę tę podzielono na dwie podstrefy 5A i 5B (rys.). Do podstrefy 5A przypisano punkty, na których występowały porosty charaktery-

czne dla strefy 5, ale znajdowały się one w ilościach śladowych, na mniej niż 5 drzewach w punkcie. Podstrefę 5A mamy po zachodniej stronie zakładu oraz w mieście po prawej stronie Wisły. Podstrefa 5B charakteryzowała się obfitym występowaniem gatunków wskaźnikowych, a przy tym pokrycie pni drzew porostami wynosiło co najmniej 1% lub przy pokryciu śladowym ($> 1\%$) gatunki te obecne były na 5 i więcej drzewach w punkcie.

Za strefą piątą, w dalszej odległości od Petrochemii, znajdowały się obszary należące do strefy szóstej – najmniej skażonej (o stężeniu SO_2 pomiędzy $50\text{--}60\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). Podobnie jak strefa 5 podzielona została ona na dwie podstrefy. Strefy 5 i 6 tworzyły po zachodniej stronie Petrochemii obszary stanowiące fragment elipsy, która prawdopodobnie rozszerzać się będzie po stronie wschodniej zakładu.

Dla badanego terenu pomiary stężeń dwutlenku siarki prowadzone są w automatycznych stacjach służb Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska (WIOS – 3 stacje), Państwowej Inspekcji Sanitarnej (WSSE – 3 stacje) oraz Petrochemii Płock S.A. (4 stacje). Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki w Płocku w roku 1996 pomierzone przez różne stacje wynosiły (*Atlas* 1997) od 8,1 do $23,8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, średnio $14,04\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ – nie przekraczały więc normy, która wynosi $32\text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. Stężenia SO_2 w poprzednich latach były większe, ale wykazywały na ogół tendencję spadkową. W 1991 roku było to – $24,0\text{ }\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, w 1992 – 17,5, w 1993 – 17,9, w 1994 – 13,8, w 1995 – 9,5, w 1996 – 13,5.

Głównym źródłem emisji na badanym terenie jest Petrochemia Płock S.A.

Zakład położony jest w północno-zachodniej części miasta i zajmuje powierzchnię ok. 1600 ha. Mimo znacznego ograniczenia ilości emitowanych do powietrza zanieczyszczeń (Petrochemia 1998), zajmuje on wciąż pierwsze miejsce pod względem emisji zarówno na terenie miasta, jak i dawnego województwa. Udział Petrochemii w emisji gazów wynosi 94,9% w stosunku do emisji całego miasta (dla dwutlenku siarki udział zakładu w emisji miasta wynosi 98,6%). Stężenia dwutlenku siarki w Płocku w 1996 roku, wynikające z działalności zakładów przemysłowych, tworzą wokół zakładów elipsy o maksymalnych wartościach stężeń przy źródłach emisji i malejących stężeniach w miarę oddalania się od tych źródeł. Najwyższe stężenie równe $22\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ stwierdzono na terenie Petrochemii (*Atlas* 1997).

Zaznaczyć należy, iż nie obserwuje się wyraźnego wpływu wysokiej emisji dwutlenku siarki z Petrochemii Płock S.A. na podwyższenie poziomu emisji tego zanieczyszczenia w powietrzu na obszarze aglomeracji miejskiej i sąsiadujących z nią terenach. Zanieczyszczenie to bowiem, głównie emitowane z elektrowni Petrochemii przez wysokie kominy, przenoszone jest na dalsze obszary, nawet poza byłe województwo płockie (z elektrowni pochodzi 68,24% emisji SO_2 Petrochemii, stan na rok 1997). (Petrochemia 1988, *Atlas* 1997).

Stwierdzić należy, że mapa lichenoindykacyjna, wykonana na podstawie spisu gatunków wskaźnikowych, podobnie przedstawia charakter rozkładu zanieczyszczeń jak bezpośrednie pomiary (maksymalne przy źródle), ale stężenia,

na które wskazuje skala porostowa, są dużo wyższe. Blisko Petrochemii przyjmują wartości 60 $\text{SO}_2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a dalej 50 $\text{SO}_2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stężenia wynikające z mapy PIOŚ-iu zostały pomierzone w punktach pomiarowych w danym roku i są stężeniami średnimi. Mapa lichenindykacyjna, bazująca na informacjach „zapisanych w porostach”, może przedstawiać najwyższe stężenia, także pochodzące sprzed wielu lat, których wpływ kumulował się.

Stężenia dwutlenku siarki otrzymane metodą porostowych gatunków wskaźnikowych porównano także z danymi pochodzącymi z wcześniejszych lat i określającymi krótkotrwałą, dotyczącą 3–4-tygodniowego okresu czasu emisję zanieczyszczeń. W lutym 1981 i 1983 roku zespół Mazowieckiego Obserwatorium Geograficznego WGSR UW badał chemizm śniegu na obszarze wokół Petrochemii (Lenart 1985). Według tych badań najwyższe stężenia SO_4^{2-} – o wartości 660 mg/m^3 , otrzymane z próbek śniegu, występowały na terenie Petrochemii i miasta.

Powyższe dane są bliższe stężeniom otrzymanym metodą lichenindykacyjną niż stężenia z pomiarów bezpośrednich. Stężenia wynikające ze skali porostowej ukazują bowiem wysokie, chwilowe stężenia, na jakie narażone były porosty w czasie swojej vegetacji, a nie odzwierciedlają obecnego stanu środowiska.

Wnioski

1. Metoda porostowych gatunków wskaźnikowych jest przydatna do oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza na środowisko przyrodnicze.
2. Niemożliwe jest oszacowanie doraźnych stężeń dwutlenku siarki. Stężenia wynikające z mapy lichenindykacyjnej są obrazem najwyższych, chwilowych wielkości zanieczyszczeń, na jakie narażone były porosty w przeszłości i nie pokrywają się one ze stężeniami zmierzonymi innymi metodami. Brak jest danych mówiących o wielkości stężeń i czasie, w jakim występowały one w przeszłości.
3. Na podstawie metody porostów wskaźnikowych stwierdza się, że badany obszar znajdował się pod długotrwałym wpływem emisji dwutlenku siarki. Flora porostowa jest uboga i wyniszczona; zaobserwowano jedynie 12 gatunków porostów, często o zmienionych, przebarwionych plechach. Wyznaczone strefy lichenindykacyjne wskazują w badanym terenie na stężenia dwutlenku siarki w granicach 50–60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i są istotnie wyższe od rzeczywistych stężeń zmierzonych w stacjach monitoringowych (poniżej 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
4. Celowe jest przeprowadzenie na badanym terenie i terenach mu podobnych systematycznych badań skażenia środowiska metodą porostów wskaźnikowych. Badania prowadzone tą metodą w dłuższych odstępach czasu, np. co 5–10 lat, mogłyby ukazać ewentualne zmiany w ilości emitowanych zanieczyszczeń powietrza, co znalazłoby swoje odbicie w kondycji flory porostowej. Stanowiłoby to swoisty monitoring stanu środowi-

- ska, uzupełniający pomiary bezpośrednie.
5. Celowe jest przeprowadzanie takich badań również na wybranych terenach uznawanych dotychczas za niezanieczyszczone. Systematyczne kontynuowanie badań lichenoflory pozwoli na wychwycenie momentu pogarszania się warunków czystości powietrza.

Literatura

- Atlas 1998: *Atlas stanu i zagrożeń środowiska województwa płockiego*. Państw. Insp. Ochr. Środ., Woj. Inspekt. Ochr. Środ. w Płocku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Płock.
- DUSZKAR L., WIĄCEK K. 1986: *Wykorzystanie porostów jako bioindykatorów skażenia środowiska w rejonie Zakładów Azotowych w Puławach*. IUNG, Puławy.
- FAŁTYNOWICZ W. 1995: *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza*, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno.
- KISZKA J. 1977: *Wpływ emisji miejskich i przemysłowych na florę porostów Krakowa i Puszczy Niepołomickiej*, Wydaw. Nauk. WSP, Kraków.
- LE BLANC F., ROBITAILLES G., RAO D.N. 1976: *Ecophysiological response of lichen transplants to air pollution in the Murdochville Gaspé Coopre Mines Avca*. Quebec, J. Hattori Bot. Lab. 40; 27–40.
- LENART W. i inni 1985: *Mazowieckie Zakłady Rafineryjne i Petrochemiczne w Płocku a środowisko*. Biul. nr 1 PAN, Komitet Inżynierii Środowiska, Warszawa.
- LIPNICKI L., WÓJCIĄK H. 1995: *Klucz – Atlas Porosty*. WSiP, Warszawa.
- MARSKA B. 1988: *Wpływ wieloletniego oddziaływania emisji przemysłowych na florę porostów zagrożonych obszarów leśnych województwa szczecińskiego*, Wydaw. AR Szczecin.
- Petrochemia 1998: *Ochrona środowiska w 1997 roku*. Petrochemia Płock S.A. Główny Inżynier ds. Ochrony Środowiska, Płock.
- SOKOŁ S. 1993: *Przyroda ostrzeża*. Almaprint, Katowice.
- SZTYBER J. 1998: *Geograficzna analiza rozmieszczenia stężeń zanieczyszczenia powietrza w rejonie Petrochemii Płock S.A., część zachodnia – bioindykacyjna rola porostów*. UW, Warszawa (maszynopis pracy magister.).

Summary

Attempt of valuation of sulphur dioxide air pollution in region of influence Petrochemia Plock by means of lichens species method. The usefulness of different lichens species for the estimation of sulphur dioxide air pollution in Petrochemia Plock region is being presented in this essay. The lichens in that region were affected by sulphur dioxide for a very long time. The lichens-indication areas were distinguished and the adequate maps were made. Sulphur dioxide emissions were estimated on those bases. The comparison between the obtained data and the field measurements proves that the method is not useful for the estimation of sulphur dioxide concentration, however may be used for environmental impact assessment of long-drawn toxic emissions.

Author's address:

J. Szyber
Warsaw Agricultural University – SGGW
02–787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Katarzyna ROZBICKA

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment WAU

Charakterystyka warunków biometeorologicznych w Warszawie-Ursynowie od 1 IX 1997 r. do 30 IX 1998 roku

Characteristic of biometeorological conditions in Warsaw-Ursynów since 1 IX 1997 to 30 IX 1998

Wstęp

Biometeorologia człowieka jest nauką zajmującą się badaniem wpływu pogody na stan zdrowia i samopoczucie człowieka. Przedmiotem oceny są przede wszystkim odczucia cieplne człowieka, kształtujące się pod wpływem różnych warunków meteorologicznych. Analizując warunki bioklimatyczne należy pamiętać, że na człowieka nie oddziałują pojedyncze elementy meteorologiczne, ale cały ich kompleks. Dlatego w badaniach bioklimatycznych stosuje się tzw. kompleksowe wskaźniki biometeorologiczne, które ujmują w postać wzorów empirycznych związek między wartościami kilku elementów meteorologicznych i subiektywnymi odczuciami cieplnymi ludzi poddawanych eksperymentom w komorach klimatycznych lub przebywających na otwartym powietrzu. (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997).

Wybór wskaźników biometeorologicznych uwarunkowany jest celem jakie-

mu ma służyć dane obliczenie oraz możliwością uzyskania odpowiednich danych meteorologicznych. Wskaźniki biometeorologiczne mają różne zastosowanie, np. temperatura efektywna TE stosowana jest do oceny mikroklimatu pomieszczeń do pracy w przemyśle (fabryki, kopalnie), do opracowań charakterystyk bioklimatu różnych rejonów geograficznych i kuli ziemskiej oraz przy wyborze odpowiedniej formy klimatoterapii, jak np. helioterapii i aeroterapii. Różnorodność tych zastosowań sprawia, że interpretacja wyników jest trudna.

Odczucie termiczne u człowieka zależy nie tylko od pogody, ale także od charakteru pracy i wrażliwości na bodźce cieplne, które wynikają ze stopnia przystosowania organizmu do danego klimatu i środowiska kulturowego. Ponadto u każdego człowieka dużą rolę odgrywają czynniki fizjologiczne, tj. metabolizm, termoregulacja i temperatura skóry człowieka. Najkorzystniejsze dla człowieka warunki określa się mianem komfortu.

Występuje wówczas równowaga bilansu cieplnego organizmu między ciałem człowieka a otoczeniem. Niekorzystnie natomiast wpływają na samopoczucie człowieka i mogą prowadzić do przegrzania lub przechłodzenia organizmu warunki dyskomfortu gorącego i dyskomfortu zimnego. Organizm człowieka posiada pewną możliwość termoregulacji dostosowując się do wymiany ciepła z otoczeniem w granicach $37 \pm 2^\circ\text{C}$.

Metoda i materiał pomiarowy

Do oceny klimatu odczuwalnego w Warszawie-Ursynowie posłużono się najczęściej stosowanymi wskaźnikami biometeorologicznymi w postaci wzorów empirycznych:

- Wielkość ochładzająca powietrza $[H_s]$ – określa straty ciepła z powierzchni ciała człowieka, następujące w wyniku oddziaływania temperatury powietrza i prędkości wiatru, wyrażana jest w $\text{mcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na jej podstawie można scharakteryzować odczuwalność cieplną osoby będącej w ruchu i ubranej stosownie do pory roku, a więc ocenić warunki do uprawiania kinezyterapii (leczenia ruchem):

$$H_s = (0,20 + 0,40 \cdot \sqrt{v}) \cdot (36,5 - t_p)$$

$$v \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$H_s = (0,13 + 0,47 \cdot \sqrt{v}) \cdot (36,5 - t_p)$$

$$v > 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

gdzie:

v – prędkość wiatru $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

t_p – temperatura powietrza $[\text{°C}]$

- Temperatura efektywna (odczuwalna) $[TE]$ obliczona wzorem A. Missernarda w $^\circ\text{C}$, która uwzględnia łączny wpływ temperatury powietrza, wilgotności powietrza i prędkości wiatru na kształtowanie się odczuwalności cieplnej człowieka:

$$TE = t - 0,4 \cdot (t - 10,0) \cdot (1 - 0,01 \cdot f),$$

$$\text{gdy } v \leq 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$TE = \frac{37,0 - t}{0,68 - 0,0014 \cdot f + \frac{1,0}{1,76 + 1,4 \cdot v^{0,75}}} +$$

$$- 0,29 \cdot t (1 - 0,01 \cdot f)$$

$$\text{gdy } v > 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

gdzie:

t – temperatura powietrza $[\text{°C}]$

f – wilgotność względna powietrza [%]

v – prędkość wiatru na wysokości 2 m n.p.g. $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

- Temperatura ekwiwalentna obliczona wg wzoru Robitscha $[T_e]$ w $^\circ\text{C}$:

$$T_e = t + \frac{1570}{p} \cdot e$$

gdzie:

t – temperatura powietrza $[\text{°C}]$

e – ciśnienie aktualne pary wodnej $[\text{mmHg}]$

p – ciśnienie atmosferyczne $[\text{mmHg}]$

Jest to temperatura, którą przyjąłoby powietrze (przy stałym ciśnieniu), gdyby cała para wodna uległa kondensacji, a wydzielone w ten sposób ciepło parowania zostało całkowicie zużytkowane na ogrzanie powietrza suchego.

- Niedośyt fizjologiczny D [mm Hg], który stosunkowo obiektywnie pokazuje stopień parności powietrza odczuwanego przez człowieka:

$$D = E_{37} - e$$

$E_{37} = 47,0$ mm Hg – ciśnienie maksymalne pary wodnej w powietrzu w temperaturze wewnątrz ciała człowieka.

Wyżej przedstawione wskaźniki biometeorologiczne zostały wybrane ze względu na opracowaną przez M. Baranowską dla trzech z wyżej wymienionych wskaźników (TE , Te , Hs) skalę klimatu odczuwalnego dla warunków Polski. Skala ta została opracowana na podstawie badań odczucia termicznego wśród obserwatorów 36 stacji meteorologicznych w latach 1965–1967. O wyborze stacji decydował zakres pomiarów meteorologicznych i dobry stan zdrowia obserwatorów, stwierdzony na podstawie badań lekarskich. Obserwatorzy notowali odczucia termiczne podczas wykonywania pomiarów, a więc przy jednakowym wysiłku fizycznym, w naturalnych warunkach klimatycznych; byli ubrani stosownie do pory roku. Ponieważ skala M. Baranowskiej została opracowana dla warunków klimatu Polski, pozwoli na weryfikację i porównanie wyników uzyskanych za pomocą innych skal w opracowanym okresie 1 IX 97 – 30 IX 98 roku w Warszawie-Ursynowie.

- Dla wskaźnika entalpia powietrza i [kcal · kg⁻¹] posłużono się skalą odczuć cieplnych, opracowaną przez D. Brazolę, której zakres obejmuje wartości:
< 2,5 – mroźno; 8,5–10,0 – optimum komfortu; > 31,0 – udar cieplny.

Dla porównania wyników skalę Brazolę zastosowano również do oceny odczuć cieplnych w przypadku temperatury ekwiwalentnej, której zakres obejmuje wartości:

< 10 – mroźno; 35–40 – optimum komfortu; > 119 – udar cieplny.

- Niedośyt fizjologiczny [D], którego kryteria stopnia parności przyjmuje się za Tyczką (1959), gdzie:

< 34 mm Hg – parno; 34–40 mm Hg – komfort; > 40 mm Hg – sucho.

Obliczenia wyżej przedstawionych wskaźników biometeorologicznych wykonano kolejno dla każdego dnia z 8 wybranych terminów pomiarowych i obliczono średnie dobowe wartości oraz według odpowiedniej skali odczuć cieplnych wyznaczono odczucie cieplne. Takie same obliczenia wykonano dla średnich miesięcznych wartości wskaźników biometeorologicznych (tab. 2). Następnie zsumowano liczbę przypadków występowania poszczególnych rodzajów odczuć cieplnych dla każdego miesiąca według średnich dobowych wartości, a następnie obliczono częstość (%) występowania odczuć cieplnych dla wybranych wskaźników biometeorologicznych według miesięcy i pór roku (wiosna III–V 1998 r.; lato VI–VIII 1998 r.; jesień IX 1997 i 1998 r. –XI 1997 r.; zima XII–II 1997/1998 r.) (tab. 1). Ponadto z całego opracowanego okresu dla każdej z pór roku wybrano dwa różne dni, dla których szczegółowo przedstawiono dobowe przebiegi wybranych elementów meteorologicznych i obliczonych wskaźników biometeorologicznych z przypisanymi im odpowiednimi odczuciami cieplnymi w wybranych skalach klimatu odczuwalnego (tab. 3). Dane

meteorologiczne wykorzystane do niniejszego opracowania pochodzą ze stacji meteorologicznej SGGW Warszawa-Ursynów z 1 IX 1997 r. – 30 IX 1998 r. Przyjęto następujące terminy pomiarowe: 100, 400, 700, 1000, 1300, 1600, 1900 i 2200 CSE.

Wyniki opracowań

W opracowanym okresie 1 IX 97 – 30 IX 98 r. w Warszawie-Ursynowie warunki biometeorologiczne były bardzo zróżnicowane zarówno w ciągu doby, miesiąca, pory roku i roku. W tabeli 2. zostały przedstawione średnie miesięczne wartości poszczególnych wskaźników biometeorologicznych i odpowiadające im odczucia cieplne według skal odczuć cieplnych. Widzimy, że w przypadku niedosytu fizjologicznego D w ciągu roku dominuje odczucie suchości, szczególnie zaznaczające się zimą przez wszystkie miesiące, a najkorzystniejsze warunki w odczuciu cieplnym – komfortu wystąpiły latem, a także w maju i we wrześniu 1997 i 1998 r. Wskaźniki temperatury ekwiwalentnej T_e (średnie miesięczne) zostały sklasyfikowane według różnych skal: Baranowskiej i Brazola. Można stwierdzić, że rodzaje odczuć cieplnych wyznaczone według tych skal są podobne. Całkowita zgodność występuje w maju, czerwcu i lipcu 1998 r. Na przykład w maju według skali Baranowskiej wystąpiło odczucie komfortu, a u Brazola warunki przyjemnego chłodu, co odpowiada odczuciu komfortu termicznego. Ogólnie można stwierdzić, że najbardziej zbliżone odczucia cieplne w obu skalach wystą-

piły wiosną, ale i w pozostałych miesiącach nie różnią się znacznie. Dla wskaźnika temperatury efektywnej TE odczucia cieplne są bardzo podobne jak w dwóch wyżej opisanych wskaźnikach, mianowicie prawie przez pół roku występowały warunki komfortu (IV–IX), wyjątkiem był czerwiec – „ciepły”, a przez drugą połowę roku dominowało odczucie „chłodu” (X–III) oprócz stycznia 1998 r. Podobną tendencję oceny odczuć cieplnych można zauważyć w przypadku dwóch kolejnych wskaźników, tj. entalpia powietrza i ochładzanie suche powietrza. W tabeli 1 została przedstawiona częstość [%] występowania poszczególnych rodzajów odczuć cieplnych wyznaczonych dla wybranych wskaźników biometeorologicznych według różnych skal odczuć cieplnych dla miesięcy i pór roku w Warszawie-Ursynów 1 IX 1997–30 IX 1998 r.

Według wskaźnika niedosytu fizjologicznego D miesiącem o największej częstości występowania odczucia parności był czerwiec (43,3%), o największej częstości występowania odczucia komfortu wrzesień 1998 r. (96,7%) i odczucia suchości styczeń i marzec (100%). Natomiast najbardziej komfortową porą roku było lato (69,4% dni) i jesień (57,9%), a najbardziej uciążliwą zima (94,3% dni) z odczuciem suchości.

Dla temperatury efektywnej TE odczucia cieplne dla poszczególnych miesięcy kształtowały się w następujący sposób: miesiącem o odczuciu cieplnym najbardziej komfortowym był wrzesień 1998 r. (63,4%), najmniej październik 1997 r. (12,9%). Miesiącami o bardzo skrajnych odczuciach cieplnych, a zara-

zem nie mieszczących się w skali Baranowskiej były: odczucie upału w czerwcu (6,7%) i lipcu (3,2%) oraz mroźno w październiku (22,6%), listopadzie, grudniu, lutym, a nawet jeden dzień z odczuciem – mroźno wystąpił w marcu i maju. Bardzo dobre warunki biometeorologiczne (komfortu) wystąpiły zimą 44,1%, pozostałe pory roku (ok. 30%), a niezwykle mroźną w odczuciu ciepłym porą roku była jesień, aż 6,5% dni, której wartości nie mieściły się w skali klimatu odczuwalnego według Baranowskiej.

Dla ochładzania suchego najbardziej komfortowym miesiącem w skali odczuć ciepłych był kwiecień (50% dni). Miesiącami z odczuciem gorąco najczęściej było we wrześniu 1997 r. (13,3%) oraz maju (6,5%) i lipcu (6,4%), a miesiącami z największą częstością odczucia mroźno były: luty (39,3%), marzec (38,7%) i październik (29%). W miesiącach tych odczucie mroźno było szczególnie uciążliwe i został utworzony dodatkowy przedział odczuć ciepłych – mroźno.

Według pór roku najczęściej odczuć komfortu wystąpiło wiosną (23,1%) oraz latem (21,8%), jednak wiosną było stosunkowo dużo dni z odczuciem mroźno (16,2%), a w lecie dużo dni zimnych (utworzony dodatkowy przedział odczuć ciepłych – zimno) 32,4% dni. Jesienią poza skalą wystąpiło 10,6% dni o odczuciu mroźno i najczęściej z wszystkich pór roku dni z odczuciem chłodu 33,1%.

Dla temperatury ekwiwalentnej T_e zostały użyte jak już wspomniano wyżej dwie skale odczuć ciepłych: Baranowskiej i Brazola. Najbardziej komfortowym miesiącem według skali Baranowskiej był grudzień 41,9% tj. 13 dni

w miesiącu, w czasie których było bardzo przyjemnie, a według skali Brazola najbardziej komfortowym miesiącem był czerwiec 33,3%, tj. 10 dni. Miesiącem o dużej częstości wystąpienia odczucia mrozu był nietypowy miesiąc marzec 22,6%, w którym wartości wychodziły poza skalę Baranowskiej oraz październik 19,3%. Według skali Brazola było podobnie: w marcu 54,8% i w listopadzie 46,6%. Najwięcej dni z odczuciem ciepłym komfortu było zimą 34,4% dni komfortowych, najmniej jesienią – 10% dni komfortowych. Jesień ogólnie była odczuwana jako zimna 47,3%, wiosna jako ciepła 25,2%, a lato dość chłodne 20,5%, a nawet zimne 33,3%.

Ostatnim wskaźnikiem jest entalpia powietrza. Według skali Brazola najbardziej komfortowymi były miesiące letnie (VI–VIII) 25%, najbardziej uciążliwymi miesiące zimowe o odczuciu ciepłym mroźno 36,2%, upalnymi miesiące letnie (VI–VIII) 22,9%.

W tabeli 3. zamieszczono dobowe przebiegi wybranych wskaźników biometeorologicznych i ocenę odczuć ciepłych i suchości przez człowieka przebywającego na wolnym powietrzu, ubranego stosownie do pory roku, wykonującego lekką pracę fizyczną dla wybranych dni z opracowanego okresu.

Jesień. Dzień 2 IX 97 r. był słonecznym, gorącym dniem jesiennym. Wysoka temperatura powietrza i bardzo słaby wiatr sprawiały, że w tym dniu odczucia ciepłe nie spadły poniżej – odczucia ciepła. Warunki bioklimatyczne były najbardziej uciążliwe w ciągu dnia (10^{00} – 19^{00}), niż wieczorem, np. według wskaźnika i było upalnie, H_s – gorąco, T_e – upalnie

TABELA 1. Częstość [%] występowania poszczególnych rodzajów odczuć cieplnych wyznaczonych na podstawie wybranych wskaźników biometeorologicznych wg różnych skal odczuć cieplnych dla miesięcy i pór roku w Warszawie-Ursynowie 1 IX 97 r. – 30 IX 98 r.

TABLE 1. Frequency [%] of individual kinds of thermal feelings calculated on the base biometeorological indices according different scales of thermal feelings for months in Warsaw-Ursynów 1 IX 97–30 IX 98

Niedosyt fizjologiczny wg skali odczuć cieplnych S. Tyczki/ Physiological saturation deficit according to S. Tyczka scale of thermal feelings

Odczucie cieplne/ thermal feeling	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX–XI	XII–II	III–V	VI–VIII
Parno/ sultrity – p	10,0									43,3	35,5	12,9	3,3	3,3			30,6
Komfort/ comfort – k	70,0	38,7	26,7	6,5		10,7		53,3	80,6	56,7	64,5	87,1	96,7	57,9	5,7	44,6	69,4
Sucho/ dry – s	20,0	61,3	73,3	93,5	100,0	89,3	100,0	46,7	19,4					38,8	94,3	55,4	

Ochładzanie suche wg skali odczuć cieplnych M. Baranowskiej /Cooling power according to M. Baranowska scale of thermal feelings

Odczucie cieplne/ thermal feeling	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX–XI	XII–II	III–V	VI–VIII
Upalnie/ heat – u																	
Gorąco/ hot – g	13,3								6,5		6,4			3,3		2,2	2,1
Ciepło/ warm – c	30,0	3,2		3,2	25,8			6,7	32,2	43,3	9,7	9,7	10,0	10,8	1,6	12,9	20,9
Komfortowo/ comfortable – k	20,0	3,2	20,0	12,9	19,4	7,1	3,2	50,0	16,1	23,3	19,4	22,6	33,3	19,2	10	23,1	21,8
Chłodno/ cool – ch	33,3	22,6	43,3	42,0	25,8	21,4	42,0	13,3	22,6	16,7	29,0	22,6	33,3	33,1	31,7	26,0	22,8
Zimno/ cold – z	3,4	42,0	23,3	29,0	12,9	32,2	16,1	26,7	16,1	16,7	35,5	45,1	23,4	23,0	30,6	19,6	32,4
Mroźno/ frost – m		29,0	13,4	12,9	16,1	39,3	38,7	3,3	6,5					10,6	26,1	16,2	

Temperatura efektywna wg skali odczuć cieplnych M. Baranowskiej/ Effective temperature according to M. Baranowska scale of thermal feelings

Odczucie cieplne/ thermal feeling	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX-XI	XII-II	III-V	VI-VIII
Upalnie/ heat - u																	
Gorąco/ hot - g	3,3		10,0							6,7	3,2						3,3
Ciepło/ warm - c	13,4	3,2		9,7	29,0	14,3		30,0	22,6	23,3	6,5	6,5		3,3		7,5	12,1
Komfortowo/ comfortable - k	36,7	12,9	20,0	41,9	41,9	46,4	19,4	36,7	35,5	30,0	29,0	35,6	63,4	33,2	44,1	30,5	31,5
Chłodno/ cool - ch	43,3	41,9	36,7	29,0	12,9	25,0	48,4	23,3	6,4	10,0	25,8	19,3	33,3	38,8	27	26,1	18,4
Zimno/ cold - z	3,3	19,4	30,0	6,5	9,7	3,6	29,0	10,0	9,7	3,3	6,5	19,3	3,3	14	5,1	16,2	9,7
Mroźno/ frost - m		22,6	3,3	12,9	6,5	10,7	3,2		3,2					6,5	11,8	2,2	

Temperatura ekwiwalentna₁ wg skali odczuć cieplnych M. Baranowskiej\ Equivalent temperature according to M. Baranowska scale of thermal feelings

Odczucie cieplne/ thermal feeling	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX-XI	XII-II	III-V	VI-VIII
Upalnie/ heat - u																	
Gorąco/ hot - g		6,5	3,3				3,2		23	30	3,2	3,2		2,4		8,6	12,1
Ciepło/ warm - c		6,5	10	19	41,9	50	6,5	43	26	6,7	6,5	3,2		4,1	37,1	25,2	5,5
Komfortowo/ comfortable - k		6,5	23	42	29	32	6,5	33	29	30	19	9,7	10	10	34,4	23	19,7
Chłodno/ cool - ch	30	32	17	16	6,5	7,1	29	17	16	6,7	29	25,8	13,3	23	9,9	20,6	20,5
Zimno/ cold - z	70	29	43	9,7	19,4	3,6	32,2	6,7	6,5		42	58,1	46,7	47,3	10,9	15,1	33,3
Mroźno/ frost - m		19	3,4	13	3,2	7,1	22,6							30	13,2	7,7	7,5

Tabela 1. cd. / Table 1. Cont.

Temperatura ekwiwalentna wg skali odczuć cieplnych D. Brazola\ Equivalent temperature according to D. Brazola scale of thermal feelings

Odczucie cieplne/ thermal feeling	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX-XI	XII-II	III-V	VI-VIII
Mroźno/ frost- m		19	47	39	32,2	18	54,8							16,5	29,6	18,3	
Zimno/ cold- z		19	17	39	45,2	29	25,8							9	37,5	8,6	
Umiarkowanie zimno/restrainedly cool- uz	10	29	17	23	22,6	46	16,2	37	13		3,3	16,1	60	28,9	30,5	21,9	6,5
Chłodno/ cool- ch	83	16	13			7,2	3,2	37	19		32	29	26,6	34,9	2,4	19,7	20,4
Przyjemnie chłodno/ pleasantly cool- pch	6,7	3,2	6,6					27	29	10	26	35,6	6,7	5,8		18,6	23,8
Optimum komfortu/ optimum comfort- ok		6,4						100	16	33	19	12,9	6,7	3,3		5,4	21,8
Przyjemnie ciepło/pleasantly warm- pc		6,4							23	3,3	13	3,2		1,6		7,5	6,5
Bardzo ciepło/ very warm- bc										20	6,4	3,2					9,9
Upalnie/heat- u										33							
Parno/ sultrity- p																	11,1
Nieznosny upał/ unbearable heat- nu																	
Udar cieplny/ heatstroke- uc																	

Entalpia powietrza wg skali odczuć ciepłych D. Brazola\ Enthalpy of air according to D. Brazola scale of thermal feelings

Odczucie cieplne/ thermal feeling	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX-XI	XII-II	III-V	VI-VIII
Mroźno/ frost- m		19,4	46,6	51,6	35,5	21,4	64,6							16,5	36,2	21,4	
Zimno/ cold - z		16,0	16,7	25,8	38,7	25,0	16,1	3,3						8,2	29,8	6,5	
Umiarkowanie zimno/restrainedly cool - uz	20,0	32,3	16,7	22,6	25,8	46,4	16,1	40,0	12,9				3,3	18	31,6	23	
Chłodno/ cool - ch	33,3	19,4	16,7			7,2	3,2	40,0	25,7	3,3		9,7	33,3	25,7	2,4	23	4,3
Przyjemnie chłodno/ pleasantly cool - pch	16,7	3,2	3,3					16,7	22,6	20,0	6,5	25,7	26,7	12,5		13,1	17,4
Optimum komfortu/ optimum comfort - ok	20,0	6,5							19,4	20,0	35,5	19,4	23,3	12,4		6,5	25
Przyjemnie ciepło/pleasantly warm - pc		3,2						19,4	6,7	19,4	16,1	6,7	2,5			6,5	14,1
Bardzo ciepło/ very warm - bc	10,0									13,3	16,1	19,4	6,7	4,2			16,3
Upalnie/heat - u										36,7	22,5	9,7					22,9
Parno/ sultrity - p																	
Nieznosny upał/ unbearable heat - nu																	
Udar cieplny/ heatstroke - uc																	

TABELA 2. Średnie miesięczne wartości wskaźników biometeorologicznych i odczuć ciepłych wg wybranych skal odczuć ciepłych w Warszawie-Ursynowie 1 IX 97 r. – 30 IX 98 r.

TABLE 2. Mean monthly values of biometeorological indices and thermal feelings according some scales of thermal feelings in Warsaw-Ursynów 1 IX 97 – 30 IX 98

Wskaźniki biometeorologiczne	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Biometeorological indices													
<i>D</i>	38,2 k	40,5 s	41,7 s	42,7 s	42,8 s	42,0 s	43,2 s	40,1 s	38,5 k	34,5 k	34,7 k	35,8 k	37,5 k
<i>Te</i> ₁	27,0 z	20,4 ch	14,5 ch	9,0 ch	9,7 k	14,3 k	10,2 ch	25,4 k	33,3 k	45,4 g	33,7 ch	31,0 z	25,5 z
<i>Te</i> ₂	ch	uz	z	m	m	z	z	ch	p c h	b c	pch	pch	ch
<i>TE</i>	10,6 k	-0,8 ch	-4,0 ch	-8,0 ch		-6,3 ch	-5,5 ch	4,4 k	9,9 k	14,3 c	13,8 k	12,2 k	9,3 k
<i>i</i>	7,7 pch	4,9 uz	3,4 z	2,1 m	2,3 m	3,4 z	2,4 m	6,1 ch	8,0 pch	11,0 pc	10,8 pc	9,9 ok	8,2 pch
<i>Hs</i>	12,2 k	24,7 z	24,4 ch	27,9 ch		31,4 z	28,5 z	19,8 ch	15,9 k	12,8 k	13,8 ch	14,8 ch	15,4 ch

TABELA 3. Wartości elementów meteorologicznych, wskaźników biometeorologicznych oraz ocena klimatu odczuwalnego dla wybranych dni w Warszawie-Ursynowie 1 IX 97 – 30 IX 98 r.

TABLE 3. Values of meteorological elements, biometeorological indices, and an assessment of sensed climate for selected days in Warsaw-Ursynów 1 IX 97 r. – 30 IX 98 r.

Data Date	godz. hour	<i>tp</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>v</i>	<i>p</i>	<i>i</i>		<i>Hs</i>		<i>D</i>		<i>Te</i>		<i>TE</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2 IX 97	1	16,7	95,4	13,7	0,0	755,9	10,9	pc	4,0	g	33,3	p	45,2	c	bc	16,6	c
	4	15,8	95,2	12,9	0,0	755,8	10,3	pc	4,1	g	34,1	k	42,6	c	pc	15,7	c
	7	16,3	96,9	13,6	0,2	756,0	10,8	pc	7,8	g	33,4	p	44,6	c	pc	16,2	c
	10	21,7	76,5	15,1	0,7	756,0	12,9	u	7,8	g	31,9	p	53,1	u	u	19,1	g
	13	24,1	61,2	14,0	0,9	756,1	12,9	u	7,1	g	33,0	p	53,2	u	u	20,3	g
	16	23,5	62,0	13,7	0,6	756,1	12,6	u	6,5	g	33,3	p	51,9	g	u	20,5	g
	19	20,6	74,5	13,7	0,0	756,1	11,9	bc	3,2	u	33,3	p	49,1	g	bc	19,5	g
	22	18,5	71,6	11,6	0,2	756,3	10,3	pc	7,0	g	35,4	k	42,5	c	pc	17,5	c

22 X 97	1	-0,9	74,1	3,2	2,1	756,8	1,3	m	30,5	<u>m</u>	43,8	s	5,6	<u>m</u>	m	-9,6	<u>m</u>
	4	-0,9	75,2	3,2	1,8	756,0	1,4	m	28,3	<u>m</u>	43,8	s	5,7	<u>m</u>	m	-8,6	<u>m</u>
	7	0,2	73,9	3,4	1,1	755,5	1,7	m	22,3	z	43,6	s	7,3	<u>m</u>	m	-4,5	z
	10	3,9	62,3	3,8	2,0	754,7	2,8	z	25,8	z	43,2	s	11,8	z	z	-3,0	z
	13	5,8	45,8	3,2	3,1	753,6	3,0	z	29,5	<u>m</u>	43,8	s	12,4	z	z	-2,2	z
	16	5,0	51,8	3,4	2,0	752,5	2,9	z	25,0	z	43,6	s	12,1	z	z	-1,3	z
	19	4,2	55,6	3,4	1,6	750,5	2,7	z	23,6	z	43,6	s	11,4	z	z	-1,4	z
	22	3,1	63,1	3,6	2,2	749,5	2,5	m	27,6	<u>m</u>	43,4	s	10,7	<u>m</u>	z	-4,4	z
17 XII 97	1	-18,6	58,3	0,5	3,1	774,0	-4,2	m	52,9	<u>m</u>	46,5	s	-17,6	<u>m</u>	uz	-30,6	<u>m</u>
	4	-19,5	61,3	0,5	2,4	773,8	-4,4	m	48,2	<u>m</u>	46,5	s	-18,5	<u>m</u>	uz	-29,9	<u>m</u>
	7	-19,3	68,2	0,6	2,2	772,2	-4,4	m	46,2	<u>m</u>	46,4	s	-18,1	<u>m</u>	uz	-30,1	<u>m</u>
	10	-16,4	62,5	0,7	2,8	771,2	-3,6	m	48,8	<u>m</u>	46,3	s	-15,0	<u>m</u>	z	-28,0	<u>m</u>
	13	-11,9	52,1	0,9	2,8	769,8	-2,4	m	44,6	<u>m</u>	46,1	s	-10,2	<u>m</u>	z	-21,4	<u>m</u>
	16	-13,8	60,0	0,8	2,6	768,2	-2,9	m	44,9	<u>m</u>	46,2	s	-12,1	<u>m</u>	z	-24,0	<u>m</u>
	19	-15,5	64,6	0,8	2,2	767,0	-3,3	m	43,0	<u>m</u>	46,2	s	-13,9	<u>m</u>	z	-25,2	<u>m</u>
	22	-16,8	75,5	0,8	2,0	766,0	-3,6	m	42,3	<u>m</u>	46,2	s	-15,2	<u>m</u>	uz	-27,6	<u>m</u>
25 II 98	1	4,1	67,5	4,1	1,9	761,0	3,0	z	25,3	ch	42,9	s	12,7	k	z	-2,9	k
	4	1,1	72,7	3,6	1,5	763,0	2,0	m	24,9	ch	43,4	s	8,5	ch	m	-5,2	k
	7	0,2	74,8	3,5	1,6	763,3	1,8	m	26,5	ch	43,5	s	7,4	ch	m	-6,8	ch
	10	2,9	55,5	3,1	2,1	766,0	2,2	m	27,4	ch	43,9	s	9,3	ch	m	-4,0	k
	13	5,6	41,8	2,9	1,7	766,3	2,8	z	23,0	k	44,1	s	11,4	k	z	0,4	c
	16	6,6	43,4	3,2	1,6	766,1	3,2	z	21,8	k	43,8	s	13,1	k	z	1,5	c
	19	5,1	57,0	3,8	2,0	765,8	3,1	z	24,9	ch	43,2	s	12,8	k	z	-1,4	k
	22	4,9	63,1	4,1	2,7	764,8	3,2	z	28,5	z	42,9	s	13,3	k	z	-3,4	k
3 III 98	1	3,5	78,5	4,6	4,1	746,5	3,1	z	35,8	<u>m</u>	42,4	s	13,2	ch	z	-8,3	z
	4	4,0	70,8	4,3	5,6	747,0	3,1	z	40,4	<u>m</u>	42,7	s	13,1	ch	z	-8,8	z
	7	3,5	80,2	4,7	4,2	748,0	3,2	z	36,0	<u>m</u>	42,3	s	13,4	ch	z	-8,6	z
	10	6,8	79,7	5,9	4,0	748,4	4,6	uz	31,7	<u>m</u>	41,1	s	19,2	k	uz	-4,0	ch
	13	7,2	85,0	6,5	3,8	748,2	5,0	uz	30,8	z	40,5	s	20,8	k	uz	-3,6	ch
	16	7,3	89,8	6,9	2,1	747,7	5,2	uz	23,8	ch	40,1	s	21,8	c	uz	-0,8	k
	19	8,1	79,4	6,4	3,1	746,0	5,2	uz	27,0	z	40,6	s	21,7	c	uz	-1,1	k
	22	6,9	91,3	6,8	2,8	744,0	5,0	uz	27,0	z	40,2	s	21,3	c	uz	-2,7	ch

tabela 3. cd
table 3. cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
28 V 98	1	12,8	88,5	8,5	0,3	751,2	7,3	ch	9,8	c	38,5	k	30,5	k	pch	12,1	c
	4	11,7	94,4	9,8	1,0	751,6	7,7	pch	14,9	k	37,2	k	32,1	k	pch	7,6	k
	7	19,0	75,3	12,5	0,1	752,0	10,9	pc	5,4	g	34,5	k	45,2	g	bc	18,1	g
	10	25,9	45,6	11,7	0,8	752,5	12,1	u	5,9	g	35,3	k	50,2	<u>u</u>	u	21,3	<u>u</u>
	13	26,8	40,1	10,8	1,3	752,5	11,9	bc	6,4	g	36,2	k	49,4	<u>u</u>	bc	21,2	<u>u</u>
	16	27,5	33,7	9,5	1,7	753,0	11,4	bc	6,7	g	37,5	k	47,3	<u>u</u>	bc	21,1	<u>u</u>
	19	23,8	47,6	10,7	2,4	752,9	11,1	bc	10,9	c	36,3	k	46,1	<u>u</u>	bc	17,6	g
	22	18,4	65,9	10,6	1,6	753,0	9,7	ok	13,0	k	36,4	k	40,4	g	pc	13,5	c
3 VIII 98	1	21,9	96,2	19,2	1,1	754,2	15,1	u	9,0	k	27,8	p	44,4	c	pc	19,1	g
	4	21,5	95,1	18,6	2,0	753,2	14,6	u	11,9	k	28,4	p	43,3	c	pc	17,1	c
	7	23,9	88,2	20,0	1,6	753,9	16,0	u	9,2	k	27,0	p	47,3	g	bc	20,2	g
	10	29,4	70,7	22,3	1,8	753,6	18,6	u	5,5	g	24,7	p	55,5	<u>u</u>	u	25,4	<u>u</u>
	13	30,6	61,4	20,8	4,0	754,4	18,1	u	6,3	c	26,2	p	54,9	<u>u</u>	u	25,3	<u>u</u>
	16	29,1	63,4	19,6	2,4	754,7	17,1	u	6,4	c	27,4	p	52,1	g	u	24,2	<u>u</u>
	19	25,1	72,3	17,7	2,4	754,4	15,1	u	9,7	k	29,3	p	45,9	c	bc	20,3	g
	22	22,9	82,0	17,5	3,0	754,7	14,4	u	12,8	ch	29,5	p	43,3	c	pc	17,4	c
28 VIII 98	1	8,3	90,9	7,5	1,7	748,9	5,7	uz	21,0	<u>z</u>	39,5	k	17,1	<u>z</u>	uz	1,5	<u>z</u>
	4	8,0	91,0	7,3	1,1	748,5	5,6	uz	17,5	<u>z</u>	39,7	k	16,7	<u>z</u>	uz	3,2	<u>z</u>
	7	9,5	90,6	8,1	1,7	748,5	6,3	ch	20,1	<u>z</u>	38,9	k	19,0	<u>z</u>	uz	2,9	<u>z</u>
	10	13,5	74,9	8,7	2,7	748,9	7,6	pch	20,7	<u>z</u>	38,3	k	23,8	<u>z</u>	uz	6,2	<u>z</u>
	13	14,0	62,6	7,6	3,0	749,0	7,1	ch	21,2	<u>z</u>	39,4	k	22,9	<u>z</u>	uz	6,5	<u>z</u>
	16	16,2	54,1	7,5	3,1	749,0	7,7	pch	19,5	<u>z</u>	39,5	k	25,1	<u>z</u>	ch	8,9	ch
	19	13,1	74,2	8,4	2,2	749,3	7,4	ch	19,4	<u>z</u>	38,6	k	23,0	<u>z</u>	uz	6,5	<u>z</u>
	22	12,6	80,3	8,8	2,0	749,7	7,4	ch	18,9	<u>z</u>	38,2	k	23,0	<u>z</u>	uz	6,2	<u>z</u>

t – temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$], f – wilgotność względna [%], e – ciśnienie aktualne pary wodnej [mm Hg], p – ciśnienie atmosferyczne [mm Hg], v – prędkość wiatru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

t – air temperature [$^{\circ}\text{C}$], f – relative humidity [%], e – water vapour pressure [mm Hg], p – atmospheric pressure [mm Hg], v – wind speed [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

dalsze objaśnienia jak w tabeli 1

other explanation see table 1.

i gorąco, czy także bardzo ciepło według skali Brazola i *TE* – gorąco. Niedosyt fizjologiczny jako wskaźnik parności wskazywał w ciągu całego dnia odczucie parności oprócz godzin nocnych i rannych, gdzie warunki odczuwalne były komfortowe. Zupełnie innym dniem był drugi wybrany dzień jesieni 22 X 97 r. w którym temperatura powietrza była bardzo niska ($-0,9^{\circ}\text{C}$ o godz. 1^{00} – $5,8^{\circ}\text{C}$ o godz. 13^{00}), wiał umiarkowanie silny wiatr i zaznaczył się dość znaczny spadek ciśnienia atmosferycznego ($756,8\text{--}749,5$ mm Hg). To spowodowało odczucie suchości według skali Tyczki przez cały dzień. Uciążliwe warunki meteorologiczne sprawiły także, że wartości wskaźników biometeorologicznych według skali Baranowskiej pomiędzy godz. 1^{00} – 7^{00} nie mieściły się w powyższej skali. Utworzono więc dodatkowy przedział odczuć ciepłych – mroźno. W późniejszych godzinach aż do godz. 22^{00} zgodnie, we wszystkich wskaźnikach biometeorologicznych były odczuwane warunki termiczne jako zimno. Wyjątek stanowiło *Hs* o godz. 13^{00} , gdzie uczucie to wzmogło się i było odczuwane jako mroźno.

Zima. Dzień 17 XII 97 r. był szczególnie mroźny, gdyż temperatura powietrza w nocy spadła do około -19°C , z umiarkowanie silnym wiatrem i malejącym ciśnieniem atmosferycznym. Natomiast 25 II 98 r. było ciepło jak na tę porę roku (temperatura powietrza powyżej 0°C) i wiał słaby wiatr. W obu dniach wskaźnik niedosytu fizjologicznego wskazywał odczucie suchości, ze względu na małą wilgotność względną i dość słaby wiatr. 17 XII 97 r. prawie wszystkie wskaźniki wskazywały zgodnie odczucie

termiczne – mroźno przez całą dobę, z zaznaczeniem, że według skali Baranowskiej przedział mroźno został utworzony dodatkowo ze względu na zbyt małe wartości wskaźników biometeorologicznych, które nie mieściły się w skali. 25 II 98 r. odczucia ciepłe były bardziej zróżnicowane w ciągu dnia. Wskaźniki *Hs*, *Te* i *TE* skali Baranowskiej wskazywały w ciągu dnia podobne odczucia ciepłe – komfortu, a nawet ciepła (przedział utworzony dodatkowo) w *TE*. Natomiast wieczorem i w nocy warunki były mniej sprzyjające od chłodno do mroźno (mroźno wg skali Brazola).

Wiosna. 3 III 98 r. temperatura powietrza wynosiła od $3,5\text{--}7,3^{\circ}\text{C}$, wiał dość silny wiatr (ok. $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), ciśnienie atmosferyczne było niskie i wykazywało tendencję malejącą oraz wystąpiły opady deszczu. Według wskaźnika niedosytu fizjologicznego dzień odczuwany był jako suchy. W godzinach nocnych największą zgodność oceny uzyskuje się między wskaźnikami *i*, *Te*, *TE* (odczucie zimna). Wskaźnik *Hs* pokazuje bardziej skrajne odczucie – mroźno. W ciągu dnia występowały znaczne różnice pomiędzy wskaźnikami, większą czułość w ciągu dnia wykazują *TE* i *Hs*, które obliczane są wzorami uwzględniającymi większą liczbę parametrów, przede wszystkim prędkość wiatru. Według *TE* w godz. 10^{00} – 13^{00} i o 22^{00} występowało odczucie chłodu, a między 16^{00} – 19^{00} komfortu. Natomiast według wskaźnika *Hs* o godz. 16^{00} wystąpiło odczucie chłodu, a o godz. 13^{00} i popołudniu odczucie zimna. Natomiast 28 V 98 r. pod względem warunków meteorologicznych był odmienny od poprzedniego dnia. Temperatura powietrza była znacznie wyższa od dnia poprze-

dniego, wręcz nietypowa dla tej pory roku (o godz. 13⁰⁰ wynosiła 26,8°C), wiał słaby wiatr, a wilgotność względna była bardzo mała. Wskaźnik *D* pokazywał w tym dniu odczucie komfortu. Pod względem odczuć ciepłych według wybranych wskaźników dzień ten był bardzo zróżnicowany. W ciągu dnia zgodne odczucia ciepłe (upały) przedstawiały wskaźniki *TE* i *Te*. Pozostałe były bardzo zbliżone, *Hs* wskazywało gorąco, *i* – od przyjemnie ciepło o godz. 7⁰⁰ przez upalnie o godz. 10⁰⁰ i do końca dnia bardzo ciepło. Wieczorem i w nocy warunki termiczne były mniej uciążliwe i w wielu wskaźnikach pojawiły się odczucia komfortu, ciepła czy przyjemnego chłodu według skali Brazola.

Lato. W dniach 3 i 28 VIII 98 r. przebiegi dobowe wilgotności względnej i prędkości wiatru były podobne. Najbardziej zróżnicowana była temperatura powietrza, która była wyższa 3 VIII 98 r. i wynosiła około 30°C o godz. 13⁰⁰. Pod względem wskaźnika suchości *D* 3 VIII 98 r. był dniem parnym, a 28 VIII 98 r. komfortowym. W ciągu dnia 3 VIII 98 r. wskaźniki zgodnie wskazywały odczucie upału *TE*, *Te* oraz *i* (przez całą dobę). Bardziej zróżnicowane odczucia wskazywało *Hs*. Nocą wskaźniki były bardziej zróżnicowane i warunki były komfortowe *Hs* lub zbliżone do tego odczucia. 28 VIII 98 r. panowały przez cały dzień bardziej stabilne odczucia ciepłe. Zgodne były odczucia (zimna) w *TE*, *Te* i *Hs*. Odczucie zimna o tej porze roku jest bardzo nietypowe i przedział ten jest również utworzony dodatkowo. Inaczej i bardziej zróżnicowanie przedstawiają się odczucia ciepłe w *i* oraz *TE* w których została zastosowana skala Brazola.

Podsumowanie i wnioski

1. Najbardziej komfortową porą roku w opracowanym okresie 1 IX 97–30 IX 98 r. pod względem odczucia wilgotności według wskaźnika niedosytu fizjologicznego *D* było lato (69,4% dni), najmniej zima (5,7%).
2. Pod względem odczuć ciepłych człowieka ubranego stosownie do pory roku najbardziej komfortową porą roku zgodnie ze wskaźnikami *TE* i *Te* była zima. Natomiast najbardziej uciążliwą zarówno pod względem dyskomfortu zimnego – wiosna, lato; jak i dyskomfortu gorącego – lato.
3. Na szczególną uwagę pod względem nietypowych odczuć ciepłych zasługują takie miesiące jak:
 - bardzo ciepły czerwiec 1998 r., w którym według wskaźnika *Te* było 8 dni upalnych (26,6% według skali Baranowskiej i 33,4% według skali Brazola), według wskaźnika *TE* było odczuwane ciepło, a według pozostałych wskaźników były odczuwane warunki komfortu termicznego.
 - komfortowy styczeń 1998 r. według wskaźnika *Te* na podstawie skali Baranowskiej z wieloma dniami ciepłymi.
 - październik 1997 r. głównie z odczuciami chłodu i zimna według różnych wskaźników biometeorologicznych. Na uwagę zasługuje dość duża liczba dni o odczuciu mroźno i bardzo duża liczba dni (%) o odczuciu chłodno.
 - sierpień jako dość chłodny jak na lato (58,1% dni) o odczuciu zimna według wskaźnika *Te* (skala Baranowskiej) i po 19,3% dni z odczuciem

- chłodu i zimna według TE . Średnia miesięczna wartość T_e wynosi 31°C (zimno), TE 12°C (komfort) i H_s $14,8 \text{ mcal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (chłodno).
4. Wybrane dni z opracowanego okresu o przebiegu dobowym wartości wskaźników biometeorologicznych i odczuć ciepłych z poszczególnych pór roku pokazują, że bez względu na porę roku mogą wystąpić u człowieka wszystkie odczucia ciepłe, nawet te nietypowe dla danej pory roku, jak: odczucie ciepłe – zimno latem (28 VIII 98 r.) czy odczucie ciepła – zimą (25 II 98 r.). Inna jest oczywiście częstotliwość występowania tych nietypowych odczuć ciepłych w poszczególnych porach roku.
 5. Należy podkreślić, że bardzo duży zakres zmian wartości wskaźników biometeorologicznych, spowodowany zróżnicowanym przebiegiem poszczególnych elementów meteorologicznych, utrudnia interpretację wyników i ocenę odczuć ciepłych.

Literatura

BARANOWSKA M., BONIECKA-ŻÓŁCIK H., GURBA A. 1986: *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*. Przegl. Geofiz., R. XXXI, z. 1, Warszawa.

KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA T., BŁĄŻEJCZYK K., KRAWCZYK B. 1997: *Bioklimatologia człowieka*. Monografie I PAN, IGiPZ, Warszawa.

ŁYKOWSKI B., MADANY R., SZWED-ILNIČKA C. 1995: *Wybrane zagadnienia z klimatologii ogólnej i stosowanej*. Fundacja „Rozwój SGGW”, Wyd. MiŚ SGGW, Warszawa.

Summary

Characteristic of biometeorological conditions in Warsaw-Ursynów since IX.1997 to 30. IX.1998. Biometeorological indices as: physiological saturation deficit, equivalent temperature, effective temperature, cooling power and enthalpy of air were used for assessing sensed climate in the Ursynów area. Thermal feelings of some biometeorological indices considered season have been as follows: according the equivalent temperature and the effective temperature winter was the most „comfortable” season for human being and summer was the most „heaviest” one. It refers especially to days with extreme thermal feeling „hot” has been ascertained for autumn, spring and summer, „cold” and sometimes „frost” has been ascertained for autumn, summer and winter.

Author's address:

K. Rozbicka
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warsaw, ul. Nowoursynowska 166
Poland

Henryk PAWŁAT

Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska SGGW
Department of Natural Bases of Environmental Engineering WAU

Edward WIENCLAW

Katedra Technologii Prac Wodnych i Melioracyjnych, Pracownia Hydrogeologii SGGW
Department of Technology of Land Reclamation, Works and Hydrogeology WAU

Projekt monitoringu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki

The project of underground waters monitoring in the Electric Plant Siekierki ash dump region

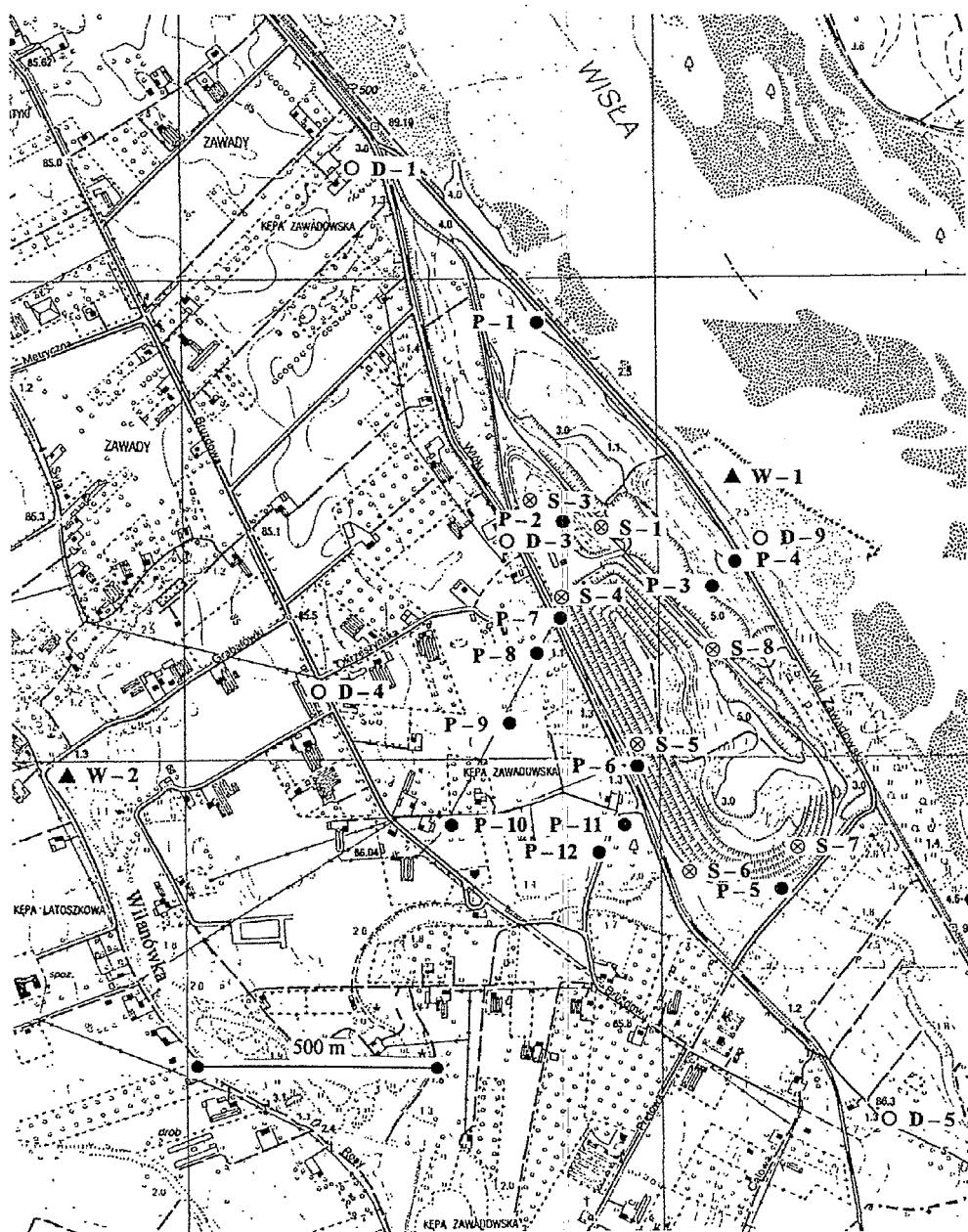
Wstęp

Składowisko odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki położone jest w granicach gminy Warszawa-Wilanów na lewobrzeżnym tarasie zalewowym wyższym doliny Wisły, przy wale przeciwpowodziowym (rys. 1). Odpady paleniskowe są gromadzone na składowisku od 1962 roku. Lokalizacja składowiska na terenie o podłożu charakteryzującym się dużą zdolnością do infiltracji wód z powierzchni terenu i jednocześnie płytkim występowaniu zwierciadła wód podziemnych stwarza zagrożenie dla jakości wód podziemnych (Pawłat i Matyjasik 1994).

Badania jakości wód podziemnych w otoczeniu składowiska prowadzone były w latach 1977–1990 (Kobus 1985, 1986, 1987, Płochniewski 1990). Wynika z nich, że oceny wpływu składowiska na

wody podziemne na podstawie dotychczasowych badań nie można sformułować jednoznacznie. Jakość wód w otoczeniu składowiska jest kształtowana przez zespół czynników naturalnych i antropogenicznych, a wyjaśnienie wpływu składowiska na wody podziemne na tle innych czynników wymaga specjalistycznych, długotrwałych badań monitoringowych wód podziemnych i interpretacji ich wyników w aspekcie ochrony środowiska wód podziemnych (Pawłat i Matyjasik 1994).

Projekt monitoringu wód podziemnych, poprzedzony rozpoznaniem sytuacji hydrogeologicznej i hydrochemicznej w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki wykonano w 1996 roku (Pawłat i in. 1996). Jest on przedmiotem niniejszej oceny.



RYSunEK 1. Sieć obserwacyjna w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki: P – piezometry podstawowe, D – piezometry uzupełniające, S – studnie eksploatacyjne, W – wodowskazy

FIG. 1. The observation network in the Electric Plant Siekierki ash dump region: P – basic piezometres, D – supplementary piezometres, S – exploitation wells, W – water-gauges

Charakterystyka składowiska

Składowisko odpadów paleniskowych jest jednym z ostatnich ogniw ciągu technologicznego Elektrociepłowni Siekierki. Przyjmuje w ostatnich latach około 140 tys. ton w ciągu roku stałych odpadów po spalaniu węgla kamiennego, zawierających od 90% do 99% popiołu i od 1 do 10% żużla.

Na terenie składowiska o powierzchni 45 ha można wyróżnić składowisko stałe i składowisko przejściowe (zajmujące powierzchnię 34 ha), bazę remontowo-socjalną, układ komunikacyjny oraz uzbrojenie podziemne terenu. Dla składowiska wyznaczona jest 500 m strefa ochronna. W jej obrębie określono 100-metrową podstrefę wykwaterowania i pas szerokości 50 m dla zwartej zieleni izolacyjnej.

Popiół charakteryzuje się dużą zmiennością właściwości chemicznych w poszczególnych latach (tab.). Skład chemiczny zależy od jakości spalanego w elektrociepłowni węgla. Popiół ma znaczną

alkaliczność. Zawiera duże ilości krzemionki, żelaza i glinu. Zawiera również znaczne ilości wapnia i magnezu.

Popiół nie zawiera azotu, ma natomiast niewielkie zasoby fosforu i potasu. W procesie spalania węgla w wysokich temperaturach pierwiastki te ulegają stratom.

Dla większości oznaczonych metali ciężkich w popiołach zawartości średnie mieszczą się w pobliżu górnej granicy gleb nie zanieczyszczonych. Jedynie zawartość Zn, Cu i Pb w popiołach jest często większa od średnich dla gleb mineralnych.

Oddziaływanie składowiska na środowisko wód podziemnych wiąże się przede wszystkim ze zmianą warunków infiltracji opadów atmosferycznych i spływu powierzchniowego w otoczeniu składowiska oraz z infiltracją w dużym stopniu zmineralizowanych wód spływu powierzchniowego z terenu składowiska w jego podłoże i do płytkich wód podziemnych przedpoła składowiska.

TABELA. Charakterystyka wybranych właściwości fizykochemicznych popiołów w latach 1977–1990 (Pawłat i Matyjasik 1994)

TABLE. The characterisation of chosen physicochemical ash parameters in the 1977–1990 period, according to Pawłat and Matyjasik

Oznaczenie Determination	Zawartość od-do Content from-to	Oznaczenie Determination	Zawartość od-do Content from-to
pH w H ₂ O	8,4–9,3	zasolenie	mhos. cm ² 4,3–5,0
SiO ₂	48–85	Cu	40–250
Ca	0,02–8,0	Zn	51–370
Mg	0,2–2,7	Pb	12–207
K % s. m.	0,06–4,4	Cr	25–363
P % d. w.	0,07–0,27	Ni	18–250
Na	0,03–3,3	Mn	224–1600
Fe	1,2–9,2	Cd	1–50
S	0,1–1,16	Co	1–33

Badania lizymetryczne zasięgu infiltracji z opadu atmosferycznego wykonane na terenie składowiska wykazały (Kobus 1985), że opady atmosferyczne o małym natężeniu mogą wsiąkać w całości w wierzchnią (prawie 0,5 m miąższości) warstwę popiołu. Opady ulewne i nawalne w części mogą wsiąkać w popiół, ale tylko w wierzchnią jego partię, częściowo zaś mogą spływać po powierzchni składowiska i na obrzeżach infiltrować do podłoża i wód podziemnych.

Z kolei badania składu chemicznego odcieków wodnych z popiołów składowiska Elektrociepłowni Siekierki wskazują (Kobus 1985, Duczynski i in. 1992), że wody spływające z terenu składowiska i infiltrujące do płytkich wód podziemnych w jego otoczeniu charakteryzują się dużą mineralizacją (do 3700 mg/dm^3), zwiększoną zawartością niektórych makroelementów (głównie: siarczanów, potasu, wapnia i sodu) i mikroelementów (głównie: litu, chromu i strontu) oraz silnie zasadowym odczynem ($\text{pH} > 10$).

Charakterystyka terenu wokół składowiska

Teren tarasu doliny Wisły wokół składowiska stanowi stosunkowo płaska powierzchnia o rzędnych 83–87 m n.p.m., odwadniana przez Wisłę i jej dopływ – Wilanówkę. Ujściowy odcinek rzeki Wilanówki ma wały wsteczne obustronne, zabezpieczające tereny chronione od napływu wód wielkich od strony Wisły. Na powierzchni tarasu zachowały się liczne starorzecza. Niektóre z nich wypełnione są wodą. Istnieje tu także do-

brze rozwinięta sieć drenażu melioracyjnego.

Obiektami sztucznymi, dominującymi w krajobrazie są: składowisko odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki wznoszące się 30 m nad powierzchnię terenu i wał przeciwpowodziowy Wisły, wzniesiony 5 m nad powierzchnię terenu.

Tereny przedpola składowiska, położone po jego zachodniej stronie, są obecnie użytkowane rolniczo. Występują tu gleby o wysokiej bonitacji, nadające się w większości pod uprawę warzyw i roślin okopowych, przeznaczonych na zaopatrzenie mieszkańców Warszawy. Dolina Wilanówki i międzywale Wisły są terenami rekreacji i wypoczynku dla aglomeracji warszawskiej. Pełnią one także funkcję korytarza ekologicznego w strefie wymiany i regeneracji powietrza.

Środowisko geologiczne monitorowanych wód podziemnych stanowią utwory czwartorzędowe. Zalegają pod nimi ły plioceńskie, których powierzchnia stropu została ukształtowana pod wpływem procesów glacitektonicznych i wód płynących w okresach interstadiałów. Miąższość osadów czwartorzędowych wynosi od 16 do ponad 20 m. W części przypowierzchniowej są to aluwia wiślane, wykształcone przede wszystkim jako piaski średnioziarniste i droбноziarniste o miąższości od kilku do ponad 10 m. Głębiej występują ły zastoiskowe, gliny zwałowe lub piaski i żwiry rzek lodowcowych. Lokalnie w przypowierzchniowej części osadów aluwialnych do głębokości od 1 do 5 m p.p.t. występują pyły, gliny pylaste i gliny.

Wyodrębnienie roli i zakresu oddziaływań składowiska na jakość płytkich wód podziemnych w jego otoczeniu jest trudne z uwagi na złożoną genezę kształtowania stanów i chemizmu wód podziemnych. Obserwowana zła jakość płytkich wód podziemnych jest przede wszystkim wynikiem specyficznych warunków hydrogeologicznych tego terenu, wyrażających się w szczególności w bardzo szybkiej infiltracji z powierzchni terenu opadów deszczu, wód roztopowych i wód spływu powierzchniowego. Kolejnym istotnym czynnikiem hydrogeologicznym, sprzyjającym zanieczyszczeniu płytkich wód podziemnych, jest ich silna więź hydrauliczna z wodami powierzchniowymi. Wysokie stany wód Wisły i Wilanówki uwiadcniają się w infiltracji wód powierzchniowych do wód podziemnych, w zahamowaniu odpływu gruntowego i w podpiętrzeniu płytkich wód podziemnych, co w konsekwencji negatywnie wpływa na jakość tych wód.

Cel i zadania monitoringu

Celem monitoringu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki jest rozpoznanie i śledzenie wpływu składowiska na jakość płytkich wód podziemnych.

Zadaniem monitoringu jest:

- zbieranie danych o stanach wód podziemnych pod składowiskiem i na terenach przyległych, umożliwiających określenie i prognozowanie dy-

namiki zmian w okresie rocznym i wieloletnim,

- zbieranie danych o jakości wód podziemnych pod składowiskiem i na terenach przyległych, umożliwiających ocenę stanu i występujących zmian oraz opracowanie prognoz hydrochemicznych,
- stworzenie bazy danych do wykonywania ocen i analiz porównawczych o środowisku wód podziemnych rejonu składowiska na potrzeby lokalne i regionu,
- określenie przyczyn zmian w środowisku wód podziemnych oraz ich roli i zakresu oddziaływań na dynamikę wód i chemizm wód podziemnych,
- kontrola wymagań prawa w zakresie ochrony wód podziemnych,
- zapewnienie dopływu wiarygodnych danych dla ustalenia kierunków oraz charakteru i zakresu działań ochronnych.

Dotychczasowa sieć obserwacyjna.

Monitoring wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki prowadzony był w latach 1977–1990 (Kobus 1985, 1986, 1987; Płochniewski 1990). Sieć kontrolno-pomiarową stanowiło 16 studni kopanych (3,5 do 4,7 m) i 15 studni wierconych (7 do 8 m). Badania obejmowały oznaczenia właściwości fizykochemicznych w 197 próbach wody. Usytuowanie studni i syntezę wyników badań zawiera opracowanie Pawłata i Matyjasiaka (1994). Prowadzony monitoring nie spełniał wprowadzonych wymagań PIOŚ (1991).

Projektowana sieć obserwacyjna, zakres, metodyka i częstotliwość badań

Projektowaną sieć monitoringu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki stanowią następujące punkty kontrolno-pomiarowe: dwanaście piezometrów podstawowych, pięć piezometrów uzupełniających, siedem studni eksploatacyjnych (wierconych) oraz dwa wodowskazy. Ponadto w skład sieci wchodzi: stacja meteorologiczna Warszawa-Bielany, wodowskaz na Wiśle Warszawa Nadwilanówka (posterunki IMGW) oraz stacja meteorologiczna Warszawa-Ursynów (posterunek SGGW). Rozkład punktów kontrolno-pomiarowych w obszarze badań hydrogeologicznych przedstawia rysunek 1.

Piezometry podstawowe o numerach P-1 do P-12 zaprojektowano jako otwory do badań stanu i jakości wód podziemnych o średnicy 75 mm i głębokości od 3 m (piezometr P-3) do 12 m (piezometr P-4), ujmujące warstwę wodonośną filtrem długości 1 m w strefie poniżej wahań zwierciadła wody. Piezometry: P-1 do P-7 zlokalizowano na terenie składowiska. Pozostałe piezometry zlokalizowano w strefie ochronnej składowiska, w odległości od 50 m (P-8 i P-11) do 400 m (P-10) od składowiska, wzdłuż dwóch przekrojów piezometrycznych.

Piezometry uzupełniające o numerach: D-1, D-3, D-4, D-5 i D-9 to już istniejące małośrednicowe (ϕ 40 mm) otwory badawcze o głębokości od 5 m (D-1) do 8 m (D-9). Zostały one wykonane w 1996 roku jako otwory do jednora-

zowych badań hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych, zleconych Uniwersytetowi Warszawskiemu przez Urząd Gminy Warszawa-Wilanów. Piezometr D-9 zlokalizowany jest na tarasie zalewowym niższym (w międzywału Wiśły), pozostałe – na tarasie zalewowym wyższym, w odległości od 200 m (D-3) do 550 m (D-4) od składowiska.

Studnie eksploatacyjne (wiercone) o numerach S-1 i S-3 do S-8 są zlokalizowane na terenie składowiska. Zostały one wykonane w latach 1978–1986 dla nawodnień terenu składowiska. Są to otwory o średnicy 325 mm, głębokości od 15 do 22 m i długości części roboczej filtra 5–8 m.

Wodowskazy zaprojektowano jako łąty wodowskazowe: W-1 na Wiśle i W-2 na Wilanówce. W ramach badań monitoringowych przewidziany do wykonania jest następujący zakres prac terenowych i laboratoryjnych: obserwacje stanów wód powierzchniowych, pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych, opróbowanie, pomiary odczynu i elektrycznej przewodności właściwej wraz z temperaturą próbek wody wykonane w terenie, analizy chemiczne oraz w sytuacjach występowania przejawów wód podziemnych na powierzchni terenu kartowanie hydrogeologiczne.

Sposób wykonywania obserwacji hydrologicznych i pomiarów hydrogeologicznych będzie miał charakter rutynowy. W piezometrach podstawowych i uzupełniających oraz na wodowskazach będą one dokonywane raz na dwa tygodnie lub częściej – co wynikać będzie przede wszystkim z sytuacji hydrologicznej w rejonie składowiska. Pomiary położenia

zwierciadła wody w studniach eksploatacyjnych planowane są także z częstotliwością raz na dwa tygodnie, ale z uwagi na prowadzoną ich modernizację częstotliwość pomiarów uwarunkowana będzie dostępnością studni. Pomiar w każdym z poszczególnych punktów badawczych odbywać się będzie od stałego, trwałego znaku mierniczego. Znak ten będzie zaniwelowany w nawiązaniu do sieci państwowej. Zmiany położenia znaku (mające miejsce w związku z przebudową studni) będą rejestrowane i uwzględniane przy opracowywaniu wyników pomiarów.

Terenowe pomiary pH i przewodności właściwej próbek wody z piezometrów i ze studni dokonywane będą przy użyciu pH-metru oraz konduktometru, mających automatyczną kompensację temperatury. Pomiary tych wskaźników fizykochemicznych dokonywane będą co dwa miesiące.

Badania fizykochemiczne i chemiczne próbek wody w laboratorium obejmują następujące oznaczenia: mętność, barwę, zapach, odczyn pH, twardość ogólną, zasadowość, kwasowość, żelazo, mangan, wapń, chlorki, fluorki, amoniak, azotyny, azotany, siarkowodór, siarczany, fosforany, dwutlenek węgla wolny, tlen rozpuszczony, utlenialność, suchą pozostałość, pozostałość po prażeniu, przewodność elektryczną właściwą, dwutlenek węgla agresywny, sód, potas, wodorowęglany, krzemionkę, glin, cynk, miedź, ołów, nikiel, kobalt, kadm i chrom. Oznaczenia wymienionych wskaźników wykonywane będą zgodnie z zalecanymi przez PIOŚ (1994) metodami analitycznymi. Próbkę do badań che-

micznych w laboratorium pobierane będą z piezometrów podstawowych oraz ze studni S-3 dwa razy do roku – na wiosnę i późnym latem.

Gromadzenie wyników badań i ich opracowanie

W początkowym okresie badań monitoringowych do gromadzenia i wstępnego przetwarzania wyników tych badań wykorzystywany będzie program komputerowy Microsoft Excel. W miarę gromadzenia wyników badań monitoringowych do ich przetwarzania i udostępniania planuje się zakup programu komputerowego, nawiązującego swoimi parametrami do komputerowej bazy danych Stacjonarnych Obserwacji Hydrogeologicznych Państwowego Instytutu Geologicznego (Kazimierski 1995).

Zgodnie z projektem, wyniki badań monitoringowych przedstawiane będą w formie rocznych raportów, zawierających wyniki obserwacji stanów wód podziemnych i wód powierzchniowych, pomiary odczynu i elektrycznej przewodności właściwej wraz z temperaturą próbek wody, wykonane w terenie oraz wyniki badań laboratoryjnych jakości wód podziemnych. Uzupełnieniem raportu będzie charakterystyka sytuacji hydrogeologicznej w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki w roku sprawozdawczym. Charakterystyka zawierać będzie opis zmian stanów zwierciadła wód podziemnych w omawianym roku, na tle stanów wód powierzchniowych i warunków meteorologicznych (temperatura powietrza, opady

atmosferyczne) oraz opis aktualnego stanu jakości wód podziemnych wokół składowiska. Raporty przekazywane będą właścicielowi monitoringu – elektrociepłowniom warszawskim S.A. i Elektrociepłowni „Siekierki” w Warszawie – w formie maszynopisu i w formie zbioru danych na dyskietce.

Przedstawiony projekt monitoringu wód podziemnych został zatwierdzony przez wojewodę warszawskiego decyzją nr 182/96 z dnia 5.12.1996 r. W 1998 r. przystąpiono do jego realizacji. Wyniki badań zostaną przedstawione w następnej publikacji. W 2000 r. przewidywane jest wykonanie raportu kompleksowego trzy-letnich badań wód podziemnych.

Podsumowanie i wnioski

1. Składowisko odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki stwarza zagrożenie dla wód podziemnych występujących w osadach czwartorzędowych. Wody te znajdują się także pod wpływem migracji zanieczyszczeń z przyległych rzek Wiśły i Wilanówki oraz z terenów rolniczych. Procesom zanieczyszczenia wód podziemnych sprzyja przepuszczalne podłoże w rejonie składowiska.
2. Ocena oddziaływania składowiska na wody podziemne jest szczególnie złożona ze względu na brak tła hydrogeochemicznego, występowanie źródeł zanieczyszczeń własnych i obcych oraz ograniczony zakres dotychczasowych badań.
3. Jakość płytkich wód podziemnych w obrębie składowiska i na terenach

przyległych, według badań z lat 1977–1990, jest zła – III klasa. Oddziaływanie składowiska na chemizm wód zaznacza się najwyraźniej w większej mineralizacji ogólnej.

4. Opracowany projekt lokalnego monitoringu wód podziemnych w rejonie składowiska składa się z 12 piezometrów podstawowych i 5 uzupełniających, 7 studni eksploatacyjnych (wierconych) oraz 2 wodowskazów. Sieć kontrolno-pomiarowa zapewni możliwość pomiarów dynamiki zwierciadła wód gruntowych, pobór prób wody do analiz chemicznych oraz nawiązanie do monitoringu lokalnego z lat 1977–1990 i monitoringu regionalnego prowadzonego przez PIOŚ. Metody, zakres i częstotliwość badań oraz system gromadzenia i opracowania otrzymanych wyników spełniają obowiązujące standardy.

Literatura

- DUCZYŃSKI J., MACIAK F., HRYNKIEWICZ S. 1992: *Skład chemiczny odcieków z popiołów i gleb nawożonych wysokimi dawkami popiołów*. W: *Ochrona i kształtowanie środowiska rolniczego*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- KAZIMIERSKI B. 1995: *Zasady udostępniania i rozpowszechniania wyników stacjonarnych obserwacji hydrogeologicznych*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VII, Kraków-Krynica.
- KOBUS A. 1985: *Wpływ składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki na Zawadach na jakość wód gruntowych i powierzchniowych*. Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki „Energopomiar”, Gliwice (maszynopis).
- KOBUS A. 1986: *Kontrola jakości wód podziemnych i powierzchniowych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrocie-*

plowni Siekierki na Zawadach. Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki „Energopomiar”, Gliwice (maszynopis).

KOBUS A. 1987: *Kontrola jakości wód podziemnych i powierzchniowych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki na Zawadach*. Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki „Energopomiar”, Gliwice (maszynopis).

PAWŁAT H., JĘDRYKA G., WIENCLAW E., WIŚNIEWSKI S., ŻŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H. 1996: *Projekt monitoringu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki*. Biuro Konsultacyjne Inżynieria Środowiska, Warszawa (maszynopis).

PAWŁAT H., MATYJASIK Z. 1994: *Ocena oddziaływania składowiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki na środowisko*. Przeg. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW z. 4. Wydaw. SGGW, Warszawa.

PIOŚ, 1991: *Wskazówki metodyczne dotyczące tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych*. Warszawa.

PIOŚ, 1994: *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników wód podziemnych i metod ich oznaczania*. Tom I, Warszawa.

PŁOCHNIEWSKI Z. 1990: *Jakość wód podziemnych. Etap I*. (maszynopis). W: *Ocena zanieczyszczenia metalami ciężkimi wód podziemnych, gleb i roślinności w otoczeniu wysypiska odpadów paleniskowych Elektrociepłowni Siekierki na Kępie Zawadowskiej*. „Geo-Inżynieria”, Warszawa.

Summary

The project of underground waters monitoring in the Electric Plant Siekierki ash dump region. The underground waters monitoring in the Electric Plant Siekierki ash dump region was carried out in 1977–1990 period. The existing monitoring network does not comply with present standards. The ash dump influence on the underground waters can not be estimated on the basis of the previous investigations. The aim of this paper is the new network presentation with the range, methods and frequency of the investigations and the data gathering and description system as well.

Authors' address:

H. Pawłat, E. Wienclaw
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Agata PAWŁAT

Katedra Budownictwa Wiejskiego SGGW
Department of Rural Architecture WAU

Stanisław WIŚNIEWSKI

Biuro Projektów Gospodarki Wodnej i Rolnictwa w Warszawie
Office of Water Management and Agriculture Projects in Warsaw

Koncepcja modernizacji Stawów Brustmana w Parku Osiedlowym Wawrzyszew Restoration of the Brustman's Ponds in the Wawrzyszew Park

Wstęp

Układy wodne w parkach są niezwykle cennymi elementami systemu przyrodniczego miast. Niestety w wyniku silnej presji urbanizacji wiele stawów, kanałów i naturalnych mokradeł ulega degradacji i powoli zanika. Dodatkowym problemem jest mało atrakcyjne zagospodarowanie terenów zieleni, a przede wszystkim niedostateczne wykorzystanie walorów przyrodniczych, krajobrazowych i rekreacyjnych, istniejących elementów wodnych. Obiekty te wymagają ochrony, rewitalizacji i pielęgnacji.

W niniejszej pracy przedstawiono syntezę koncepcji modernizacji Stawów Brustmana w rewitalizowanym w Warszawie parku Wawrzyszew (Wiśniewski Pawłat 1997b; Zemła i Zwiech 1997).

Uwarunkowania przyrodnicze oraz stan stawów i parku

Park osiedlowy Wawrzyszew położony jest w południowej części gminy Warszawa-Bielany, między ulicami Wolumen i Petöfiego (rys. 1). Powstał w latach 1965–1970. Ze wszystkich stron jest otoczony wysoką, wielorodzinną zabudową. Pełni on funkcję: środowiskotwórczą, krajobrazową i rekreacyjną.

Powierzchnia parku wynosi 7,56 ha. Jego najważniejszym elementem jest układ wodny złożony z trzech stawów nazywanych Stawami Brustmana, o łącznej powierzchni 1,31 ha. Park Wawrzyszew położony jest w dolinie Potoku Biełańskiego, odprowadzającego wodę do Wisły, ze zlewni o powierzchni około 15 km². Obszar, przez który przepływa potok, w warstwie przypowierzchniowej

zbudowany jest z piasków. Poziom wód gruntowych jest obniżony, głównie wskutek postępującej urbanizacji terenu. Układa się na głębokości 2,5 do 10 m p.p.t. Koryto Potoku leży powyżej poziomu wód gruntowych. Nawet przy maksymalnych stanach wód podziemnych brak jest kontaktu z wodami powierzchniowymi Potoku, który prowadzi wodę tylko w okresie występowania roztopów i intensywnych opadów. Woda w Potoku pod względem chemicznym i bakteriologicznym została oceniona jako pozaklasowa (Wiśniewski i Pawłat 1997a).

Stawy Brustmana pierwotnie stanowiły lokalne zabagnione obniżenia w środkowej części doliny Potoku Bielańskiego. Teren ten został pogłębiony i zamieniony na przepływowe stawy. W okresie budowy osiedla Wawrzyszew stawy zmodernizowano, a przyległe, lokalnie zadrzewione tereny, dostosowano do potrzeb parku osiedlowego.

Rejon parku zbudowany jest z osadów czwartorzędowych, piaszczystych, przewarstwionych na głębokości 2–4 m gliną. Wody gruntowe są tu zawieszone na utworach nieprzepuszczalnych. Poziom wód gruntowych zalega na głębokości 2–4 m p.p.t. i uwarunkowany jest głównie opadami atmosferycznymi, wodami powierzchniowymi stawów i potoku oraz siecią drenaży przyległych budynków. Przepływ wód odbywa się w kierunku Wisły. Stan wody w stawach układa się powyżej poziomu wód gruntowych co powoduje że woda ze stawów zasilą wody gruntowe terenów przyległych (rys. 1).

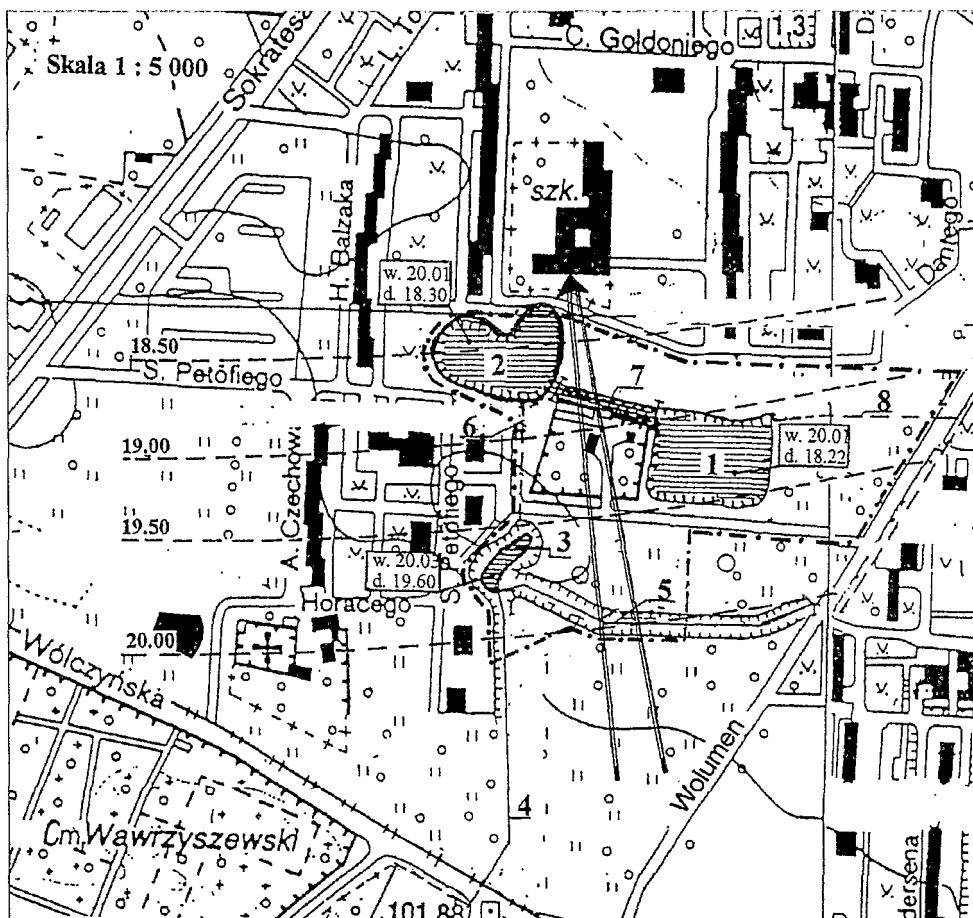
Układ wodny parku składa się z: odcinka Potoku Bielańskiego w kanale

otwartym powyżej stawów; Stawów Brustmana nr 1, 2 i 3; kanału łączącego stawy nr 1 i 2; rurociągu łączącego stawy nr 2 i 3; kolektora żelbetowego – zrzutowego ze stawu nr 1; Kanału Ulgi; odcinka potoku w rurociągu poniżej Kanału Ulgi; oraz budowli wodnych i komunikacyjnych (rys. 1).

Stawy zasilane są wodą z Potoku Bielańskiego w km 2 + 625, w okresie występowania roztopów i intensywnych opadów atmosferycznych. Utrzymanie i regulacja zwierciadła wody w stawach zapewniają budowle i urządzenia wodne. Gdy system stawów nie może zretencjonować wód dopływających potokiem, nadmiar wód odprowadza Kanał Ulgi lub kolektor od stawu nr 1 do Potoku Bielańskiego.

Według pierwszych założeń projektowych normalny poziom piętrzenia Stawów wynosił 20,90 m n „0” Wisły. W lutym 1997 r. poziom lustra wody układał się na rzędnej 20,02 m.

Ubezpieczenie skarp stawów nr 1 i 2, od krawędzi podstawy linii zakładanego poziomu zwierciadła wody, stanowiło umocnienie z kamiennego narzutu. Nastąpiła deformacja tych umocnień. Występują liczne ubytki ubezpieczeń i lokalne obsunięcia. Wyrywane z narzutu pojedyncze kamienie są wrzucane do stawów. Skarpa nadwodna ma zniszczone umocnienia trawiaste, lokalnie jest także zdeformowana. Staw nr 3 i kanał łączący stawy nr 1 i 2 są zamulone. Miąższość osadów dennych dochodzi do 35–40 cm. Jakość wody w stawach jest pozaklasowa. Budowle wodne nie spełniają swoich funkcji piętrzących i wymagają moder-



RYSUNEK 1. Mapa poglądowa Parku Osiedlowego Wawrzyszew i układu wodnego Stawów Brustmana: - - - granica parku, stawy nr 1-3, 4 - Potok Bielański, 5 - Kanał Ulgi, 6 - rurociąg łączący stawy nr 2 i 3, 7 - kanał łączący stawy nr 1-2, 8 - kolektor zrzutowy, - - - hydroizohipsa, ⇒ kierunek przepływu wód podziemnych, W. 20,01 - rz. wody w stawie, d. 18,22 - rz. dna w stawie

FIG. 1. Schematic map of the Wawrzyszew Park and water system of the Brustman's Ponds: - - - boundary of the park, ponds Nr 1-3, 4 - Bielański Stream, 5 - bypass channel, 6 - pipeline connecting the ponds Nr 2-3, 7 - canal connecting the ponds Nr 1-2, 8 - collector, - - - hydroisohips [masl], ⇒ ground water flow direction, W. 20.01 - surface water level of the ponds, d. 18.22 - bottom level of the ponds

nizacji. Kładki dla pieszych są sprawne technicznie, ale mało estetyczne.

Wzdłuż brzegów stawów makrofity występują tylko lokalnie. Tworzą je szuwary trzcinowe i turzycowe. W toni wod-

nej występuje fitoplankton o średniej koncentracji. Nie obserwuje się zakwitu sinic.

W stawach bytuje ptactwo wodne, w szczególności w okresie zimowym. Prze-

ważą trzy gatunki: kaczka krzyżówka, mewa śmieszka i mewa pospolita. Ichti fauna Stawów jest różnorodna. Występuje w nich kleń, jaź, okoń, karaś, lin i szczupak.

Układ zieleni parku można uznać za wstępnie urządzony. Obecnie znajduje się tu 432 szt. drzew i 68 szt. krzewów. Kępowe nasadzenia drzew zajmują powierzchnię około 390 m², a grupy krzewów jedynie 50 m². Zinventaryzowano 36 gatunków drzew i krzewów, z których część ma charakter naturalny, a część pochodzi z nasadzeń. Wiele drzew jest w złym stanie. Wymagane są prace pielęgnacyjne i nowe nasadzenia (Dymek 1996).

Program użytkowy parku i jego walory przyrodniczo-krajobrazowe są mało atrakcyjne i podobnie jak stawy wymagają zabiegów rewaloryzacyjnych i modernizacyjnych.

Koncepcja zagospodarowania parku

Koncepcja zagospodarowania parku zakłada podwyższenie atrakcyjności funkcjonalnej terenu w wyniku modernizacji stawów i rozbudowy programu użytkowego. Przewidziano ukształtowanie obiektów i terenu parku służące do wypoczynku biernego, czynnego i wypoczynku o szczególnych formach (Zemła i Zwiech 1997).

Tereny do wypoczynku biernego zlokalizowano w południowej i zachodniej części parku. Tego rodzaju wypoczynek będzie się koncentrował w dwóch strefach:

- naturalistycznej – jako ostoja fauny i roślinności łęgowej w rejonie stawu nr 3;
- ciszy – z miejscami do wędkowania, obserwacji natury oraz wypoczynku w rejonie stawu nr 2.

Tereny do wypoczynku czynnego zlokalizowano w północno-wschodniej części parku. Zakłada on urządzenie placu wypoczynkowego dla dzieci młodszych, placu gier i zabaw dla dzieci starszych, polany rekreacyjne do zabaw i gier ruchowych.

Program użytkowy szczególnych form wypoczynku przewiduje dostosowanie stawu nr 1 do plażowania i pływania rowerami wodnymi latem i lodowiska – zimą oraz wykonanie kolistej obwodnicy drogi z gładką nawierzchnią do jazdy na deskorolkach i łyżworolkach.

Park planuje się wyposażać w ławki parkowe, stoły piknikowe, urządzenia zabawowe, altany, przystań, kładki, oświetlenie itp. Przewiduje się także ukształtowanie szaty roślinnej w celu odnowy istniejących drzew i krzewów oraz podwyższenia walorów plastyczno-przestrzennych.

Koncepcja modernizacji Stawów Brustmana

Koncepcja modernizacji Stawów Brustmana zawiera dwa warianty rozwiązań przyrodniczo-technicznych dostosowanych do programu zagospodarowania parku Wawrzyszew, z zachowaniem istniejącego układu wodnego. Różnią się one zakresem prac i stopniem zaspokoje-

nia potrzeb środowiskotwórczych, krajo-
brazowych i rekreacyjnych.

W wariantcie „1” proponuje się modernizację układu wodnego z uwzględnieniem ujemnego bilansu wodnego w okresie letnim.

W wariantcie „2” przewiduje się modernizację systemu stawów według rozwiązań pierwszej propozycji, ale z zapewnieniem zrównoważenia ich bilansu wodnego.

Warianty uzupełniają się zakresem robót. Pierwszy z nich można uważać za „etapowy”, drugi zaś za „docelowy”. Ich realizacja uwarunkowana będzie kondycją finansową gminy.

W obu wariantach koncepcji modernizacji układu wodnego w parku normalny poziom piętrzenia wody ustalono na rzędnej 20,50 m n „0” Wisły. W pierwszym z nich istniejące zasoby wodne nie pozwolą na utrzymanie zakładanego poziomu piętrzenia w okresie letnim. Przewiduje się obniżanie się lustra wody o prawie 0,50 m. W drugim zaś przewiduje się dodatkowo ujęcie wody z zasobów podziemnych, pozwalające na stałe utrzymanie normalnego piętrzenia wody w stawach.

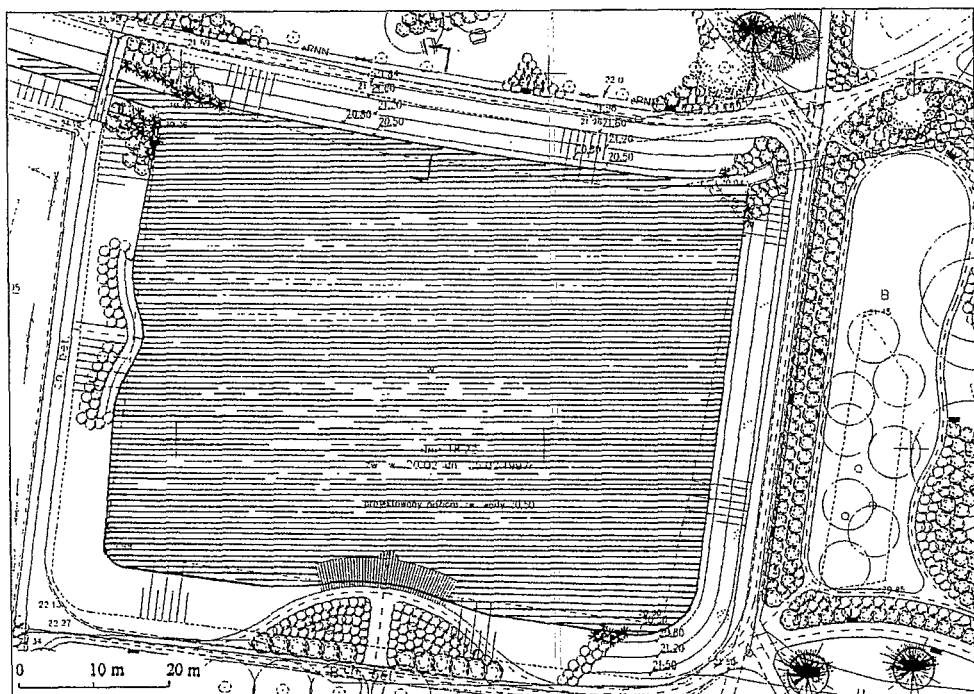
W wariantcie etapowym jak i docelowym modernizacji Stawów Brustmana przewiduje się poniżej opisany zakres zabiegów przyrodniczo-technicznych.

Staw nr 1 dostosowuje się do aktywnej rekreacji. Geometryczny zarys linii brzegowej stawu dolnego stwarza możliwość łatwego dostępu do wody prawie na całej długości. Dlatego też przewidziano tu rozwój nadwodnego programu wypoczynkowego związanego latem z plażowaniem i pływaniem rowerami wodnymi,

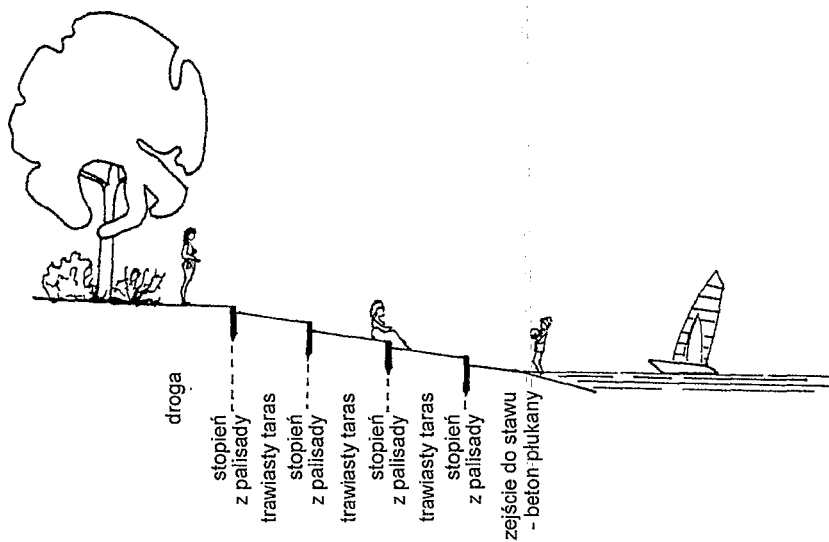
a zimą – z lodowiskiem. W tym celu zakłada się przebudowę skarpy północnej i wschodniej w formie kilkupoziomych trawiastych tarasów w obudowie palisadowej, zadarnienie skarpy południowej i zachodniej oraz budowę małej przystani w centralnej części skarpy południowej. W części podwodnej skarpy zostaną umocnione płytami wielootworowymi. Dno stawu zostanie odmulone (rys. 2 i 3).

Staw nr 2 będzie miejscem do wędkowania, obserwacji natury oraz wypoczynku biernego w jego rejonie. Przewiduje się odmulenie dna i umocnienie części skarpy poniżej lustra wody rumoszem skalnym. Środkową część skarpy pokryją głązy przerośnięte roślinnością szuwarową i przywodną, a górna część zostanie zadarniona i pokryta krzewami. W jej zasięgu zostanie urządzonych z głązów osiem placyków dla wędkarzy i amatorów kontemplacji. W północnym fragmencie strefy brzegowej proponuje się lokalizację altany chroniącej przed deszczem. Sposób zagospodarowania stawu nr 2 przedstawiono na rysunku 4, a umocnienia brzegów na rysunku 5.

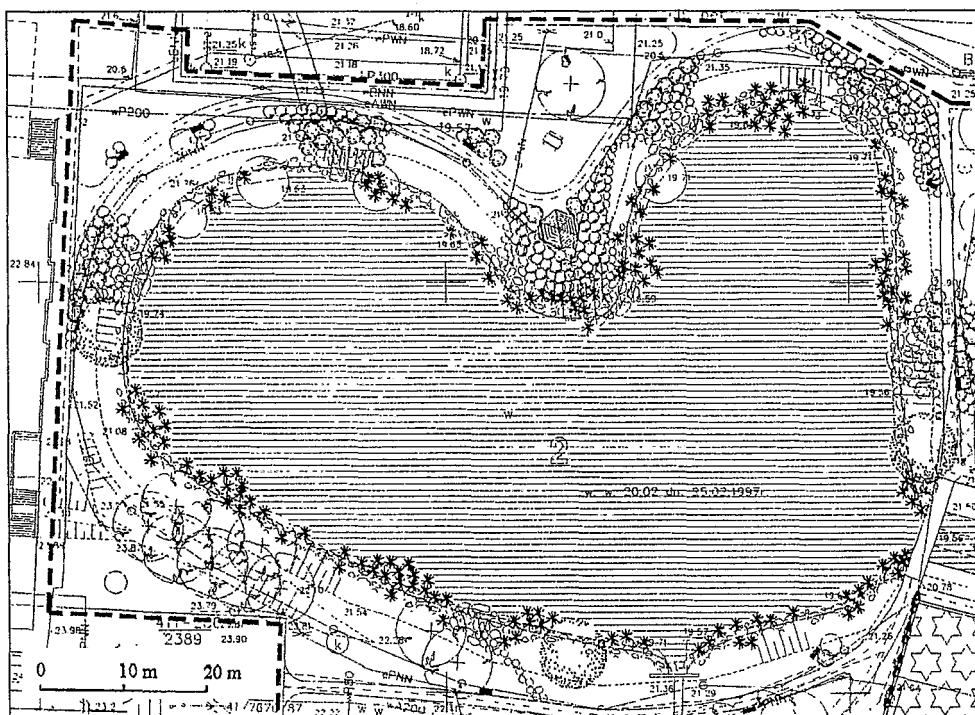
Staw nr 3 i jego otoczenie, ze względu na naturalistyczne, choć częściowo zdegradowane warunki, ma pełnić funkcję ostoi fauny i roślinności łęgowej. Przewiduje się przywrócenie jego walorów przez odmulenie dna oraz wprowadzenie roślinności szuwarowej i przywodnej w dolnej, umocnionej głązami części skarpy stawu. Górna część skarpy, porośnięta obecnie zielną roślinnością przywodną, krzewami i drzewami, wymaga tylko konserwacji.



RYSUNEK 2. Przykład zagospodarowania stawu nr 1
FIG. 2. Project of the pond Nr 1



RYSUNEK 3. Sposób umocnienia brzegów stawu nr 1 – schemat
FIG. 3. Bank protection of the pond Nr 1 – model



RYSUNEK 4. Przykład zagospodarowania stawu nr 2
FIG. 4. Project of the pond Nr 2

Kanał łączący stawy nr 1 i 2 zostanie odmulony. Skarpy w części podwodnej umocnione zostaną płytami wielootworowymi, a wyżej zadarnione. Kolektor łączący Stawy nr 2 i 3 wymaga tylko odmulenia.

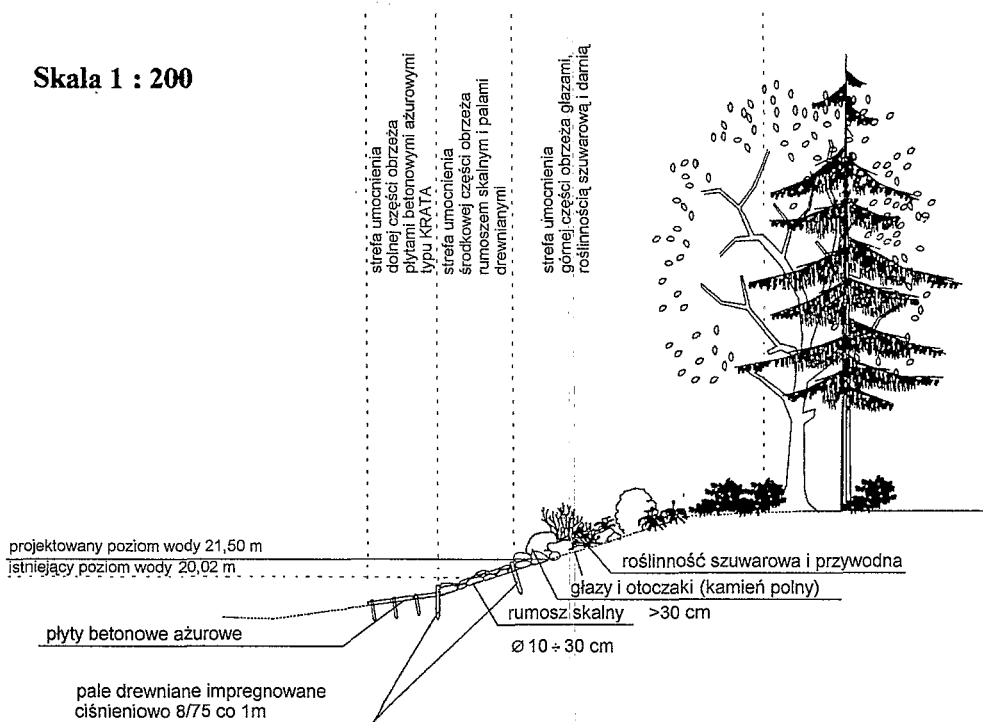
Trasa i przekrój Kanalu Ulgi pozostanie bez zmian. Przewiduje się przeprowadzenie odmulenia dna, umocnienie skarp glazami oraz roślinnością trawiastą i ozdobnymi krzewami.

Wloty z piętrzeniem na stawie nr 1 i 2 oraz zastawki na Kanale Ulgi i Potoku Bielańskim służyć będą jak dotychczas do regulacji napełnienia stawów wodą oraz do kierowania przepływami w fun-

kcjonalnie związanych kanałach i rurociągach. Przewiduje się wymianę zamknięć piętrzących oraz remont i estetyzację żelbetowych fragmentów ścian budowli. Kładki dla pieszych na kanał łączącym stawy nr 1 i 2 zostaną przebudowane według indywidualnych projektów.

Większość robót wykonana zostanie ręcznie. Tylko dowóz materiałów i wbudowanie cięższych elementów prowadzone będzie lekkim sprzętem mechanicznym. Wykonawca robót zabezpieczy odpowiednio w sąsiedztwie robót drzewa i teren parku. Wydobyte namuły po wysuszeniu zostaną wbudowane w „górkę” saneczkową w pobliżu stawu nr 1.

Skala 1 : 200



RYSUNEK 5. Sposób umocnienia brzegów stawu nr 2
FIG. 5. Bank protection of the pond Nr 2

Układ wodny stawów w pierwszym wariancie koncepcji modernizacji będzie zasilany, tak jak obecnie, jedynie dzięki okresowemu przepływowi wód w Potoku Bielańskim. W okresie występowania roztopów wiosennych i dużych opadów atmosferycznych stawy zostaną napełnione do normalnego poziomu piętrzenia. W okresie letnim poziom wód obniży się średnio o prawie 0,50 m.

W drugim – wariancie koncepcji modernizacji stawów, przewiduje się budowę dodatkowego ujęcia wody. Rozpoznanie warunków terenowych i budowy geologicznej terenów przyległych do stawów wykazało możliwość ujęcia wód

podpowierzchniowych z płytkiego poziomu wodonośnego zlokalizowanego na obrzeżu doliny potoku, w km 1+125 (Wiśniewski i Pawłat 1997a). Potrzeby wodne stawów, na uzupełnienie strat na parowanie i filtrację oceniono średnio na poziomie około 6,25 dm³/s. Wskazana lokalizacja studni głębinowej umożliwi dogodne doprowadzenie wody korytem Potoku Bielańskiego, gdzie na 1,5 km jego odcinku będzie zapewniony przepływ biologiczny, a następnie doprowadzenie wody w rejon stawów. Koryto potoku na tym odcinku zostanie uszczelnione. Zakłada się budowę stopni korekcyjnych wywołujących w korycie cofkę

o zasięgu 200–300 m i napełnienie minimum 0,20 m.

Gospodarka wodna na stawach będzie prowadzona zgodnie z instrukcją eksploatacji. Stawy zostaną zarybione przez Związek Wędkarski według specjalnych zasad. Regulamin korzystania ze środowiska w obrębie układu wodnego zostanie umieszczony na tablicy informacyjnej, usytuowanej przed wejściem do parku.

Stawy łącznie z kanałami gromadzą obecnie około 13 880 m³ wody. Po modernizacji retencjonować będą około 22 020 m³ wody. Powierzchnia lustra wody zwiększy się prawie o 0,54 ha, a głębokość o 0,50 m. Znaczenie przyrostu retencji będzie znaczące w skali miejsca, a także dla części zlewni położonej poniżej Stawów Brustmana. Woda ze stawów filtruje do wód gruntowych, których kierunek spływu odbywa się w dół rzeki. Powiększona pojemność stawów w znaczącym stopniu zmniejszy falę wezbraniową w Potoku Bielańskim w okresie powodziowym, nie będzie natomiast wpływać ujemnie na przepływ biologiczny. Stawy będą zasilane tylko w okresie nadmiaru wody.

Projektowane przedsięwzięcia inwestycyjne będą wywierać największy wpływ na środowisko przyrodnicze w okresie realizacji. Analiza tych oddziaływań wskazuje jednak, iż nie będą one znaczące, pod warunkiem prowadzenia prac według odpowiednich wytycznych technologii i organizacji robót. Użytkowanie zmodernizowanego parku i stawów w bilansie zysków i strat będzie korzystne zarówno w ocenie przyrodniczej, jak i rekreacyjnej, jeżeli będą pro-

wadzone systematyczne zabiegi pielęgnacyjne i właściwa eksploatacja urządzeń wodnych, a także przestrzeganie określonych zakazów i nakazów.

Podsumowanie i wnioski

1. Koncepcja zagospodarowania parku zakłada podwyższenie atrakcyjności funkcjonalnej terenu w wyniku modernizacji stawów, odnowy szaty roślinnej i rozbudowy programu użytkowego dla wypoczynku czynnego i biernego mieszkańców osiedla.
2. Koncepcję modernizacji stawów opracowano w dwóch wariantach różniących się stopniem zrównoważenia ich gospodarki wodnej. Docelowo należy realizować wariant drugi, umożliwiający stałe utrzymanie normalnego poziomu piętrzenia w stawach.
3. Zmodernizowane stawy zretencjonują o 8140 m³ wody więcej. Ich głębokość zwiększy się o 0,50 m. Poziom wód gruntowych w parku podniesie się i ułoży na głębokości 1,5–2,5 m. Nastąpi poprawa warunków siedliskowych dla fauny w stawach i dla drzew w parku. Wzbogacone zostaną walory krajobrazowe i rekreacyjne układu wodnego i parku.

Literatura

- DYMEK M., 1996: *Inwentaryzacja dendrologiczna Parku Osiedlowego Wawrzyszew*. Pracownia Architektury Krajobrazu. Warszawa (maszynopis).
- WIŚNIEWSKI S. PAWŁAT A., 1997a: *Inwentaryzacja stanu przyrodniczo-technicznego sta-*

wów *Brustmana*. Autorska Pracownia Architektury Krajobrazu J. Zemły, Warszawa (maszynopis).

WIŚNIEWSKI S. PAWŁAT A. 1997b: *Koncepcja modernizacji Stawów Brustmana*. Autorska Pracownia Architektury Krajobrazu J. Zemły, Warszawa (maszynopis).

ZEMŁA J., ZWIECH T. 1997: *Koncepcja zagospodarowania parku Osiedlowego Wawrzyszew i Stawów Brustmana*. Autorska Pracownia Architektury Krajobrazu J. Zemły, Warszawa (maszynopis).

important element of the Park is a water system that contains of three ponds connected with canals and supplied with water by Bielański Stream. Nowadays, decreasing ground water level in the water basin of the Bielański Stream, due to high urbanisation of the area, has negative influence on water conditions of the park and causes its degradation. Besides, recreational programme does not satisfy a local demand. Paper presents a project that is to improve the water conditions of the ponds system, increase environmental value of the park and its recreational attractiveness.

Summary

Restoration of the Brustman's Ponds in the Wawrzyszew Park. All town green open spaces are part of Town Natural System that is one of the main condition for a healthy environment. Park Wawrzyszew is a small green area (7,56 ha) located in North-Western part of Warsaw, surrounded by a housing estate of many-storied buildings. The most

Authors' address:

A. Pawłat
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warsaw
ul. Nowoursynowska 166
Poland
S. Wiśniewski
Office of Water Management and Agriculture
Projects in Warsaw
Poland

Halina PAJNOWSKA

Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych,

Pracownia Hydrogeologii SGGW

Department of Technology of Land Reclamation, Works and Hydrogeology WAU

Henryk PAWŁAT

Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska SGGW

Department of Natural Bases of Environmental Engineering WAU

Stan i prognoza zagrożenia środowiska przyrodniczego Ogrodu Saskiego w Warszawie

The state and prediction of environmental hazards in Saski Garden (Ogród Saski) in Warsaw

Wstęp

Ogród Saski, położony w centrum Warszawy, jako zabytek objęty jest ochroną prawną konserwatora w zakresie ochrony zarówno dóbr kultury, jak również przyrody. Taki status Ogrodu Saskiego wymusza specjalne działania zabezpieczające, prowadzące do utrzymania w dobrym stanie środowiska przyrodniczego wobec nasilającej się urbanizacji w jego sąsiedztwie.

Ocena źródeł zagrożenia oraz ich kwalifikacja co do intensywności oddziaływania stanowi podstawę do opracowania programu ochrony środowiska. Dla Ogrodu Saskiego zasadniczym problemem jest dostępność do wody gruntowej strefy korzeniowej zabytkowego drzewostanu. Dlatego największym zagrożeniem jest obniżenie zwierciadła wód

gruntowych w obrębie ogrodu w związku z inwestycjami budowlanymi prowadzonymi i projektowanymi w bezpośrednim jego sąsiedztwie.

W niniejszej pracy przedstawiono syntezę dotychczasowych wyników monitoringu wód podziemnych oraz oceny wpływu realizowanych i planowanych inwestycji na gospodarkę wodną drzewostanów w Ogrodzie Saskim (Pawłat i in. 1998).

Zarys warunków geologicznych

W budowie geologicznej Ogrodu Saskiego dominujące znaczenie mają utwory pliocenu, tj. najwyższego trzeciorzędu oraz przykrywające je osady czwartorzędowe. Osady pliocenu wykształcone są głównie w postaci łąk zwięzłych, łus-

tych i pylastych, przewarstwionych piaskami pylastymi i drobnoziarnistymi (Sarnacka 1980a i 1980b). Miąższość iłów dochodzi do kilkudziesięciu metrów, natomiast występujące tylko w soczewkach piaski mają miąższość zaledwie od kilku do kilkunastu metrów. Całkowita miąższość tego kompleksu sięgać może nawet do 162,9 m, jak to ma miejsce przy ul. Fredry. Obecna powierzchnia stropowa plicenu jest bardzo urozmaicona, a uformowała się w wyniku działania różnorodnych czynników w okresie plejstoceńskim i procesów:

- glacitektonicznych wszystkich trzech zlodowaceń, prowadzących do powstania wypiętrzeń i rozdzielających je zagłębień;
- erozji rzecznej i denudacji w okresie interglacjałów.

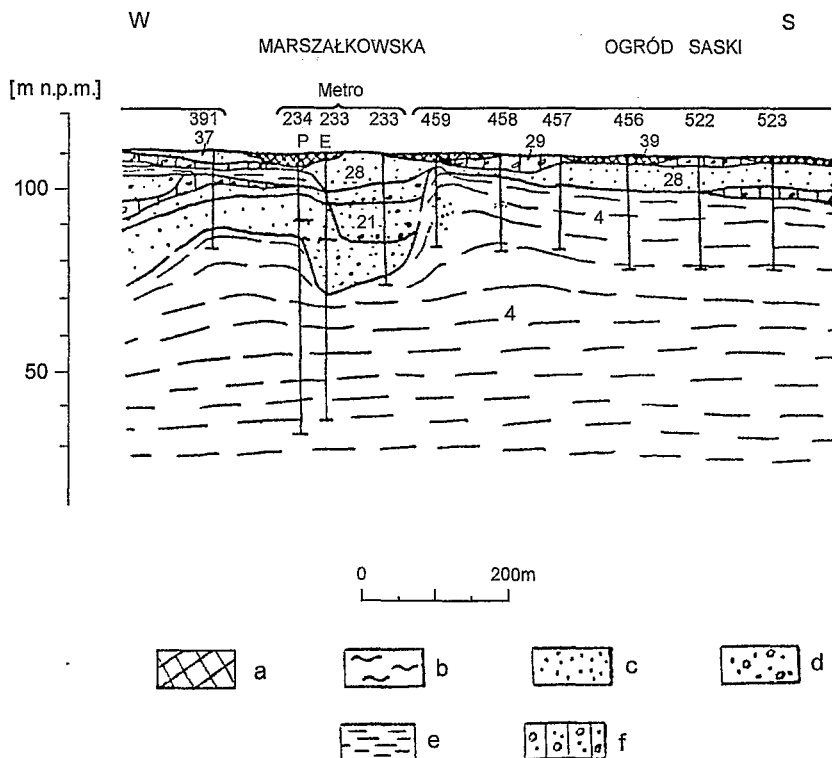
Uformowały się tzw. fałdy warszawskie, wypiętrzające ily aż do powierzchni terenu. Wypiętrzenie osadów pliczeńskich przebiegające przez Warszawę w rejonie Ogrodu Saskiego ma wiele elewacji, a w każdej z nich mniejsze synkliny i antykliny równoległe do siebie. Rozciągłość osi wyniesienia ma kierunek NNW-SSE. Strop maksymalnego wyniesienia znajduje się na rzędnych 30,0–30,4 m n. „0” Wisły, to jest zaledwie 3–4 m pod powierzchnią terenu i przykryty jest utworami antropogenicznymi. To maksymalne wyniesienie iłów pliczeńskich ciągnie się po zachodniej stronie ogrodu pasem szerokości od 100 m na południowym zachodzie (w rejonie ul. Królewskiej) do 50 m na północnym wschodzie (w rejonie ul. Senatorskiej). Oś tej kulminacji przebiega od 30 m do 100 m na wschód od zachodniej granicy ogrodu. Od tego miejsca strop iłów gwałtownie

zapada ku zachodowi (spadek 70%) ku osi głębokiej (ponad 35 m) i wąskiej rynny biegnącej zgodnie z przebiegiem ul. Marszałkowskiej. W przeciwnym kierunku, tj. ku wschodowi, strop iłów łagodnie obniża się pod Ogrodem Saskim, pograżając się przy wschodniej granicy ogrodu i placu Piłsudskiego na głębokość do 10 m (rys. 1).

Na tak urozmaiconej morfologicznie powierzchni zalegają osady czwartorzędowe kolejnych zlodowaceń. Transgresje i regresje lodolodu oraz towarzyszące im procesy akumulacji i erozji doprowadziły do powstania kompleksu osadów o zróżnicowanej litologii, zbudowanych z warstw o małej miąższości i ograniczonej rozciągłości w planie. Są to naprzemianległe gliny zwałowe, żwiry i piaski różnej frakcji, muły i pyły (Sarnacka 1980b).

Jednak istnieje wyraźna różnica w litologii osadów w obrębie rynny i w rejonie położonym na wschód od wyniesienia iłów. Rynna wypełniona jest osadami o dużej zmienności w profilu pionowym, będących wynikiem zarówno akumulacji lodowcowej (gliny zwałowe), jak też erozji akumulacji fluwioglacjalnej (piaski, żwiry, muły).

Natomiast po wschodniej stronie kulminacji, na morfologicznie mało urozmaiconej powierzchni podczwartorzędowej leży kilkumetrowej miąższości warstwa piasków podścielona i przykryta lokalnie osadami gliniasto-ilastymi (rys. 1). Istotne znaczenie dla charakterystyki profilu ma przykrycie całej powierzchni utworami antropogenicznymi (gruz z gruntem mineralnym) o miąższości dochodzącej do 3,5 m. Na tym tle rysuje się trójdzielność Ogrodu Saskiego pod względem budowy geologicznej:



RYСУNEK 1. Przekrój geologiczny przez Ogród Saski wg Sarnackiej (1992): a – osady antropogeniczne, b – mułki, c – piaski eoliczne, d – piaski ze żwirem, e – iły, f – gliny zwałowe; 4 – iły pstre i piaski plioceńskie, 5–38 – osady plejstoceńskie, 39 – utwory holocenne

FIG 1. Geological cross section of the Ogród Saski (Sarnacka 1992): a – man-made sediments, b – silts, c – sands aeolian, d – sands and gravels, e – clays, f – boulder clays; 4 – variegated clays and sands of pliocene, 5–38 – sediments of pliocene, 39 – sediments of holocene

- skłonu rynny, obejmujący pas szerokości 20–40 m ciągnący się wzdłuż zachodniej granicy ogrodu,
- obszar wypiętrzenia łąk obejmujący pas szerokości 50–100 m w zachodniej części ogrodu,
- obszar płytkiego zalegania łąk obejmujący część centralną i wschodnią ogrodu.

Powierzchnia współczesna Ogrodu Saskiego jest płaska, o niewielkich deni-

welacjach, nie przekraczających 2 m, nachylona jest ze spadkiem zaledwie 2% ku wschodowi, tj. ku dolinie Wisły. Rzędne powierzchni terenu zmieniają się od 35 m nad „0” Wisły w zachodniej części do 29,35 m nad „0” Wisły na krańcach wschodnich. Większość powierzchni ogrodu jest położona na rzędnych 33–34 m n „0” Wisły. Obszar ten określony jest w literaturze jako równina wodnolodowcowa (Sarnacka 1980).

Stosunki wodno-gruntowe

Istotną rolę w zaspokajaniu potrzeb wodnych drzewostanu Ogrodu Saskiego odgrywają wody pierwszego poziomu – wody gruntowe. Występują one w warstwach piaszczysto-żwirowych, czasem piaszczysto-pylastych osadów czwartorzędu i trzeciorzędu. Ich rozprzestrzenienie i kontakty wynikają z budowy geologicznej przestrzeni skalnej. W efekcie warstwy wodonośne z reguły mają małe rozprzestrzenienie, choć ich miąższość osiąga niekiedy kilkanaście metrów.

Charakterystyka hydrauliczna tego obszaru jest dodatkowo skomplikowana przez rozdzielający go wał łąk płoceńskich. Mimo że w obrębie łąk istnieją przewarstwienia piaszczyste zawierające wodę, to są to mało zasobne izolowane soczewki, o ograniczonym rozprzestrzenieniu.

W centralnej i wschodniej części ogrodu istnieje ciągły czwartorzędowy poziom wodonośny wód gruntowych (rys. 2). Miejscami jest on przykryty od powierzchni słabo przepuszczalną warstwą o miąższości 2–3 m. Zwierciadło wody pierwszego poziomu na terenie ogrodu w większości ma charakter swobodny. Lokalnie, szczególnie wody występujące głębiej, mają charakter naporowy.

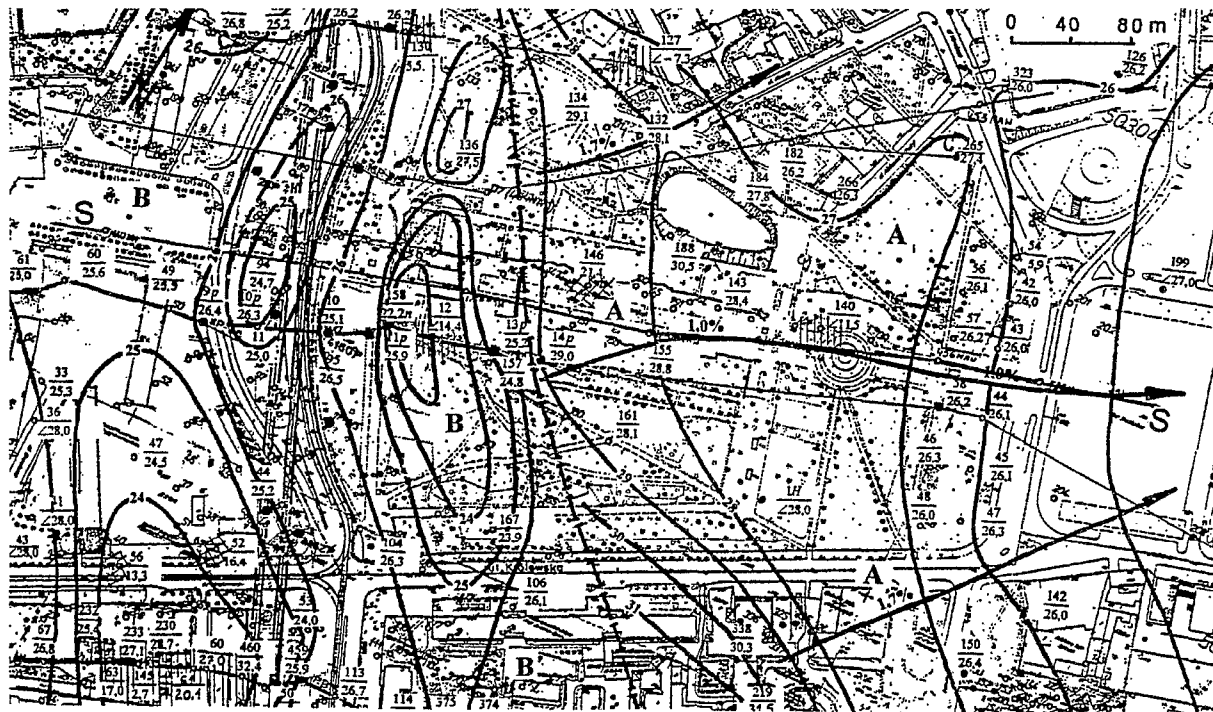
Pomiary położenia zwierciadła wody gruntowej w rejonie ogrodu prowadzone były za pomocą piezometrów w latach sześćdziesiątych, osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych (tab. 1).

Głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej w latach 1953–1968 były różnicowane i zmieniały się

prawie od 3 do ponad 22 m. Obszary, gdzie woda występuje na głębokości ponad 10 m pokrywają się z obszarami wypiętrzeń łąk płoceńskich. W zachodniej części ogrodu, na skłonie wypiętrzenia, woda występuje na głębokości od 6 do 10 m. Zwierciadło jej jest swobodne. W części ogrodu położonej na wschód od wypiętrzenia łąk na większości obszaru wody gruntowe zalegają w osadach czwartorzędowych, na głębokości 6–10 m. Jedynie w centralnej partii ogrodu występują płycej, na głębokości od 3,3 do 5,8 m.

Zwierciadło wody gruntowej generalnie ulega ciągłemu obniżaniu. Tempo jego obniżania znacznie wzrosło w latach 1994–1998 i można je szacować na około 0,5–0,8 m/rok. Obecnie zwierciadło wody znajduje się o co najmniej 3,5 m niżej niż zwierciadło wody rejestrowane tu przy okazji wykonywania otworów geologicznych w latach 1953–1968. Są też piezometry, w których od lat 60. położenie zwierciadła wody utrzymuje się na podobnym poziomie. Mimo że są to wyjątki, wskazują one na złożoność charakterystyki dynamiki wód tego obszaru.

Charakterystyka warunków przepływu wód podziemnych nawiązuje wyraźnie do budowy geologicznej (rys. 2). W strefie rynny czwartorzędowej i zachodniego skłonu wyniesienia łąk rzędne zwierciadła wody zmieniają się od 24,8 m n. „0” Wisły do 29,1 m n. „0” Wisły, a układ hydroizohips pokazuje, że są to ograniczone struktury wodonośne, o rozciągłości wzdłuż obniżenia rynnowego. Na obszarach wypiętrzenia łąk woda stabilizuje się na rzędnych od 6,5 m n. „0” Wisły do 28,7 m n. „0” Wisły, a nawet 32,4 m n. „0” Wisły. Tak duża zmienność w położeniu



1. — 25 — ; 2. $\frac{116}{26.2}$; 3. $\swarrow \searrow$; 4. A ; 5. B ; 6. $\frac{1.0\%}{\rightarrow}$; 7. S — S

RYSUNEK 2. Mapa kierunków filtracji: 1 – hydroizohipsa; 2 – numer otworu i rzędna zwierciadła wody w m n „0” Wisły, 3 – granica obszarów A i B o różnych warunkach hydrogeologicznych, 4 – obszar o ciągłym zwierciadle wody gruntowej, 5 – obszar występowania małych izolowanych struktur wodonośnych, 6 – kierunek filtracji i spadek hydrauliczny, 7 – linia przekroju geologicznego

FIG. 2. Map of directions of groundwater flow: 1 – hydroisohipse, 2 – number of measurement point and groundwater level in meter above Vistula River level, 3 – boundary between A and B area, 4 – one aquifer area, 5 – area with many small and different aquifers, 6 – direction of groundwater flow and value of hydraulic gradient, 7 – line of geological cross section

TABELA. Zestawienie pomiarów położenia zwierciadła wody w piezometrach i studniach w latach 1953–1998 na podstawie pomiarów archiwalnych z wierceń WPG^a, Dawidowskiego i in. (1996)^b, Latki (1998)^c, własnych^d

TABLE. The tabulation of the water-table measurements in piezometres and wells on the bases of the archiwal data of WPG^a, Dawidowski at all (1996)^b, Latka (1998)^c and authors' drillings^d

Nr punktu Site number	Rzędna m n „0” Wisły The datum above the Vistula „0” level	Głębokość zwierciadła wody [m] The water-table depth [m]								
		dane arch. ^a 1953–1968 archival data	12.04.88 ^b	25.10.93 ^b	20.11.94 ^b	9.09.96 ^b	05.1998 ^c	06.1998 ^c	07.1998 ^c	11.08.1998 ^d
4160p	34,47	9,4	—	—	—	—	—	—	—	< 11,68
4162p	34,45	—	—	—	—	—	—	—	12,90	—
5p	34,73	—	8,9	—	9,14	10,61	—	—	—	—
7p	34,32	—	8,38	—	—	—	12,51	12,66	12,70	—
9p	34,85	8,5	9,2	10,1	10,22	11,88	13,18	13,34	13,30	—
10p	34,62	8,3	8,6	9,55	9,72	11,36	12,19	12,24	12,40	12,90
11p	34,20	9,3	9,0	—	9,90	11,53	12,95	13,08	—	13,29
13p	34,47	9,4	—	—	12,79	12,66	12,82	12,74	—	12,95
14p	34,82	5,8	—	—	5,78	5,78	4,84	5,10	—	—
16p	34,16	—	8,0	9,5	9,58	11,23	12,44	12,53	12,55	12,89
16pA	33,61	—	7,9	—	—	—	12,39	12,50	12,50	—
17p	34,15	—	8,5	9,6	9,66	11,23	12,09	12,19	12,20	—
18p	34,68	—	9,0	9,4	9,50	11,69	11,94	12,01	12,13	12,23
19p	33,82	7,62	—	—	—	—	< 8,0	< 8,0	< 8,0	< 8,0

zwierciadła w punktach sąsiadujących ze sobą o kilkadziesiąt metrów potwierdza wnioski co do nieciągłości zwierciadła wody w zachodniej części Ogródu Saskiego. Duża zmienność warstw o małej miąższości, prowadzących wodę swobodną, pod ciśnieniem lub tylko sączącą się oraz mała rozciągłość w planie tych warstw, wyklinowujących się szybko zamkniętych w soczewkach śródglinowych lub śródilowych powoduje tu mozaikowość układu hydraulicznego. W obszarze centralnym i wschodnim zwierciadło wody tworzy jedną wspólną powierzchnię, co potwierdza istnienie ciągłego zbiornika wodonośnego. Jego zwierciadło układa się na rzędnych od 29 m n „0” Wisły na zachodzie, do 25,0 m n „0” Wisły na wschodnich krańcach, w rejonie placu Piłsudskiego.

Zróżnicowanie obszarowe rysuje się również w zakresie kierunków i charakteru przepływu wód podziemnych (rys. 2). W zachodniej części ogrodu nie ma wyraźnych dróg ich odpływu. W obszarze centralnym i wschodnim wody pod wpływają ku północnemu wschodowi, ze spadkiem od 1% do 1,7%. Elementem drenującym dla tej formacji jest nieodległa dolina Wisły. Zasilanie tego poziomu wodonośnego odbywa się głównie przez infiltrację opadów atmosferycznych (średnioroczna suma opadów z 1971–1991 wynosi 510 mm). Szczególnie korzystne warunki do infiltracji znajdują się w centralnej i wschodniej części ogrodu, gdzie sprzyja temu w znacznej części odkryta dobrze przepuszczalna warstwa piaszczysta oraz niemal pozioma powierzchnia terenu, co redukuje spływ powierzchniowy do minimum, a zwiększa możliwości retencyjne obszaru.

Ocena wpływu na wody gruntowe projektowanych i realizowanych inwestycji podziemnych w otoczeniu Ogródu Saskiego

Największą inwestycją planowaną do realizacji w sąsiedztwie Ogródu Saskiego jest dwupoziomowy parking podziemny pod płytą placu Piłsudskiego. Przewidywana głębokość posadowienia tego parkingu wynosi około 6–7 m. Lokalizacja jego znajduje się w miejscu, gdzie zwierciadło wody występuje w przedziale głębokości 6–10 m poniżej powierzchni terenu. Przy czym są to głębokości uzyskane z materiałów archiwalnych (z lat 1953–1968), które w latach 1968–1998 uległy znacznemu obniżeniu (tab.). Można więc przyjąć, że skoro obecnie zwierciadło wody gruntowej znajduje się niżej niż 6 m, planowana tu inwestycja nie wpłynie na zmiany położenia zwierciadła wody. Jednak mając na uwadze fakt, że obszar ten znajduje się na drodze odpływu wód gruntowych z Ogródu Saskiego, przy szczegółowych pracach projektowych nad tą inwestycją należy zwrócić uwagę na to, aby wszelkie działania inżynierskie prowadzić powyżej poziomu obecnego zwierciadła wody. W innym przypadku, tj. w razie konieczności podjęcia prac odwodnieniowych, obszar drenażu obejmie również Ogród Saski aż po linię wyniesienia łąk, tj. obejmie część centralną i wschodnią. Obniżenie poziomu wód gruntowych w rejonie placu Piłsudskiego spowoduje wzmożony odpływ wód gruntowych z terenu ogrodu, co prowadzić będzie (przy nie zmienionym zasilaniu) do obniżenia w nim zwierciadła wody.

W podobnej sytuacji hydrogeologicznej znajduje się planowany parking podziemny pod płytą w sąsiedztwie Teatru Wielkiego i w związku z tym dotyczągo te same zastrzeżenia.

Parking usytuowany na rogu ul. Marszałkowskiej i Królewskiej znajduje się w obszarze gdzie obecnie zwierciadło wody leży na głębokości 12,90 m (tab.), a więc znacznie poniżej poziomu posadowienia inwestycji.

Największe zagrożenie dla Ogrodu Saskiego, a szczególnie jego strefy zachodniej, stwarza realizowana budowa trasy metra biegnąca wzdłuż zachodniej granicy ogrodu. Według Dronia (1995) i Dawidowskiego i in. (1996) dna tuneli metra projektowane są na rzędnej 21,9 m n „0” Wisły. Przy rzędnych powierzchni na trasie metra około 34,3 m n „0” Wisły, tunele posadowione będą na głębokości 12,4 m, tj. poniżej „archiwalnego” i „aktualnego” zwierciadła wody. Odwadnianie strefy objętej pracami górniczymi przy drażeniu tuneli metra spowoduje obniżenie położenia zwierciadła wody w zachodniej części Ogrodu Saskiego, wzdłuż ul. Marszałkowskiej do rzędnej 17,5 m n 0 Wisły. Obecnie rzędne zwierciadła wynoszą około 25 m, co narzuca konieczność obniżenia zwierciadła wody prawie o 7,5 m. Wpływ tego obniżenia obejmować będzie zachodni kraniec Ogrodu Saskiego w strefie szerokości do 80 m.

Ocena wpływu zmian położenia zwierciadła wody na uwilgotnienie strefy korzeniowej drzewostanu w Ogrodzie Saskim

Głębokość położenia zwierciadła wody gruntowej warunkuje typ gospodarki wodnej drzewostanów w Ogrodzie Saskim. W siedliskach o lustrze wody układającym się na głębokości do 5 m, a maksymalnie do 6 m p.p.t, występuje opadowo-gruntowo-retencyjna gospodarka wodna. Drzewostany znajdują się pod wpływem wody gruntowej, ale głównym źródłem zasilania w wodę drzew są opady atmosferyczne. W siedliskach, gdzie poziom wód układa się poniżej 6 m od terenu, drzewostany gospodarują tylko wodą z opadów atmosferycznych (opadowo-retencyjna gospodarka wodna). Wskazuje na to literatura siedliskoznawstwa leśnego (Babiński 1987, Rachtiejenko 1963, Wieretiennikow 1968, Wompierskij 1968, i inni).

Z analizy położenia zwierciadła wód gruntowych wynika, że w latach 1953–1968 na przeważającym obszarze Ogrodu Saskiego gospodarka wodna drzew oparta była na opadach atmosferycznych (poz. zw. wody głębiej niż 6 m). Jedynie w centralnej części ogrodu i na północnym jego krańcu potrzeby wodne drzewostanów zaspokajane były wodą opadową i gruntową. Zwierciadło wody gruntowej występowało wówczas na głębokości 3,3–5,8 m p.p.t.

Z upływem lat poziom wód gruntowych obniżył się. Jednocześnie zmniejszył się obszar, na którym drzewostany Ogrodu Saskiego korzystają z wód gruntowych. Wyniki rozpoznania hydrogeologicznego z lat 1994–1996 wskazują, że obecnie w centralnej części ogrodu drzewostany mają jeszcze typ gospodarki wodnej opadowo-podsiąkowej. Woda zalega tu na głębokości około 5 m. Na obszarze tym może w następnych latach wystąpić dalsze obniżanie zwierciadła wody gruntowej i wyłączyć zasilanie drzew podsiąkiem kapilarnym. W warunkach tych, w celu utrzymania istniejących stosunków wodnych, ławy fundamentowe nowych inwestycji budowlanych powinny być posadowione powyżej istniejącego zwierciadła wody, nie głębiej niż 7 m p.p.t.

Na pozostałym obszarze ogrodu, gdzie obecnie zwierciadło wody zalega poniżej 6 m, dalsze obniżenie wody gruntowej nie pogorszy zaopatrywania drzewostanów w wodę. Planowane posadowienie parkingów i reprezentacyjnych obiektów na głębokości do 7 m p.p.t. nie wpłynie na gospodarkę wodną drzew.

Budowa tunelu metra wzdłuż zachodniej granicy ogrodu powoduje obniżenie zwierciadła wody na terenie ogrodu wzdłuż ul. Marszałkowskiej, gdzie woda znajduje się na głębokości co najmniej 8,5 m p.p.t. Drzewostany tu są nawadniane, a procesy monitorowane. Po zakończeniu budowy tunelu nastąpi naturalne odtworzenie pierwotnego poziomu wody gruntowej. Z analizy prognozy oddziaływania odwodnienia roboczego tunelu metra na roślinność Ogrodu Saskiego (Latocha i Tomczak 1997) i własnej oce-

ny wynika, że nie wystąpią istotne zmiany w wilgotności strefy korzeniowej drzew. Potwierdzają to dotychczasowe wyniki prowadzonego monitoringu. Dalsze obserwacje w tym zakresie będą testem wskazującym poprawność prognoz potencjalnych zagrożeń dla środowiska drzewostanów w wyniku planowanych inwestycji na terenach przyległych.

Podsumowanie i wnioski

1. Głębokość zalegania wody gruntowej jest zmienna w układzie czasowym i przestrzennym. W latach 1953–1968 wody gruntowe zalegały:
 - poniżej 10 m p.p.t. na obszarze wypiętrzeń łąk płoceńskich;
 - od 6 do 10 m p.p.t. w obrębie rynny czwartorzędowej i na wschód od wypiętrzenia łąk płoceńskich;
 - od 33 do 5,8 m p.p.t. w centralnej części ogrodu.
2. Głębokość występowania zwierciadła wody na przeważającym obszarze ogrodu ulega obniżeniu. W 1998 r. woda gruntowa układała się co najmniej o 3,5 m niżej niż w latach 1953–1968. Lokalnie głównie w centralnej części ogrodu woda utrzymuje się jednak na niezmienionym poziomie. Warunkowane jest to budową geologiczną.
3. Zasilanie wód gruntowych odbywa się głównie w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych. Odpływ wód odbywa się w kierunku Wisły.
4. Drzewostany w centralnej części Ogrodu Saskiego w obszarze zalegania wody gruntowej do 6 m p.p.t.

- gospodarują wodą z opadów atmosferycznych i podsiąkającą wodą gruntową (opadowo-gruntowo-retencyjna gospodarka wodna). Na pozostałym obszarze, gdzie woda gruntowa układa się poniżej 6 m od powierzchni terenu, drzewostany gospodarują tylko wodą z opadów atmosferycznych (opadowo-retencyjna gospodarka wodna).
5. W wyniku systematycznego obniżania się wód na terenie ogrodu zmniejsza się powierzchnia drzewostanu o opadowo-podsiąkowej gospodarce wodnej. W rezultacie pogarsza się zapotrzebowanie drzew w wodę. Przyczyny tego stanu wynikają z działalności inwestorskiej na terenach przyległych do Ogrodu Saskiego i bardzo małych opadów atmosferycznych w latach 1982–1994.
 6. Planowane parkingi podziemne pod płytą placu Piłsudskiego i w sąsiedztwie placu Teatralnego powinny być posadowione na głębokości nie większej niż 6–7 m p.p.t., odpowiadającej strefie zalegania pierwszego zwierciadła wody gruntowej w latach 1953–1968. Obecnie lustro wody układa się niżej. W warunkach tych budowa i eksploatacja garaży nie wpłynie na zmiany położenia zwierciadła wody w Ogrodzie Saskim. Przy podjęciu działań inwestycyjnych wymagana jest tu jednak szczegółowa dokumentacja hydrogeologiczna, ponieważ garaże są lokalizowane w linii drenażu Ogrodu Saskiego w kierunku Wisły.
 7. Posadowienie nowych budynków przy ulicy Fredry i Wierzbowej nie powinno być głębsze niż 6 m. Zwierciadło wody w latach 1953–1968 układało się na głębokości 5–6 m, a obecnie może być niżej. Przy podejmowaniu decyzji o inwestycji niezbędna jest aktualizacja głębokości położenia zwierciadła wody.
 8. Budowa dwupoziomowego parkingu pod biurowcem na rogu ul. Marszałkowskiej i Królewskiej nie wpłynie na zmiany poziomu wód w Ogrodzie Saskim. Obecnie lustro wody układa się na głębokości 12,90 m p.p.t.
 9. Odwodnienie tuneli metra w trakcie budowy obniży poziom wody gruntowej w Ogrodzie Saskim w pasie szerokości do 80 m, bez ujemnego oddziaływania na gospodarkę wodną. Lustro wody przed pracami odwodnieniowymi układało się tu na głębokości około 12 m p.p.t.
 10. Przedstawiona analiza hydrogeologiczna terenu Ogrodu Saskiego i ocena oddziaływania planowanych inwestycji w sąsiedztwie na gospodarkę wodną drzewostanów została wykonana w warunkach znacznej niepewności. Wynika ona z ograniczonej informacji o środowisku przyrodniczym, złożonej budowy geologicznej obszaru oraz z niepewności rozwoju interakcji działalności człowieka na środowisko. W najbliższych latach na podstawie wyników prowadzonego monitoringu wód gruntowych, wilgotności gleb i kondycji drzew, należy dokonać weryfikacji przedstawionej prognozy zmian środowiskowych i opracować zasady rewitalizacji drzewostanów w kierunku ich przebudowy na opadowo-retencyjną gospodarkę wodną.

Literatura

- Archiwalne wiercenia (*dokumentacja profili wraz z lokalizacją w skali 1:2000*) Warszawskiego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego (WPG). PIG, Warszawa.
- BABIŃSKI S. 1987: *Podstawy i zasady melioracji wodnych w lasach*. Naczelny Zarząd Lasów Państwowych i Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- DAWIDOWSKI J.S. i in. 1996: *Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z projektowanym odwodnieniem tunelu szlakowego B-15*. Archiw. Metroprojekt, Warszawa, ul. Marszałkowska 77/79.
- DROŃ K. 1995: *Prognoza zakresu zmiany warunków hydrogeologicznych w rejonie B-15 (Park Saski) odcinka metra warszawskiego*. Uniw. Warsz. Wydz. Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej (praca magisterska).
- LATKA A. 1998: *Monitoring zwierciadła wody w Ogrodzie Saskim*. Materiały nie publikowane.
- LATOCHA P., TOMCZAK P. 1997: *Prognoza oddziaływania odwodnienia roboczego na drzewostan Ogródu Saskiego wraz z projektem monitoringu*. Warszawa (maszynopis).
- PAWŁAT H., PAJNOWSKA A., SIERADZ A. 1998: *Analiza warunków hydrogeologicznych i prognoza zagrożeń dla środowiska przyrodniczego Ogródu Saskiego w Warszawie*. Warszawa (maszynopis).
- RACHTIEJENKO I.N. 1963: *Rost i wzajemodziałanie koryenych sistiem drowiesnych rastienij*. Izdatielstwo Akademii Nauk BSR, Mińsk.
- SARNACKA Z. 1980a: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000*. Arkusz Warszawa-Wschód. Wydaw. PIG, Warszawa.
- SARNACKA Z. 1980b: *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000*.

Arkusz Warszawa-Wschód, Wydaw. Geologiczne, Warszawa.

- SARNACKA Z. 1992: *Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic*. Prace Inst. Geolog. 138, Wydaw. PIG, Warszawa.
- WIERETIENNIKOW A.W. 1968: *Fizjologiczskie osnovy ustojczivosti drowiesnych rastienij k wremiennomu izbytku w poczwie*. Izdatielstwo „Nauka”, Moskwa.
- WOMPIERSKI S.E. 1968: *Biologiczskie osnovy efektiwnosti lesoosuszenija*. Izdatielstwo „Nauka”, Moskwa.

Summary

The state and prediction of environmental hazard in Saski Garden (Ogród Saski) in Warsaw. The synthesis of the ground water monitoring on Saski Garden area and the estimation of the present and planned investments influence on the forest stands water management are being presented in this paper. The ground water-table on the main Saski Garden area lowers. The coverage of the sink-retentional water management forest stand increases. The new buildings in the Garden's neighbourhood should be based above the ground water-table.

Authors' address:

H. Pajnowska, H. Pawłat
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Tomasz FALKOWSKI

Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych,

Pracownia Hydrogeologii SGGW

Department of Technology of Land Reclamation, Works and Hydrogeology WAU

Geologiczne warunki naturalnej stabilizacji pionowego układu koryta Wisły w Warszawie

Geological conditions of natural stabilization of Vistula river channel vertical profile in Warsaw

Wstęp

Badania geologiczne prowadzone w dolinach rzecznych na obszarze Niżu Polskiego dowodzą, że formy te odbiegają znacznie od modelu doliny erozyjno-akumulacyjnej (rozpowszechnionego w literaturze np. Nowak 1974, Sarnacka 1982, 1992), w którym znacznej miąższości serie aluwialne tworzą czytelny w morfologii system tarasów rzecznych.

Doliny rzeczne na Niżu Polskim są formami, w których powstaniu znaczną rolę odegrały procesy glacialne, takie jak egzaracja lobów lodowcowych, a także procesy związane z arealnym zanikiem pokrywy lodowej. Przebieg tego typu zjawisk oraz ich efekty w postaci morfo- i litogenetycznego zróżnicowania dolin rzecznych, a także obszarów przyległych do doliny oraz struktur i osadów występujących w jej podłożu został opisany w literaturze (Falkowski E. i in. 1988, Falkowski E. 1990, Falkowski T. 1997a). Intensywność procesów erozji i akumulacji przebiegających w obrębie odcinka

odziedziczonego warunkuje to, czy adaptowane na dolinę obniżenie zachowało jeszcze ślady pierwotnej genezy.

Jednym ze zjawisk, obserwowanych powszechnie w dolinach rzek na Niżu (związanym z glacialną genezą dolin), jest występowanie w ich podłożu spiętrzonych glacitektonicznie lub glaciostatycznie wypartych utworów spoistych. Są to przeważnie gliny zwałowe, zastoi-skowe iły i pyły oraz iły plioceńskie. Sporadycznie występują także piaski z węglem brunatnym i iły miocenu. Wraz z utworami spoistymi wyparcie ulegały często także gruboziarniste osady fluwio-glacialne, których rozmycie przez współczesne rzeki dało pokłady bruku morenowego i głazów.

Utwory te wraz ze strefami wychodni gruntów rezydualnych (bruku morenowego) i osadów jeziornych tworzą w korycie kulminacje podłoża i stanowią progi trudno rozmywalne, które należy uznać za strefy stabilizujące koryto w profilu pionowym. Są to więc swego rodzaju lokalne bazy erozyjne.

Zarys budowy geologicznej doliny Wisły na omawianym odcinku

Dolina Wisły warszawskiej nosi także ślady glacialnej genezy. Osady w podłożu aluwiiów są często zaburzone, tworzą liczne kulminacje i depresje. W morfologii doliny wydzielić można następujące elementy:

- **strefę tarasu wyższego – plejstoceńskiego, z okresu ostatniego zlodowacenia.** Stanowi ona stosunkowo szeroki obszar zbudowany przeważnie z sedimentów rzeki roztokowej, lokalnie z silnie rozwiniętymi na powierzchni formami wydmowymi. Forma ta składa się z trzech poziomów akumulacyjnych nazywanych tarasami: otwockim, falenickim i praskim (Sarnacka 1982). Ciekawy jest fakt, że na odcinku warszawskim doliny Wisły, w okolicach Rembertowa, poziom morfologicznie zgodny z tarasem wyższym – praskim (Różycki 1967, Sarnacka 1982), zbudowany jest z utworów zastoiskowych, sedimentujących w jeziorach powstających przez zablokowanie odpływu powierzchniowego przez nasuwający się łądół. Potwierdza to hipotezę o glacialnej genezie tego odcinka doliny;
- **strefę tarasu niższego – holocénskiego.** W jego obrębie wydzielić można obszar uformowany przez rzekę meandrującą i obszar tarasu współczesnego, uformowany przez rzekę dziką – roztokową.

Na powierzchni tarasu, uformowanego przez rzekę meandrującą (charaktery-

zującą się względnie wyrównanym przepływem) zachowały się jeszcze wyraźne ślady meandrowania. Są one szczególnie dobrze widoczne na zdjęciach lotniczych (Falkowski i Laskowski 1978). W części stropowej utworów tego poziomu występują osady facji powodziowej, wykształcone w postaci glin i pyłów. Seria ta ma dla rozważań na temat ewolucji doliny w holoceniu charakter poziomu reperowego (Falkowski E. 1971). Wywołane antropopresją dziczenie rzeki w holoceniu zaznaczyło się wyprostowaniem łuków krzywizn koryta, jego wielokrotnym poszerzaniem i depozycją osadów facji korytowej w postaci wysp, mielizn, a także nasyp piaszczystych na powierzchni holocénskiego tarasu rzeki meandrującej. Utwory charakteryzujące się wielką różnorodnością stanów zwierciadła wody rzeki dzikiej – roztokowej tworzą powierzchnię przyległą do koryta tarasu współczesnego. Leży ona często hipsometrycznie wyżej niż strop utworów budujących powierzchnię tarasu rzeki meandrującej. Szczególne nasilenie depozycji osadów piaszczystych rzeki dzikiej tworzących taras współczesny przypada na okresy wezbrań.

Ewolucja rzeki w holoceniu zaznaczyła się także zmianą litologii utworów wezbraniowych. Współcześnie dominują wśród nich mady pylasto-piaszczyste. Gruntoznawcza analiza utworów wezbraniowych rzeki meandrującej i roztokowej (Myślińska i Hoffman 1982) jest istotnym elementem oceny antropogenicznych zmian środowiska przyrodniczego obszaru dorzecza.

Obserwacje prowadzone na omawianym odcinku (Falkowski E., Laskowski

1978, Falkowski E. i in. 1981) dowodzą, że Wisła powyżej ujścia Wilanówki oraz poniżej Łomianek ma charakter rzeki dojrzałej, swobodnej (według klasyfikacji podanej przez E. Falkowskiego 1971). Szeroką dolinę wypełniają dużej miąższości utwory aluwialne.

Od ujścia Wilanówki do Łomianek, a więc na znacznej części odcinka Wisły warszawskiej w podłożu aluwii występują płytko utwory trudno rozmywalne, stanowiące progi stabilizujące erozję i ograniczające rzece możliwość swobodnego przemieszczania i kształtowania koryta.

Odcinki koryta powyżej stabilizujących progów zbudowanych z gruntów trudno rozmywalnych są strefami intensywnej sedymentacji, a odcinki poniżej nich – miejscami tworzenia się wybojów (Wierzbiński i in. 1994). W ich obrębie w czasie wezbrań erozja jest największa. Po opadnięciu fali wezbraniowej deponowane są tu dużej miąższości serie utworów korytowych. Osad ten charakteryzuje się zróżnicowaniem uziarnienia (od piasków drobnych do żwirów), typowym dla sedymentów rzeki roztokowej oraz bardzo słabym zagęszczeniem. Zasięg przeróbki po każdym wezbraniu rejestrowany jest w tym luźnym osadzie warstwą wzbogaconą o frakcję grubą.

Miąższość aluwii w strefie występowania kulminacji trudno rozmywalnego podłoża aluwii jest różna. Spotykane są miejsca, w których kulminacje te występują w korycie pod przykryciem współczesnych aluwii oraz miejsca, gdzie grunty te wprost odsłaniają się w dnie koryta. Zagęszczenie utworów aluwialnych współczesnej Wisły ponad tymi

gruntami (przeważnie są to piaski luźne, co najwyżej średnio zagęszczone) wskazuje na zjawisko odsłaniania stropu utworów trudno rozmywalnych w czasie trwania wysokich stanów. Także i w tych miejscach głębokość przeróbki w czasie wezbrań rejestrowana jest przeławiceniami żwirowymi w obrębie luźnych, najmłodszych sedymentów.

Położenie (morfologia stropu), litologia i stan gruntów budujących trudno rozmywalne progi świadczy o ich małej podatności na erozję. Utwory fluwioglacjalne są przeważnie przykryte rezydualnym brukiem zbudowanym ze żwirów i otczaków. Lokalnie spotyka się nagromadzenie głazów. Zarówno bruk ten, jak i leżące poniżej piaski i żwiry fluwioglacjalne są bardzo silnie zagęszczone, co wyraźnie widać w profilach sond dynamicznych, które były wykonywane w tego typu osadach na omawianym odcinku (np. Falkowski E. i in. 1993). Także osady zastoiskowe, takie jak piaski drobne, piaski pylaste i pyły są silnie zagęszczone. Utwory spoiste, tworzące trudno rozmywalne progi są często mocno skompromowane. W łożach pliocenskich i plejstoceńskich zastoiskowych, a także niekiedy w glinach zwałowych, w wydobywanych spod dna próbkach obserwowane były wyraźne złuskiwania świadczące o ich sprasowaniu (glacitektonika). Niekiedy stropowa część utworów spoistych znajduje się w stanie miękkoplastycznym (do prawie 0,5 metra). Poniżej tej strefy grunt jest już w stanie twardoplastycznym. Podobnie jak w przypadku utworów fluwioglacjalnych, tak i w przypadku utworów spoistych (iłów pliocenских, glin zwałowych i osadów zastoiskowych) na ich

powierzchni powszechnie występują rezydualne bruki morenowe, zbudowane ze żwirów i otoczków. Są to przeważnie granity, gnejsy i kwarcyty, a więc skały bardzo odporne na wietrzenie. Miąższość strefy rezydualnej nie przekracza zwykle jednego metra.

W obrębie podłoża aluwiiów w dolinie i w korycie Wisły na omawianym odcinku wyróżnić można następujące strefy: strefy progów – gdzie miąższość aluwiiów jest najmniejsza (utwory podłoża odsłaniają się wręcz w korycie), wybojów – gdzie miąższość aluwiiów dochodzi do 20 metrów, strefy w których podłoża tworzy prawie poziomą powierzchnię oraz strefy wydłużonych obniżień o kształcie rynien, biegnących często skośnie do obecnego koryta rzeki.

Zróznicowanie morfologii stropu gruntów trudno rozmywalnych związane jest z deformacjami glaciektonicznymi, glaciizostatycznymi, erozją, a obecnie z działalnością człowieka (wzrost wysokości wezbrań i pogłębienie się niskich stanów, a także sztuczne pogłębianie dna).

Na odcinkach występowania kulminacji podłoża aluwiiów, tworzących trudno rozmywalne progi zaznacza się wyraźnie zmniejszenie szerokości tarasu holocenńskiego (warszawski odcinek Wisły – Łuk Gocławski do Łomianek).

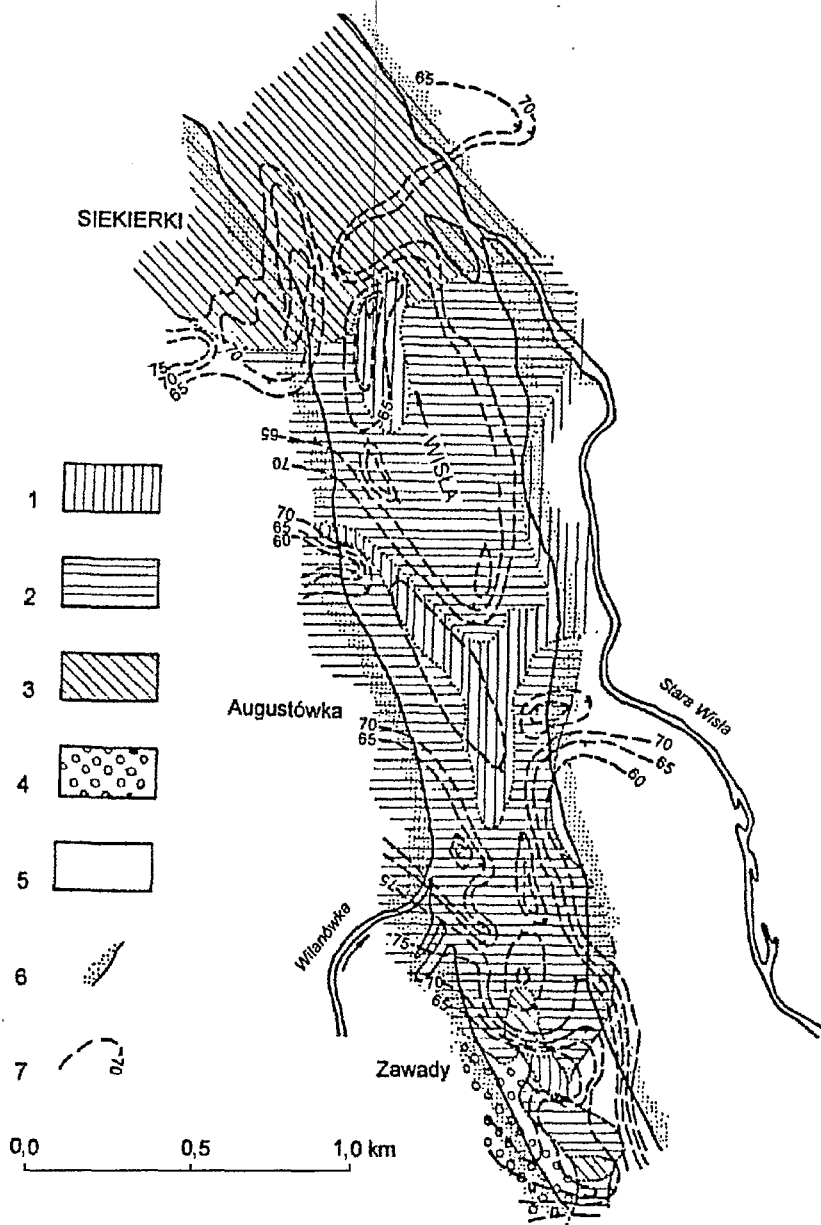
Dokładniejsza analiza ukształtowania powierzchni stropu gruntów trudno rozmywalnych, a szczególnie obserwowane występowanie kulminacji stropu utworów spoistych w korycie, pozwala przypuszczać, że wypiętrzanie tych utworów, oprócz wspomnianych wcześniej procesów glaciektoniki i glaciizostazji, jest związane z naciskiem mas osa-

dów tworzących tarasy wyższe oraz wysoczyznę. Zjawisko wypierania gruntów spoistych w strefie koryta na skutek nacisku mas gruntów budujących wyższe poziomy akumulacyjne, jak można przypuszczać przebiega także i współcześnie (Falkowski E. i Laskowski 1978).

Przykład zróznicowania litologicznego i morfologicznego powierzchni stropowej podłoża aluwiiów w korycie Wisły warszawskiej przedstawia mapa koryta w okolicy Siekierek (rys.). Jest ona fragmentem opracowania wykonanego przez zespół kierowany przez prof. dr. hab. E. Falkowskiego, a składający się z pracowników Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego i Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW (Falkowski i in. 1992).

Strefa nieco poniżej ujścia Wilanówki jest obszarem, na którym strop podłoża aluwiiów wykazuje deniwelacje dochodzące do 15 metrów (od 63 do 78 m n.p.m.). W okolicach Augustówki w podłożu aluwiiów stwierdzono rynnę erozyjną, której dno sięga rzędnej 59 m n.p.m. Powierzchnię tą budują ropy plicenu, gliny zwałowe oraz piaski i żwiry fluwioglacjalne. Utwory te na znacznym obszarze przykryte są rezydualnymi brukami. Zróznicowanie morfologii i litologii trudno rozmywalnego podłoża aluwiiów świadczy o silnym glaciektonicznym zaburzeniu tych osadów.

Płytkie występowanie w korycie stropu trudno rozmywalnego podłoża aluwiiów było w przeszłości przyczyną formowania się w rejonie Siekierek zatorów lodowych, o czym świadczy około czterokilometrowej długości rynna erozyjna



RYSUNEK. Mapa stropu podłoża aluwii w korycie Wisły w Warszawie w okolicy Siekierki (Falkowski E. i in. 1992): 1 – gliny zwałowe, 2 – utwory zastoiskowe, 3 – iły plioceńskie, 4 – żwiry fluwioglacjalne, 5 – piaski facji korytovej, 6 – granica koryta Wisły, 7 – izohipsy stropu podłoża aluwii
 FIG. Map of the Vistula channel alluvia basement in Warsaw near Siekierki (based on Falkowski E. et al. 1992): 1 – boulder clays, 2 – ice-dam deposits, 3 – Pliocene clays, 4 – fluvioglacial gravel, 5 – channel sands, 6 – Vistula channel border; isohypse of alluvia basement roof

przepływów wezbraniowych, biegnąca po powierzchni tarasu niższego, nazywana Starą Wisłą (rys.).

Związek występowania w korytach rzek nizinnych trudno rozmywalnych progów z zatorogennością ich odcinków opisano na przykład w dolinie Bugu i Wisły (Bieganowski i Falkowski T. 1988, Falkowski T. i in. 1989).

Wnioski

1. Analiza ukształtowania powierzchni gruntów trudno rozmywalnych, a także analiza ich litologii wskazują, że wcinanie Wisły w praktyce nie występuje.
2. Obserwowane obniżanie się poziomu dna występuje jedynie między progami i dotyczy warstwy aluwialnej (utworów korytowych). Cechy tych utworów, takie jak słabe zagęszczenie i występujące w ich profilu przeławicenia żwirowe świadczą o tym, że erozja sięgała kiedyś głębiej – często do poziomu trudno rozmywalnych utworów (czego świadectwem są wytworzone w stropowej części glin zwałowych i ilów fluwiogłacjalnych, występujących w strefach wybojów utwory rezydualne). Odcinki te zostały jednak potem wypełnione osadem. Wyjątkiem są strefy powyżej progów obniżonych w wyniku działalności człowieka, lub na których powierzchni zniszczona została warstwa rezydualnych bruków.
3. Podkreślić należy także, że typowanie stref występowania gruntów trudno rozmywalnych w korycie, z dużą

dokładnością przeprowadza się na podstawie analizy morfo- i litogenezy odcinka doliny. Dowodzą tego zarówno wyniki badań odcinka doliny Wisły warszawskiej, jak też wyniki badań dolin na obszarze całego Niżu Polskiego (Falkowski E. 1980, Falkowski T. i in. 1989, Karabon 1980; Bieganowski i Falkowski T. 1988, Falkowski i Popek 1998 i inne).

4. Występujące płytko pod pokrywą aluwialną w dolinie Wisły spoiste grunty słaboprzepuszczalne, tworzące w korycie strefę trudno rozmywalną, mogą mieć także znaczenie dla przebiegu dróg filtracji wód podziemnych w strukturach tarasowych. Stwierdzone w stropie tych utworów w korycie Wisły wydłużone depresje oraz fałdy kontynuować się muszą w obrębie tarasów, tworząc uprzywilejowane drogi przepływu wód podziemnych. Mogą stanowić także bariery ograniczające dopływ wód podziemnych do koryta. Rozpoznanie tych form ma istotne znaczenie dla ustalania warunków hydrogeologicznych dolin rzecznych na przykład dla projektowania sieci monitoringu wód podziemnych (Falkowski T. 1998), czy lokalizacji ujęć wody (Falkowski T. 1997b).

Literatura

- BIEGANOWSKI R., FALKOWSKI T. 1988: *Kanalizacja ulgi wód wezbrań zatorowych na przykładzie odcinka Bugu koło Wólki Nadbużnej*; Przegl. Geolog. 11; (663–664)
- FALKOWSKI E. 1971: *Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski*. Biul. Geolog. tom 12.

- FALKOWSKI E. 1990: *Morphogenetic classification of river valleys in formerly glaciated areas for the needs of mathematical and physical modelling in hydrotechnical projects*. Geographia Polonica 58; 57–68.
- FALKOWSKI E., FALKOWSKI T., GRANACKI W., KARABON J., KRAUŻLIS K. 1988: *Morfogeneza sieci rzecznej obszaru województwa białskopodlaskiego, w nawiązaniu do prawdopodobieństwa przebiegu deglacji*. Przegl. Geol. nr 11; 620–628.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., BUSZKO A., CZARNECKI M., GRANACKI W., KARABON J., LEWIŃSKA A. 1981: *Studium geologiczne Wisły środkowej na odcinku ujścia Pilicy – Buraków oraz Odry w rejonie ujścia Warty*. Spraw. z badań z 1981 PR. 07.11.02.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., GRANACKI W., FALKOWSKI T., BIEGANOWSKI R. 1992: *Mapa stropu gruntów trudnorozmywalnych wraz z ich litologią w korycie Wisły*. Zakład Badań Geolog. dla Budownictwa, Warszawa, ul. Stradomska 55.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., GRANACKI W., FALKOWSKI T., BIEGANOWSKI R. 1993: *Badania litologii i morfologii stropu gruntów trudno rozmywalnych oraz miąższości aluwii pod ujęcia PU-4 i PU-5, jak też cech geotechnicznych na trasie doprowadzalnika*. Zakł. Badań Geolog. dla Budow., Warszawa.
- FALKOWSKI E., LASKOWSKI K. 1978: *Sprawozdanie z realizacji tematu Wpływ erozji i sedymentacji w korycie Wisły na odcinku od ujścia Pilicy do ujścia Narwi na morfologię stropu gruntów trudno rozmywalnych (w aspekcie poboru kruszywa)*.
- FALKOWSKI T. 1997a: *The importance of recognition of polygeny for the rational utilisation of river valleys in the Polish Lowland*. Proceedings International Symposium Engineering Geology and the Environment, Athens. A.A. Balkema, Rotterdam; 107–111.
- FALKOWSKI T. 1997b: *Wpływ poligeny dolin rzecznych na Niżu Polskim na warunki lokalizacji poddennych, infiltracyjnych ujęć wody*. Współczesne problemy hydrogeologii. Tom VIII, red. J. Górski i E. Liszkowska; 279–281.
- FALKOWSKI T. 1998: *Znaczenie rozpoznania genezy dolin rzecznych na Niżu Polskim dla wyznaczania zasięgu stref ochronnych dla poddennych ujęć wody*. W: *Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce*. red. J. Liszkowski, Wind, Poznań; 203–205.
- FALKOWSKI T., GRANACKI W., KRAUŻLIS K. 1989: *Litologiczne i morfologiczne kryteria oceny zatorogenności odcinków dolnej Wisły*. Inform. Projekt. „Hydroprojekt”; 53–57.
- FALKOWSKI T., POPEK Z. 1998: *Zmiany położenia dna w korycie Wkry na tle zróżnicowania morfogenetycznego jej doliny i przyległych wysoczyzn*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 458; 33–43.
- KARABON J. 1980: *Morfogenetyczna działalność wód wezbraniowych związana z zatorami lodowymi w dolinie Wisły Środkowej*. Przegl. Geol. 8.
- MYŚLIŃSKA E., HOFFMAN E. 1982: *Zróżnicowanie litologiczne mac w wybranych odcinkach doliny Wisły*. Przegl. Geol. nr 9.
- NOWAK J. 1974: *Stratygrafia plejstocenu północnej części Kotliny Warszawskiej*. Biul. Inst. Geol. 268; 91–164.
- RÓŻYCKI S.Z., SUJKOWSKI Z. 1936: *Profil geologiczne przez Warszawę*. Zarząd Miejski w Warszawie.
- RÓŻYCKI S. 1967: *Plejstocen Polski Środkowej na tle przeszłości w późnym trzeciorzędzie*. PWN, Warszawa.
- SARNACKA Z. 1982: *Stratygrafia i charakterystyka litologiczna osadów czwartorzędowych rejonu doliny Wisły na południe od Warszawy*. Biul. Inst. Geol. 337; 143–198.
- SARNACKA Z. 1992: *Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic*. Prace PIG 108.
- WIERZBICKI J. i in. 1994: *Stalność pionowego układu i morfologii koryta oraz zwierciadła wody Wisły Warszawskiej na odcinku położonym między ujściem rzeki Pilicy a ujściem rzeki Narwi*. Zakł. Budow. Wod. Wyd. Inż. Środ. Politechniki Warszawskiej; Archiwum ODGW, Warszawa.

Summary

Erosion resistant deposits of Wisła alluvia substratum in Warsaw occurrence, as an element of natural stability of river vertical profile. Basement of channel alluvia

of Warsaw Wisła is formed by glacitectonically disturbed glacial deposits (boulder clays, gravel, ice dam deposits) and Pliocene clays. Those sediments (often overlain by residual lags) build erosion resistant escarpment, which stabilise deep erosion. Thickness of the channel alluvia is from 0 to 20 meters. Occurrence of erosion resistant structures in

channel zone is connected with geomorphology of Wisła river valley.

Author's address:

T. Falkowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland.

Badania parametrów odwadniania osadów ściekowych na filtrze kompostowym

Research on parameters of dehydrated sewage sludge in the composting filter

Wstęp

W ostatnich latach obserwujemy dynamiczny wzrost obejmowania wiejskich jednostek osadniczych systemami kanalizacji grupowej. Powstaje wiele małych i średnich biologicznych oczyszczalni ścieków, które są źródłem powstawania osadów ściekowych. Surowy osad ściekowy należy poddać takim zabiegom technologicznym, które mogłyby doprowadzić do jego wtórnego wprowadzenia do środowiska.

Surowy osad ściekowy charakteryzuje się wysokim stopniem uwodnienia sięgającym niekiedy do 99,5%. Należy więc w pierwszej kolejności przeprowadzać procesy zmierzające do jego odwodnienia, a co za tym idzie do zmniejszenia objętości. Tradycyjną metodą odwadniania osadów w małych i średnich oczyszczalniach są poletka osadowe. Odchodzi się jednak od tej metody ze względu na jej liczne wady. Alternatywą dla poletek jest wywożenie osadu taborem aseniza-

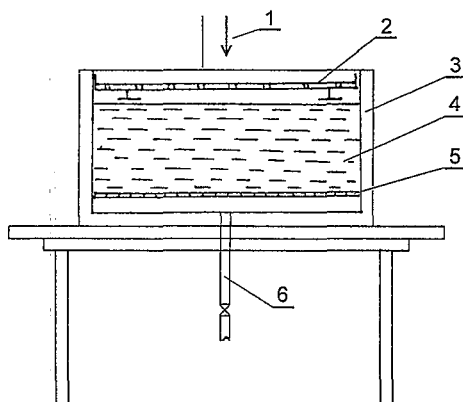
cyjnym do dużych oczyszczalni mających rozwiązany system przetwarzania i utylizacji osadów. W ostatnich latach zaczęto stosować workownice, w których proces odwadniania osadów zachodzi w workach ze specjalnego tworzywa hydrofobowego TNT (Tiunajtis 1997). W ostatnim czasie powstała tzw. idea przewoźnych stacji odwadniania osadu. Przewoźne stacje (np. prasy, wirówki), aby być w pełni wykorzystane muszą być transportowane do wielu oczyszczalni. Metoda taka wymaga zbiorników do gromadzenia nieodwodnionych osadów ściekowych w obrębie oczyszczalni (zagęszczacze). Odwadnianie osadów z zastosowaniem workownic lub przewoźnych stacji odwadniania osadów jest ekonomicznie nie uzasadnione dla małych oczyszczalni. Technologia workowania osadów może znaleźć szersze zastosowanie w oczyszczalniach ścieków przemysłowych (np. z przemysłu rolno-spożywczego), gdzie osady ściekowe mogą zawierać nadmierne stężenia metali ciężkich.

W małych oczyszczalniach ścieków bytowo-gospodarczych stężenie metali ciężkich w osadach jest na ogół niewielkie lub łatwe do zmniejszenia przez ewidencjonowanie i ograniczanie zrzutów ścieków z małych zakładów typu galwanizernie, warsztaty mechaniczne itp. Dlatego należy poszukiwać takich technologii, które mogą skutecznie odwadniać osady ściekowe, a jednocześnie być elementem systemu utylizacji, który pozwoli na przekształcenie osadów ściekowych w materiał przyjazny środowisku, który może być wykorzystany do celów rolniczych (Agopsowicz i Biernacka 1997). Technologia, która może być wykorzystana w takich oczyszczalniach jest filtr kompostowy. Na filtrze następuje filtracja nieodwodnionych osadów ściekowych przez wypełnienie filtra. Aby proces filtracji na filtrze był sprawny potrzebny jest wysoki stopień mineralizacji osadu w komorach aeracji. Można to osiągnąć przez symultaniczną stabilizację tlenową przy odpowiednio długim czasie przetrzymania osadu w komorach napowietrzania.

Material i metoda badań

Sprawność procesu filtracji zachodzącego w filtrze kompostowym określono na podstawie badań przeprowadzonych w skali laboratoryjnej. W celu realizacji zamierzenia badawczego skonstruowano stanowisko (rys. 1)

Zasadniczym elementem stanowiska jest komora filtracyjna o wymiarach w planie 33×33 cm (powierzchnia $0,1 \text{ m}^2$) i głębokości 30 cm. Komora filtracyjna



RYSUNEK 1. Schemat stanowiska badawczego do badań filtracji: 1 – dopływ osadu, 2 – ruszt rozpraszający, 3 – komora filtracyjna, 4 – wypełnienie filtra, 5 – ruszt podtrzymujący, 6 – odpływ odcieku
FIG. 1. Model of the research stand for tests of the sludge filtration: 1 – sludge inflow, 2 – distributing grate, 3 – filtration tank, 4 – filter packing, 5 – supporting grate, 6 – outflow

wypełniona jest sieczką ze słomy żytniej o miąższości 0,2 m.

Osad nadmierny użyty do badań pobierano z biologicznej oczyszczalni w Zakrzewie i podawano na filtr w dawkach 20-litrowych. Równomierne rozprzowanie osadu na powierzchni filtra zapewnia ruszt rozpraszający. Osad charakteryzował się wysokim stopniem zmineralizowania, o czym świadczą badania osiadania osadu w leju Imhoffa (Rogiński i Wichowski 1997). W celu poprawienia drożności filtra wskazane jest okresowe przemieszanie złoża w zależności od potrzeb. Prowadząc badania filtracji dokonywano oznaczeń ilości suchej masy w surowym osadzie oraz ilości suchej masy w odcieku, mierzono także czas przesiąku. Znając miąższość warstwy filtracyjnej możliwe było określenie prędkości filtracji.

Oznaczenia fizykochemiczne osadów wykonano metodami opartymi na obowiązujących normach (Gajkowska-Stefańska i in. 1997). Uzyskane w trakcie badań wyniki zostały przedstawione w tabeli. Określenie funkcji opisujących przebieg zmienności badanych parametrów wykonano za pomocą komputera, wykorzystując oprogramowanie Excel firmy Microsoft.

Wyniki badań

Wyniki badań uzyskane na filtrze kompostowym przedstawiono w tabeli 1.

Tabela zawiera zakres zmienności badanych parametrów oraz wartości średnie. Zależności między badanymi parametrami przedstawiają rysunki 2–4.

Analizując uzyskane wyniki stwierdzamy, że zawartość suchej masy została zredukowana na filtrze o 61%, przy średniej zawartości suchej masy na wejściu 2,21% do średniej zawartości na wyjściu

0,86%, przy czym należy zwrócić uwagę, że zawartość suchej masy w odcieku maleje wraz ze zmniejszaniem się współczynnika filtracji (rys. 2).

Ilość przyjętego na filtr osadu wpływa na jego stopniowe zamulanie. Powoduje to wzrost czasu przesiąku. Przyrost czasu przesiąku w zależności od ilości osadu przyjętego na filtr obrazuje funkcja wielomianowa (rys. 3).

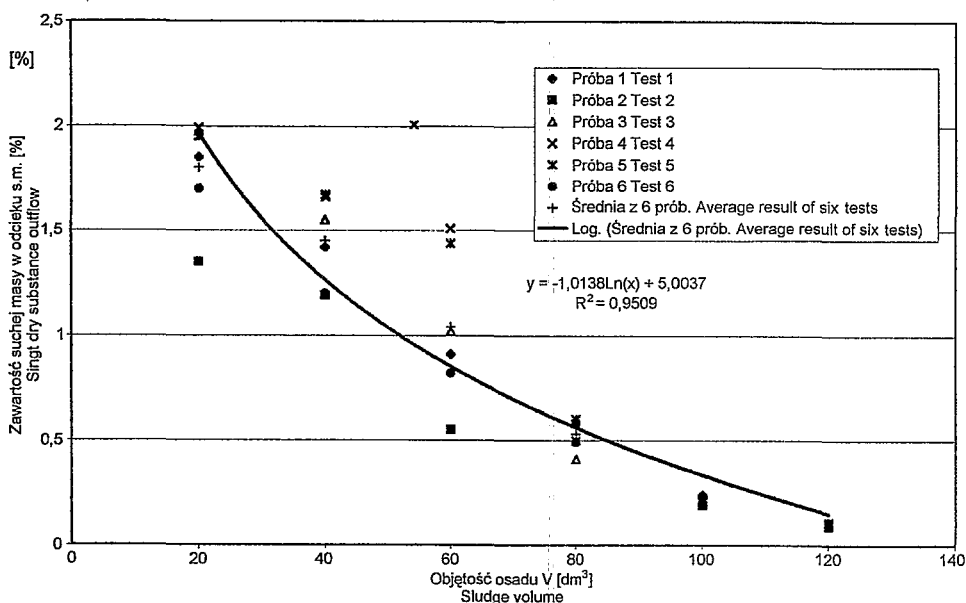
Współczynnik filtracji maleje wraz ze wzrostem ilości osadu przyjętego na filtr (tab.). Zależność tę opisano funkcją potęgową (rys. 4).

Kolmatacja filtru następowała po wprowadzeniu 120 litrów osadu o średniej zawartości suchej masy 2,21% (tab.). Powierzchnia filtru użytego do badań wynosiła 0,1 m². Dane te wskazują, że 1 m² filtru może przyjmować około 1,2 m³ osadu o średnim uwodnieniu 97,8%. Uzyskane wyniki mogą służyć do programowania wielkości filtru na oczyszczalni.

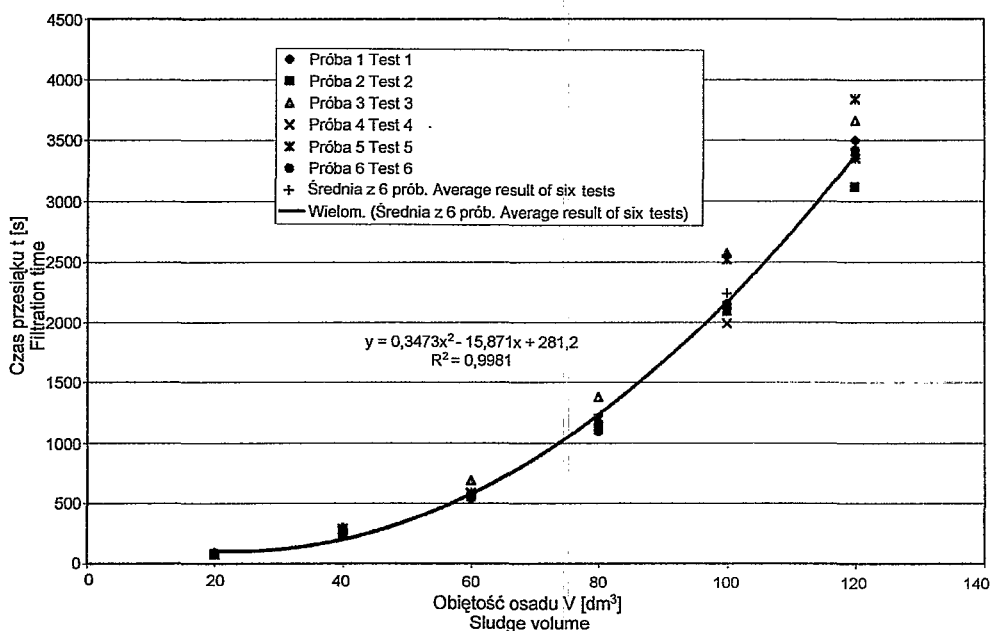
TABELA. Wyniki badań filtracji
TABLE. The results of filtration test

Ilość osadu Sludge quantity	Sucha masa ₁ [%] Dry substance ₁		Sucha masa ₂ s.m. [%] Dry substance ₂		Czas przesiąku t_p [s] Filtration time		Współczynnik filtracji k [cm/s]10 ⁻² Filtration coefficient	
[Dm ³]	zakres zmienności Lability range	wartości średnie ^a Average value	zakres zmienności Lability range	wartości średnie ^a Average value	zakres zmienności Lability range	wartości średnie ^a Average value	zakres zmienności Lability range	wartości średnie ^a Average value
20	2,05–2,36	2,21	1,35–1,99	1,80	75–90	79	22,22–26,67	25,37
40	jw.	jw.	1,19–1,67	1,45	245–300	271	6,67–8,16	7,40
60	jw.	jw.	0,55–1,51	1,04	390–590	538	2,90–3,70	3,43
80	jw.	jw.	0,41–0,60	0,53	1100–1380	1182	1,45–1,82	1,70
100	jw.	jw.	0,19–0,22	0,21	1990–2570	2239	0,78–1,00	0,90
120	jw.	jw.	0,09–0,11	0,10	3120–3840	3355	0,52–0,64	0,58

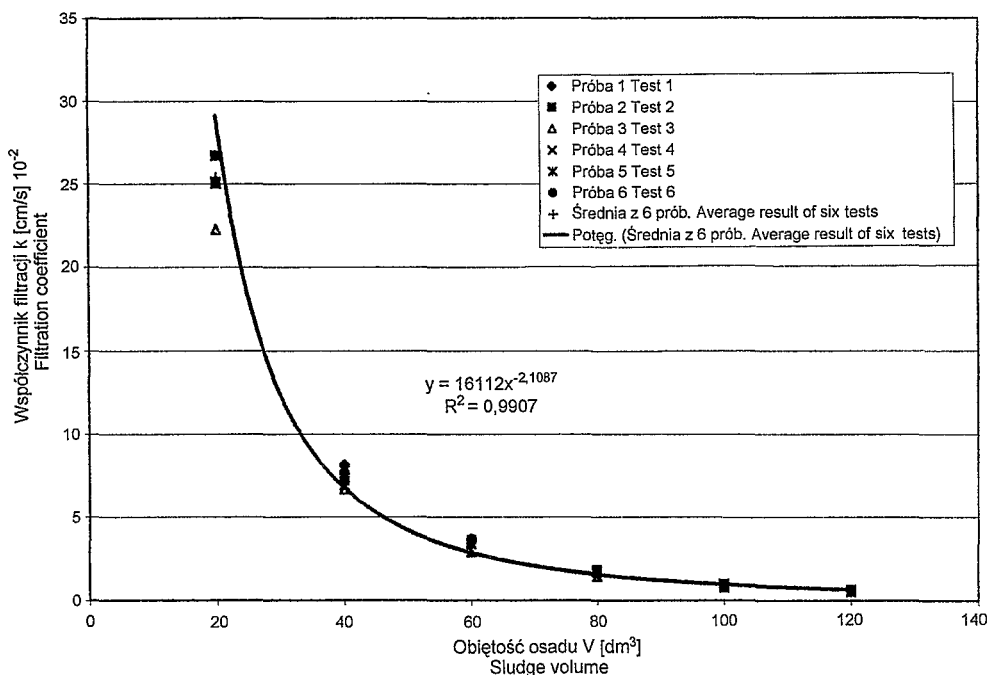
^a średnia z sześciu prób (average result of sixth tests).



RYSUNEK 2. Zależność zawartości suchej masy w odcieku od ilości osadu przyjętego na filtr
FIG. 2. Relation between dry substance outflow and the amount of filtered sludge



RYSUNEK 3. Czas przesiąku w zależności od ilości osadu przyjętego na filtr
FIG. 3. Relation between filtration time and the amount of filtered sludge



RYSUNEK 4. Zależność współczynnika filtracji od ilości osadu przyjetego na filtr
 FIG. 4. Relation between filtration coefficient and the amount of filtered sludge

Podsumowanie i wnioski

Przedstawiony laboratoryjny filtr kompostowy może być wykorzystany przy projektowaniu procesów odwadniania osadów ściekowych w małych wiejskich oczyszczalniach. Charakteryzuje się on prostotą konstrukcji i jest łatwy w eksploatacji. Filtr powinien być elementem systemu unieszkodliwiania, który pozwoli na utylizację osadów ściekowych. Komora filtracyjna może pełnić rolę komory kompostowej. Uzyskana masa filtracyjna zostaje wówczas poddana procesowi kompostowania. Wskazane jest wtedy wyposażenie komory w instalację napowietrzania i termoizolację. Gdy

filtr będzie się składał z kilku komór, mogą one pracować równolegle.

Obecnie prowadzone są badania nad kompostowaniem powstałej w filtrze mieszaniny osadu ściekowego i sieczki. Mają one na celu określenie właściwych warunków dla tego procesu, aby uzyskać kompost o takich parametrach, które pozwolą na rolnicze jego wykorzystanie.

Literatura

- AGOPSOWICZ M., BIERNACKA E. 1997: *Pracownictwo w zakresie przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych*. Przegl. Nauk. z. 13, Wydaw. SGGW.
- GAJKOWSKA-STEFAŃSKA L. i in. 1997: *Laboratoryjne metody badania wody i ścieków*

i osadów ściekowych. Oficyna Wydawnicza
PW Warszawa

ROGIŃSKI W., WICHOWSKI P. 1997: *Ocena efektywności semiperiodycznej oczyszczalni ścieków dla PDPS w Zakrzewie*. Przeg. Nauk. z. 13, Wydaw. SGGW.

Tiunajtis K. 1997: *Nowoczesne urządzenia do odwadniania osadów*. Mat. z Konf. Nauk.-Techn. Poznań.

Summary

Research on parameters of dehydrated sewage sludge in the composting filter.

The article presents an example of dehydration of an excessive sludge in a composting filter, that is filled with cut up straw. Model of the research stand is presented on the Figure 1.

The investigation which were made helped to state the parameters, such as: amount of dry substance, in and output sludge, duration of the filtration, and coefficients of the process. The results are presented in the Table nr 1 and on the Figures 2–4. The results can be taken into account in planning of sludge dehydration processes.

The output filtration substance can be composted in a filter-tank. In that case, the tank has to be equipped with aeration system and thermal insulation. The investigations of the problem are continued.

Authors' address:

W. Rogiński, P. Wichowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Beata LIBISZEWSKA

Mieczysław POŁOŃSKI

Katedra Technologii i Organizacji

Prac Wodnych i Melioracyjnych SGGW

Department of Technology and Organisation of Land Reclamation

Works and Hydrogeology WAU

Proces adaptacji przedsiębiorstw melioracyjnych do warunków gospodarki rynkowej Adaptation process to free market in land improvement company

Wprowadzenie

Na przełomie lat dziewięćdziesiątych dokonała się w Polsce zmiana systemu gospodarczego, co miało również wpływ na rozwój branży melioracyjnej. Przedsiębiorstwa zareagowały na tę zmianę w różnym czasie i w różnym stopniu. Rozpoczął się proces dostosowywania przedsiębiorstw do wprowadzanej gospodarki rynkowej.

Działalność przedsiębiorstw w warunkach gospodarki okresu przejściowego charakteryzuje wzrost uzależnienia od otoczenia z jednoczesnym zwiększeniem zakresu możliwości decydowania o własnym rozwoju. Przedsiębiorstwa uzyskały pełną swobodę w określaniu zakresu działania, poziomu cen, wyboru dostawców i częściowo odbiorców. Na procesy zachodzące w przedsiębiorstwach ma

wpływ wiele czynników pochodzenia zewnętrznego. Są to między innymi:

- procesy demokratyzacji i decentralizacji zarządzania wraz z wzrastającym udziałem organów samorządowych;
- dokonujące się procesy prywatyzacji i umacniania się mechanizmów gospodarki rynkowej;
- konieczność intensywnych działań proekologicznych w związku z niebezpieczną degradacją środowiska naturalnego;
- przyszła integracja z Unią Europejską, która pociąga za sobą konieczność stopniowego dostosowania naszych norm, standardów i zasad postępowania do wymagań tam obowiązujących, zgodnie z podpisywanymi umowami i konwencjami międzynarodowymi;

- ogólna sytuacja i zmiany zachodzące w gospodarce kraju oraz w gospodarce wodnej, do której należą również melioracje.

Zakres robót w melioracji

W latach 60. i 70., kiedy liczyła się intensyfikacja produkcji rolnej, meliorowano w ciągu roku nawet 300 tys. ha. W latach 90., po urealnieniu cen żywności, okazało się, że polskie rolnictwo produkuje zbyt dużo, wobec czego znacznie zmniejszono ilość wykonywanych melioracji, gdyż zapotrzebowanie na nie wyraźnie spadło.

Jak wynika z zamieszczonych danych w okresie ostatnich lat ze wszystkich wykonywanych rodzajów robót zwiększa się jedynie zakres prac przy budowie obwałowań rzek i utrzymał na podobnym poziomie przy budowie zbiorników wodnych. Wszystkie pozostałe rodzaje prac melioracyjnych zostały, często

drastycznie, ograniczone. Na dłuższy dystans tak małe rozmiary robót melioracyjnych są nie do utrzymania. Około 7 mln ha gruntów już zmeliorowanych wymaga ciągłych napraw i modernizacji. W wyniku naturalnego procesu starzenia się oraz przeznaczania zmeliorowanych gruntów na cele nierolnicze, rocznie ubywa ok. 1% zmeliorowanych użytków rolnych. Zaległości w utrzymaniu urządzeń melioracyjnych szacuje się na 1,2 mln ha. Wraz z nowymi melioracjami daje to rozmiar zadań do roku 2015 na poziomie 5,4 mln ha; prawie po 317 tys. ha rocznie. Jednak kwoty przeznaczone w budżecie państwa na inwestycje melioracyjne stanowią tylko ok. 40% zgłoszonych potrzeb (Informator Wodno-melioracyjny).

Pozyskanie danych

Aby ocenić sytuację rynkową przedsiębiorstw melioracyjnych, przeprowadzono badania rynkowe na niewielkiej, selektywnie dobranej grupie przedsię-

TABELA. Zakres robót w melioracji
TABLE. Range of land reclamation works

Wyszczególnienie Descriptions	Lata					
	1988	1993	1994	1995	1996	1997
Melioracje użytków rolnych [tys. ha]	139,6	19,1	15,7	14,6	12,6	13,2
Drainage [thou. hectare]						
Zagospodarowanie użytków zielonych [tys. ha]	35,1	4,6	2,7	2,5	1,8	1,7
Reclamation of permanent grasslands [thou. hectare]						
Obwałowania [km]	113,0	49,6	49,0	76,8	118,7	75,4
Dams [kilometre]						
Zbiorniki wodne [mln m ³]	7,6	0,6	2,3	80,6 ^a	3,9	7,4
Reservoirs [millions m ³]						

^a Obejmuje pojemność oddanego do użytku zbiornika „Siemianówka”.
With „Siemianówka” reservoirs.

biorstw działających na tym samym rynku lokalnym, obejmującym sąsiednie byłe województwa: ostrołęckie i łomżyńskie. Ze względu na złożoność zagadnienia jako metodę pozyskiwania danych wybrano wywiad bezpośredni (Libiszewska 1998). Badaniami objęto 3 przedsiębiorstwa w różnym stadium dostosowania do wolnego rynku. Są to: Przedsiębiorstwo Robót Inżynieryjno-Budowlanych „AR-MEL” sp. z o.o. z Wyszkowa, Rejonowe Przedsiębiorstwo Melioracyjne S.A. w Łomży, Rejonowe Przedsiębiorstwo Melioracyjne (p.p.) w Ostrołęce. Są to firmy będące w trakcie przekształceń restrukturyzacyjnych. W każdym z nich przeprowadzono analizę aktualnej sytuacji, analizę rozwojową przedsiębiorstwa oraz analizę SWOT (szanse i ograniczenia wewnątrz jak i z zewnątrz firmy). Zbadano także otoczenie zewnętrzne firm: bliższe i dalsze.

Analiza sytuacji przedsiębiorstw melioracyjnych

Rozmiary i struktura wykonywanych melioracji mają bezpośredni wpływ na działalność przedsiębiorstw wykonawczych. Od pierwszych powojennych lat do 1991 r. w Polsce istniało 85 państwowych komórek tzw. rejonowych przedsiębiorstw melioracyjnych. Kryzys lat dziewięćdziesiątych spowodował brak nakładów inwestycyjnych i w konsekwencji lawinowy spadek produkcji. Większość przedsiębiorstw zajmujących się wówczas jedynie melioracjami stanęła na krawędzi upadku. Potencjał produkcyj-

ny w postaci maszyn był nie wykorzystany, drastycznie spadło zatrudnienie.

Spośród 85 państwowych podmiotów gospodarczych wykonujących melioracje w latach 1945–1991, po roku 1991 czterdzieści pięć zostało sprywatyzowanych. Powstało dwanaście spółek akcyjnych, trzydzieści trzy spółki z ograniczoną odpowiedzialnością. Trzydzieści przedsiębiorstw upadło. Pozostało dziesięć przedsiębiorstw państwowych, z których prawdopodobnie połowa jeszcze się sprywatyzuje, a połowa upadnie.

Spośród 28 przedsiębiorstw konserwacji urządzeń wodnych i melioracyjnych, pozostało 5: 2 przedsiębiorstwa państwowe, 3 sp. z o.o.

Spośród 16 Przedsiębiorstw Sprzętu i Transportu Wodno-melioracyjnego, pozostało 3: 1 spółka akcyjna, 2 spółki z o.o.

Spośród 4 Przedsiębiorstw Remontowych Sprzętu Wodno-melioracyjnego, pozostała jedna spółka z o.o.

Spośród 8 przedsiębiorstw budownictwa wodno-inżynieryjnego pozostało 6 jako spółki z o.o.

Dostosowanie się do nowych warunków gospodarczych polegało na szybkiej prywatyzacji i rozszerzeniu zakresu działania. W większości przypadków była to prywatyzacja metodą sprzedaży. Obranie takiej drogi prywatyzacji świadczy o słabej kondycji finansowej firm. Rozszerzenie zakresu wykonywanych prac polegało na:

- wprowadzeniu prac z zakresu uzbrajania infrastruktury wsi, jak budowa wysypisk odpadów, wodociągów, kanalizacji, dróg;
- wprowadzeniu produkcji i sprzedaży prefabrykatów i produktów betono-

wych w postaci kostki chodnikowej, śmietników, ławek i innych.

Przedsiębiorstwa systematycznie poszerzają gamę swoich wyrobów, reagując na potrzeby rynku. W ostatnich pięciu latach nastąpiło zdecydowane przesunięcie działalności zakładów z prac związanych z melioracją użytków rolnych w kierunku budowy obiektów inżynierii wodnej oraz robót budowlano-montażowych. Przedsiębiorstwa melioracyjne z firm typowo usługowych, stały się przedsiębiorstwami produkcyjno-usługowo-handlowymi w dziedzinie budownictwa i melioracji oraz materiałów i urządzeń budowlanych i melioracyjnych.

Głównym inwestorem jest nadal skarb państwa i budżety gmin (ok. 70–80% wykonywanych robót). Nowi zleceniodawcy firm to przedsiębiorstwa prywatne, głównie zachodnioeuropejskie firmy oraz odbiorcy indywidualni.

Przedsiębiorstwa, w związku z wykonywaniem różnych rodzajów robót, m.in. sanitarnych, drobnych robót drogowych i innych, odpowiedziały na zwiększone zapotrzebowanie płynące z usamodzielnionych gmin. Gminy stają się coraz bardziej zamożne i samorządne, a wskutek wieloletnich zaniedbań w utrzymaniu i rozwoju infrastruktury komunalnej inwestycje w tej dziedzinie stały się priorytetowe. Buduje się masowo oczyszczalnie ścieków zarówno duże, nowoczesne w większych aglomeracjach, jak i też małe na potrzeby gminy, czy osiedla. Rozbudowuje się sieć kanalizacyjną, powstają nowe wodociągi i stacje uzdatniania wody. W trosce o ochronę środowiska powstają nowoczesne wysypiska odpadów. Sporo jest też inwestycji komu-

nikacyjnych (drogi, mosty), wodnych (regulacje rzek, zabezpieczenia przeciwpowodziowe); magazynowych i innych. Są to przykłady inwestycji gminnych i wszystko wskazuje na to, że będą to tendencje trwałe, a nawet rozwojowe.

Tradycyjny rynek zbytu przedsiębiorstw ograniczony był zwykle do terytorium województwa. Obecnie przedsiębiorstwa rozszerzają swój zasięg terytorialny wychodząc z robotami na tereny sąsiednich województw i na rynek krajowy. Jest to jednak trudne, ponieważ rynki lokalne są bardzo zamknięte.

Sprzedaż robót wykonywanych przez przedsiębiorstwo ma charakter sezonowy, średnio od marca do listopada. Związane jest to z wpływem warunków atmosferycznych przy pracach terenowych.

Przedsiębiorstwa posiadają większość maszyn i urządzeń niezbędnych do prowadzenia działalności. Są to typowe dla branży maszyny i urządzenia: koparki, spycharki, maszyny do układania drenów i betoniarki. Ich stan techniczny jest średni z powodu znacznego zużycia. Te środki wymagać będą sporych nakładów na remonty i powinny być w najbliższych latach częściowo odnowione.

Atutem większości przedsiębiorstw jest doświadczona, pracująca od wielu lat załoga. Kwalifikacje, wykształcenie oraz wydajność pracowników są wystarczające do wykonywanych zadań. W strukturze zatrudnienia mogłaby być poprawiona motywacja pracowników oraz średni wiek pracowników, który jest obecnie raczej zaawansowany. Niepełne wykształcenie nie skłania pracowników do poszukiwania innej pracy, ponieważ na rynku jest nadmiar fachowców z branży.

Konkurencją dla średnich firm melioracyjnych są małe firmy o dużo mniejszych kosztach stałych. Przebijają oferty na małe i średnie budowy niską ceną. Drugim rodzajem konkurencji są firmy duże, o znacznym potencjale wykonawczym i nowoczesnym parku maszynowym, takie jak: Hydrobudowa, Energo-pol i inne. Pierwsza grupa konkurentów przebija przedsiębiorstwa melioracyjne niższymi kosztami swojej działalności. Na współzawodnictwo z drugą grupą przedsiębiorstwa są za słabe ekonomicznie i posiadają za mały potencjał produkcyjny.

W systemie zamówień publicznych konkurowanie jest utrudnione. Zamówienia wykluczają zróżnicowane formy i drogi konkurowania. Specyfikacje są tak redagowane, że tylko przez cenę można wygrać kontrakt, gdyż w ocenie oferenta 70–80% waży cena.

Na podstawie przeprowadzonych badań wyłoniono główne słabe i mocne strony przedsiębiorstw. Najważniejsze z nich to:

a) mocne strony:

- operatywne, doświadczone kierownictwo,
- posiadanie sprzętu specjalistycznego i jego stopniowa wymiana na nowszy,
- duża zdolność konkurowania,
- dobra opinia u inwestorów, która została wzmocniona po prywatyzacji firmy,
- wchodzenie na nowe rynki, przez ekspansję terytorialną,
- rozszerzenie asortymentu produktów (np. produkcja betonu),
- długoletnie doświadczenie i pozycja na rynku robót melioracyjnych,

b) słabe strony:

- zbyt mała ilość środków finansowych na inwestycje sprzętu co nie pozwala na zwiększenie wydajności i stosowanie nowych technologii,
- mimo znacznego poziomu rejestrowanego bezrobocia – brak wykwalifikowanych robotników i operatorów (mimo proponowanych ofert szkoleniowych),
- brak dopływu młodej kadry inżynierjno-technicznej,
- duże trudności w pozyskiwaniu robót (ułomność ustawy o zamówieniach publicznych),
- konieczność pozyskiwania większości zleceń w trybie ustawy o zamówieniach publicznych, co powiązane jest z wadium oraz kaucją gwarancyjną (kaucja jest oprocentowana na 8% w skali roku); środki na ten cel uzyskuje się zaciągając kredyt bankowy (oprocentowany znacznie wyżej niż 8%),
- sezonowość (od grudnia do marca niewielka aktywność przedsiębiorstwa),
- brak działów marketingowych (działalność marketingowa ogranicza się głównie do odpowiadania na oferty przetargowe).

Przedsiębiorstwa, po drastycznym zmniejszeniu ilości środków państwowych, kierowanych na inwestycje i konserwacje melioracyjne oraz po uwolnieniu konkurencji, przeszły przyspieszony kurs nauki zasad wolnego rynku. Polegał on na zmianie formy prawnej przedsiębiorstwa, zwiększeniu zakresu wykonywanych robót, poszukiwaniu nowych inwestorów, umiejętności szybkiego

dostosowania się do dynamicznie zmieniającego się otoczenia. W przekształconych przedsiębiorstwach nastąpiła wyraźna poprawa kondycji finansowej przedsiębiorstwa, znaczny wzrost obrotów firm, wzrost wydajności na jednego zatrudnionego, a także wzrost realnych płac.

Proces restrukturyzacji

W większości firm zapoczątkowany został proces restrukturyzacji. Restrukturyzacja jest to radykalna zmiana w co najmniej jednym spośród trzech najważniejszych wymiarów firmy, tzn. zakresie działania, strukturze kapitałowej czy organizacji wewnętrznej firmy. Restrukturyzacja jest zmianą rewolucyjną (zrywającą do pewnego stopnia z przeszłością) i składa się z wielu skoordynowanych w czasie zmian stopniowych (Sapijaska 1996).

Restrukturyzacja zakresu działania w branży melioracyjnej najczęściej polegała na nabyciu i przyłączeniu całości lub części innej firmy tej samej specjalizacji. Przedsiębiorstwa o dobrej kondycji finansowej przejmowały upadłe, sąsiednie przedsiębiorstwa (ewentualnie pozostały po likwidacji majątek) lub firmy mające złe wyniki finansowe, lecz posiadające inne cenne wartości jak rynek, kontrakty z nabywcami, markę firmy, sprzęt specjalistyczny.

W zakresie zmian struktury w wielu przedsiębiorstwach usprawniono i uproszczono obieg dokumentów oraz zlikwidowano część stanowisk zbędnych, co wiązało się z redukcją zatrudnienia.

Zmieniono system zarządzania w spółkach, na bezpośredni. Najczęstsze zmiany w strategii działania to:

- uczestnictwo w możliwie jak największej liczbie przetargów,
- aktywna konkurencja, głównie cenowa,
- poszukiwanie klientów pozainstytucjonalnych,
- solidne, terminowe wykonywanie zobowiązań,
- utrzymanie dobrej kondycji finansowej,
- rozbudowa marketingu.

Wraz ze zmianą struktury własnościowej zmienił się styl działania, szczególnie kadry zarządzającej na bardziej aktywny. Zarząd stara się sprostać oczekiwaniom właścicieli i swoim działaniem aktywizuje resztę załogi. Podstawowymi wartościami cenionymi w przedsiębiorstwach melioracyjnych są: solidność, wysoki poziom oraz terminowość wykonywanych prac budowlanych, a także dbałość o dobre imię firmy.

Sprywatyzowane przedsiębiorstwa osiągają znacznie lepsze wyniki finansowe, co jest związane ze: zmianą strategii działania tych firm, redukcją kosztów, poszukiwaniem dróg wzrostu efektywności, zaangażowaniem zarządu oraz zmianą systemu zarządzania.

W przekształconych przedsiębiorstwach nastąpiła wyraźna poprawa kondycji finansowej przedsiębiorstwa, polepszenie wskaźników finansowych, ścisła kontrola tych wskaźników i polityka zagospodarowania nadwyżek finansowych. Nastąpił znaczny wzrost obrotów firm, wzrost wydajności na jednego za-

trudnionego, a także wzrost realnych płac.

Ostateczne określenie zakresu restrukturyzacji to określenie zbioru strategii, które będą realizowane przez przedsiębiorstwo. Ważnym kryterium wyboru strategii są kluczowe czynniki sukcesu, czyli czynniki, które w głównej mierze decydują o powodzeniu przedsięwzięcia. Jako najważniejsze, w trakcie zbierania danych w przedsiębiorstwach zostały wymienione:

- znaczny udział w rynku lokalnym,
- niskie ceny usług,
- kreatywna kadra zarządzająca.

Jako najmniej ważne wskazano położenie geograficzne.

Zalecenia

Strategią konkurowania firm na rynku melioracji wodnych jest uzyskanie wiodącej pozycji pod względem kosztów całkowitych. Podstawą koncepcji jest wykorzystanie krzywej doświadczenia. Istotą jej jest uzyskanie niskiego kosztu wytworzenia w relacji do konkurentów. Można to osiągnąć intensywnie inwestując w odnowienie parku maszynowego oraz wprowadzając ścisłą kontrolę kosztów. Stosując tę strategię nie można zapomnieć o utrzymaniu właściwego poziomu jakości robót. Do wyżej wymienionych punktów jako determinanty powodzenia należy dodać: zmianę mentalności załogi i zdobycie jej poparcia w przeprowadzaniu zmian, dużą kreatywność kadry kierowniczej w pozyskiwaniu nowych zamówień zarządzania przedsię-

biorstwem oraz surową politykę finansową firmy.

O skuteczności wymienionej strategii może świadczyć fakt, że jest ona stosowana przez najprężniej rozwijające się firmy na badanym rynku, gdzie przynosi spodziewane efekty.

Podstawowe znaczenie dla dalszego powodzenia procesu restrukturyzacji będą prawdopodobnie miały takie działania i ustalenia jak:

- zbudowanie długofalowej strategii firmy,
- nabycie doświadczenia i pełnych umiejętności w warunkach rynkowych,
- konsekwentne realizowanie założonych planów restrukturyzacyjnych,
- powodzenie wprowadzenia nowej ustawy Prawo Wodne,
- uregulowanie i uporządkowanie zagadnień prawnych z zakresu prawa gospodarczego,
- powodzenie reformy samorządowej,
- zmiana podziału administracyjnego kraju,
- stabilny rozwój gospodarki kraju,
- wejście do struktur Unii Europejskiej.

Jak z tego wynika tylko część z wymienionych warunków będzie zależeć bezpośrednio od przedsiębiorstw, a do innych będą one musiały się adaptować w miarę zmieniającej się sytuacji. Szybkość i umiejętność tej adaptacji w dużej mierze zadecyduje o ich przyszłości.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że proces adaptacji przedsiębiorstw melioracyjnych do wprowadzo-

nych na początku lat 90. zasad wolnego rynku przebiega prawidłowo, choć często w bardzo trudnych warunkach. Wiele przedsiębiorstw upadło, a te, które pozostały, sprywatyzowały się i realizują plany restrukturyzacji firmy. Po kilku latach, które upłynęły od momentu wprowadzenia zmian i po przeprowadzeniu badań, można wyciągnąć już pewne wnioski:

1. Analizowane przedsiębiorstwa słusznie obrały strategię konkurencji w branży przez obniżanie kosztów, która przynosi spodziewane efekty. Determinuje ona ścisłą kontrolę finansową w firmie, redukcję zbędnych stanowisk, wzrost efektywności pracowników, wprowadzanie nowych, tańszych technologii.
2. Sprywatyzowane przedsiębiorstwa inwestują w odbudowę i rozbudowę parku maszynowego i szkolenie załóg, upatrując w tym drogę do podniesienia własnej konkurencyjności.
3. Badane przedsiębiorstwa nie mają ściśle określonej strategii długofalowej, co głównie wynika z obecnej polityki ogólnokrajowej, wprowadzanej reformy administracyjnej, projektowanej zmiany prawa wodnego i zbliżającego się otwarcia na ogromny rynek Unii Europejskiej.

Przedsiębiorstwa, które dobrze już przystosowały się do specyfiki polskiej gospodarki rynkowej, obawiają się przyszłości po wejściu do Zjednoczonej Europy i wejściu na polski rynek silnych firm zachodnich.

Literatura

- LIBISZEWSKA B. 1998: *Proces adaptacji przedsiębiorstw melioracyjnych do wymogów gospodarki rynkowej*. SGGW, Warszawa.
- Polskie Towarzystwo Melioracyjne, lata 1994–1998: *Informator Wodno-melioracyjny*, Warszawa.
- SAPIJASZKA Z., 1996: *Restrukturyzacja Przedsiębiorstwa*. PWN, Warszawa.

Summary

Adaptation process to free market in land improvement company. Beginning of the 90 was the time of deep transformation in Poland. We have gone from planned economy to free market. Land improvement become unprofitable due to surplus food production. Many land improvement companies were bankrupt. These, which survive, had to change inside. Restructuring was the way to development. The first step was privatisation. Board of Directors Company brings low price cost strategy into firms. They simplify management system, introduce intensive investors search and orders. Net profit reinvesting into Machinery Park. Companies good adapted to free market in Poland, but they are afraid off complete with big company on Union Market.

Authors' address:

M. Połonski, B. Libiszewska
Warsaw Agricultural University – SGGW
02–787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland
email: POLONSKI @ ALPHA.SGGW.WAW.PL

Jerzy WYSOCKI

Katedra Geodezji i Fotogrametrii SGGW

Department of Geodesy and Photogrammetry WAU

Metody GPS i możliwości ich zastosowania do tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) dla inżynierii środowiska **GPS methods and possibilities of their application for creation of the digital terrain model (DTM) for environmental engineering**

Wprowadzenie

Coraz szersze zastosowanie dla tworzenia osnów geodezyjnych znajdują metody GPS (Śledziński 1990, Oszczak 1993, Cacoń 1995b, Czarnecki 1997). Proces pomiaru jest całkowicie zautomatyzowany, a dane współrzędne X,Y,Z otrzymuje się w postaci cyfrowej, gotowej do dalszego opracowania komputerowego.

Dynamiczny rozwój tego systemu (Oszczak 1993, Czarnecki 1997, Cacoń 1998) wskazuje na możliwość coraz szerszego stosowania metod GPS do pomiaru punktów szczegółowych. Główny aspekt prowadzonych w tym zakresie badań dotyczy zagadnienia określania współrzędnych płaskich (X,Y). Jednak specyfiką numerycznych modeli terenu i map warstwicznych opracowywanych dla inżynierii środowiska (np. Wysocki 1981, 1987, 1997, 1998a, 1998b) są stosunko-

wo duże wymagania odnośnie szczegółowości i dokładności wysokościowej tych opracowań.

W Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie są prowadzone między innymi badania w zakresie dokładności i oceny możliwości zastosowania metod GPS do tworzenia NMT dla potrzeb inżynierii środowiska (Wysocki i Karaszkiewicz 1998).

Metody GPS do pomiaru punktów NMT oraz badania eksperymentalne

Na podstawie badań prowadzonych w Katedrze Geodezji i Fotogrametrii SGGW w zakresie opracowań wysokościowych dla potrzeb inżynierskich (Wysocki 1981, 1987, 1998) oraz odnośnej literatury można sformułować następujące, ogólne postulaty co do optymalnych

metod pomiaru punktów NMT dla inżynierii środowiska:

- Ze względu na masowy charakter pomiarów (na ogół duża ilość mierzonych punktów NMT) metoda powinna zapewniać wysoki stopień automatyzacji w pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych.
- Ze względu na ekonomikę wykonywanych pomiarów terenowych metoda powinna zapewniać możliwie dużą szybkość i jednocześnie odpowiednią (dla danych potrzeb) dokładność pomiarów.
- Metoda powinna być możliwie najtańsza w stosunku do innych stosowanych obecnie metod.

Jest to szeroki zakres zagadnień. W tym miejscu ograniczymy się do uwagi, że znaczny wpływ mają koszty instrumentów zarówno:

- przy tachimetrii elektronicznej (stacje total station),
- fotogrametrii (autografy analityczne, fotogrametryczne stacje cyfrowe),
- jak i przy metodach GPS (odbiorniki GPS z oprzyrządowaniem).

Niektóre metody GPS wydają się spełniać wszystkie powyższe postulaty. Jednak w obecnej fazie ich dynamicznego rozwoju istnieje pilna potrzeba prowadzenia w tym zakresie odpowiednich badań.

Na podstawie dotychczasowych opracowań w zakresie metod GPS (Oszczak 1993, Wysocki i Karaszewicz 1998, Cacoń 1995) można sformułować następujące ogólne wnioski w aspekcie zastosowania tych metod do pomiaru punktów NMT:

1. Mało przydatna wydaje się metoda statyczna ze względu na długi, co naj-

mniej godzinny czas obserwacji na każdym mierzonym punkcie.

2. Mało przydatna wydaje się metoda pseudostatyczna, wymagająca dwukrotnych obserwacji (w pewnym odstępie czasu) na każdym punkcie, co przy pomiarach NMT byłoby uciążliwe.
3. Szybka i efektywna jest metoda kinematyczna. Podstawowym jednak warunkiem jest zachowanie łączności co najmniej z czterema tymi samymi satelitami w czasie ruchu odbiornika. W warunkach krajowych, przy pomiarze punktów NMT obejmujących równomiernie całą powierzchnię wycinka terenu, spełnienie tego postulatu wydaje się dość trudne. W przypadku przerwania łączności trzeba dokonywać nowej inicjalizacji pomiaru.

W ostatnim czasie nastąpił szybki rozwój metod kinematycznych DGPS oraz RTK (Cacoń 1998). Metoda DGPS (Differential Global Positioning System) polega na różnicowych pomiarach GPS w czasie rzeczywistym i oparta jest na równoczesnych pomiarach kodowych. Jednak dość mała dokładność pomiaru tą metodą może ograniczać jej szersze zastosowanie dla inżynierii środowiska.

Metoda RTK (Real Time Kinematic) pozwala na określanie współrzędnych punktów przez wykorzystanie fazowych pomiarów różnicowych GPS oraz uzyskiwanie szybkich wyników w czasie rzeczywistym.

Należy jednak dodać, że dokładność pomiaru metodą kinematyczną (tak jak i statyczną) zależy w dużym stopniu od klasy odbiorników GPS. Jest oczywiste, że lepsze dokładności zapewniają wyso-

kiej klasy (i w związku z tym znacznie droższe) odbiorniki.

W warunkach krajowych zagadnienie dokładności metod GPS jest dobrze zbadane dla potrzeb tworzenia osnów geodezyjnych (Śledziński 1990, Oszczak 1993, Czarnecki 1997), gdzie są stosowane wysokiej klasy odbiorniki oraz długie czasy obserwacji. W niniejszej pracy przedstawiono badania przeprowadzone niższej klasy odbiornikami, dobierając czas obserwacji, który może jeszcze być realnie brany pod uwagę przy pomiarze punktów NMT.

W pomiarach zostały zastosowane dwa jednakowe zestawy odbiorników GPS Pathfinder ProXL. W skład jednego zestawu wchodziły:

- precyzyjny 12 kanałowy odbiornik GPS,
- lekka antena odbiorcza typu compact,
- terminal do wprowadzania i rejestracji danych TDC1, 4Mb pamięci RAM,
- plecak do przenoszenia zestawu,
- seryjne oprogramowanie PFINDER.

Głównym celem przeprowadzonych badań była ocena dokładności pomiaru punktów NMT, a w szczególności dokładności określania wysokości tych punktów, z wykorzystaniem zastosowanych odbiorników GPS i przyjętych czasów obserwacji.

Podczas pomiarów jeden odbiornik (jego antena) został usytuowany nad punktem osnowy geodezyjnej t650 i pełnił rolę stacji bazowej w trakcie całego cyklu pomiarowego. Drugi odbiornik był przemieszczany na punkty, których pozycje względem stacji bazowej miały być wyznaczone. Konfiguracja obydwu odbior-

ników zapewniała synchroniczne obserwacje sygnałów satelitarnych w interwale co 5 sekund.

Na wyznaczanych punktach prowadzone były jednocześnie obserwacje fazowe (czas obserwacji 10 minut) oraz obserwacje kodowe. Pomiaru te zaplanowano, starając się zróżnicować warunki obserwacji GPS:

- ok. 50% wszystkich zaobserwowanych punktów było położonych w terenie odkrytym,
- ok. 30% punktów było położonych na terenie wsi, o niskiej zabudowie i rzadko rosnących drzewach,
- ok. 20% punktów było zasłoniętych przynajmniej z jednej strony przez drzewa, na ogół liściaste, ale bez liści,
- ok. 50% ze wszystkich zaobserwowanych punktów pomierzono w dzień, a drugą połowę wieczorem, w nocy oraz rano.

Na obiekcie ok. 3 x 10 km, w okolicach Rajgrodu (częściowo teren BPN) określono współrzędne geodezyjne x, y siedmiu punktów oraz wysokości 45 punktów przy pomocy niwelacji geometrycznej. Nie są znane charakterystyki dokładności współrzędnych płaskich – były to dwa punkty triangulacji III klasy, dwa punkty poligonowe wyższej klasy oraz trzy punkty wyznaczone za pomocą tachimetru elektronicznego, w nawiązaniu do wymienionych punktów. Dokładność wysokości kontrolnych punktów niwelacyjnych oszacowano na $2 \pm \text{cm}$.

Po przeprowadzeniu procesu korekcji zbiorów obserwacji uzyskanych za pomocą odbiornika ruchomego na podstawie obserwacji stacji bazowej otrzymano współrzędne wyznaczanych

punktów w układzie UTM (Universal Transvers Mercator). Współrzędne płaskie UTM zostały przetransformowane na Układ 1965. Dla celów porównawczych zastosowano dwa rodzaje transformacji: afiniczną oraz Helmerta.

Po transformacji afinicznej przy czterech punktach łącznych otrzymano wartość średniego błędu położenia punktu równą:

dla pomiarów kodowych $m_p = \pm 0,24$ m

dla pomiarów fazowych $m_p = \pm 0,20$ m

zaś po transformacji Helmerta otrzymano:

dla pomiarów kodowych $m_p = \pm 0,39$ m

dla pomiarów fazowych $m_p = \pm 0,38$ m

Współrzędne wysokościowe zostały przeliczone do państwowego układu wysokości. W tym celu dla wysokości każdego punktu wyznaczonej na podstawie obserwacji GPS została obliczona poprawka N_i według równania:

$$N_i = N_0 + aX_i + bY_i$$

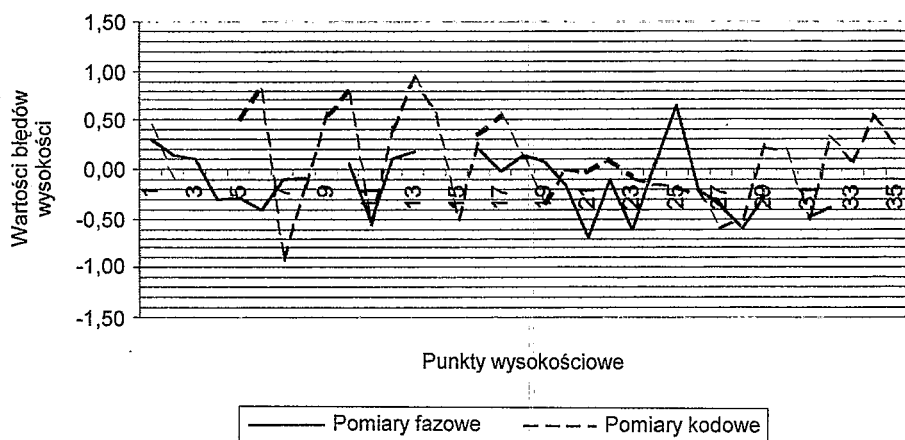
Współczynniki transformacji N_0 , a , b zostały wyznaczone na podstawie sześciu

punktów dostosowania o znanych wysokościach w układzie państwowym. Niezbyt duża liczba (35) zaobserwowanych punktów nie pozwala na statystyczne zróżnicowanie wpływu warunków obserwacji na dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów. W związku z tym obliczone błędy średnie odzwierciedlają przeciętne warunki obserwacji, w różnych sytuacjach terenowych.

Obliczone wartości błędów średnich i przeciętnych wyznaczonych wysokości punktów (rys.) wyniosły:

- pomiary fazowe $m_H = \pm 0,33$ m, $t_H = 0,27$ m
- pomiary kodowe $m_H = \pm 0,45$ m, $t_H = 0,38$ m

Dla fragmentu terenu dokonano wyboru oraz pomiaru punktów NMT metodą GPS i równocześnie pomiar tych samych punktów tachimetrem elektronicznym. Na ich podstawie opracowano przy pomocy programu C-GEO warstwicę o cięciu 1 m. Dokładność opracowanych warstwic można oszacować na ok. $\pm 0,3 + 0,5$ m.



RYSUNEK. Wykres wartości błędów wysokości punktów GPS

Podsumowanie

Zastosowanie metod GPS umożliwia wysoki stopień automatyzacji pomiaru punktów NMT. Szersze wykorzystanie metod GPS dla potrzeb inżynierii środowiska determinuje potrzebę prowadzenia badań w tym zakresie.

W pracy przedstawiono badania odnośnie oceny dokładności wyznaczania współrzędnych (głównie wysokości) punktów NMT za pomocą odbiorników Pathfinder ProXL oraz zagadnienia metodyczne przeprowadzonych badań. Ze względu na duże ceny wysokiej klasy odbiorników GPS badania przeprowadzono niższej klasy odbiornikami, dobierając czas obserwacji, który może jeszcze być realnie brany pod uwagę przy pomiarze punktów NMT.

Zgodnie z przyjętym algorytmem badań:

- obserwacje wykonano dwoma odbiornikami – metodą różnicową,
- konfiguracja obydwu odbiorników zapewniała synchroniczne obserwacje sygnałów satelitarnych w interwale co 5 s,
- na wyznaczanych punktach prowadzone były jednocześnie obserwacje fazowe (czas obserwacji 10 min) i obserwacje kodowe,
- wyznaczane punkty dobrano w ten sposób, żeby zróżnicować warunki obserwacji GPS.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że:

- dokładność współrzędnych płaskich z obserwacji fazowych po transformacji afinicznej można oszacować na ok. $\pm 0,2$ m,

- dokładność określenia wysokości z obserwacji fazowych można oszacować na ok. $\pm 0,3$ m.

Dla fragmentu terenu dokonano wyboru i pomiaru punktów NMT metodą GPS oraz tachimetryczną. Na ich podstawie opracowano za pomocą programu C-GEO mapę warstwicową o cięciu 1 m. Dokładność opracowanych warstw GPS można oszacować na ok. $\pm 0,3$ – $0,5$ m.

Przeprowadzone badania wskazały na możliwość wykorzystania NMT metodą GPS (według zastosowanego programu obserwacji) jako bazy danych wysokościowych dla terenów, gdzie wystarczające jest cięcie warstwiczne 1 m i większe. Terenami, dla których metody GPS mogą być w tym zakresie najbardziej przydatne, są tereny zabagnione, gdzie trudno jest wykonywać klasyczne pomiary geodezyjne ze względu na niestabilność podłoża.

Rozwój metody GPS – szybkie i dokładne pomiary w czasie rzeczywistym – przyczyni się do jej popularyzacji i coraz szerszego wykorzystania dla inżynierii środowiska. Ważnym momentem tego rozwoju będzie zastosowanie stacji pomiarowych stanowiących integrację odbiornika GPS z tachimetrem elektronicznym, tworzących uniwersalne narzędzie pomiarowe łączące technologie naziemne i satelitarne.

Z uwagi na problem poprawności wyboru w terenie punktów NMT może być celowe zastosowanie do pomiaru GPS metody „elektronicznego stolika” (Wysocki 1998c) pozwalającej na opracowanie NMT oraz linii warstwicznych „in situ”.

Współrzędne punktów GPS zapisane w postaci numerycznej, pozwalają na szybkie włączenie wyznaczonych punktów NMT do systemów informacji przestrzennej (SIT – GIS).

Literatura

- CACON S. 1995a: *GPS measurements used in the ground deformation monitoring system for open pit mining*. Proc. of 1th Int., Symp. FIG. Cape Town.
- CACON S. 1995b: *System pomiarów geodezyjnych na terenie Wola Żytowska*, Węgiel Brunatny, z. 2.
- CACON S. 1998: *Ocena możliwości zastosowania kinematycznych metod satelitarnych DGPS i RTK w górnictwie odkrywkowym*. Mat. konf. PAN, Polit. Wrocławska, Szklarska Poręba.
- CZARNECKI K. 1997: *Geodezja współczesna w zarysie*. Wydaw. Wiedza i Życie, Warszawa.
- OSZCZAK S. 1993: *Technologia GPS w praktyce geodezyjnej*. Przegl. Geodez. 7.
- ŚLEDZIŃSKI J. 1990: *System GPS. Założenia systemu. Metody pomiarów*. Konferencja szkoleniowa „Technologie Pomiarowe GPS”.
- WYSOCKI J. 1981: *Comparative analysis of chosen methods of testing contour lines*. Ann. Wars. Agricult. Univ. SGGW, Land Reclam. 19.
- WYSOCKI J. 1987: *Problemy dokładności nowoczesnych technik opracowania wielkoskalowych map warstwicznych pod kątem potrzeb wodnomelioracyjnych*. Wyd. SGGW.
- WYSOCKI J. 1997: *O metodach aproksymacji powierzchni terenu w opracowaniach warstwicznych metodami komputerowymi*. Przegl. Geodez. nr 4.
- WYSOCKI J. 1998a: *Numeryczny model terenu jako baza danych dla przestrzennego urządzenia zlewni i potrzeb konstrukcji inżynierskich*. Mat. Konf. PAN, SGGW, Warszawa.
- WYSOCKI J. 1998b: *O numerycznym modelu terenu jako bazie danych przestrzennych dla potrzeb inżynierii środowiska*. Mat. Konf. PAN, Pol. Wrocław, Szklarska Poręba.
- WYSOCKI J. 1998c: *Koncepcja metody elektro-nicznego stolika dla tworzenia in situ numerycznego modelu terenu oraz map warstwicznych*. Prz. Naukowy WMiŚ, z. 14.
- WYSOCKI J., KARASZKIEWICZ W. 1998: *The possibilities of the application of digital terrain model by the GPS method for environmental engineering*. Ann. Agricult. Univ. SGGW, Land Reclam. (w druku).

Summary

GPS methods and possibilities of their application for creation of the digital terrain model (DTM) for environmental engineering. In the paper are presented investigations of the accuracy of the measurement DTM points, performed by cheaper GPS receivers and the chose procedure of the measurements. The performed investigations pointed the possibilities of the application of the DTM points by the GPS method for environmental engineering.

Author's address:

J. Wysocki
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Stefan IGNAR

Katedra Budownictwa Wodnego SGGW
Department of Hydraulic Structures WAU

Jan KRUPA

Aleksandra IGNAR

Katedra Zastosowań Matematyki SGGW
Department of Applied Mathematics WAU

Statystyczna analiza zmienności parametru CN dla zlewni rzeki Skawy Statistical analysis of CN parameter variability for Skawa river basin

Wstęp

W badaniach nad modelowaniem wezbrań opadowych istotny jest sposób wyznaczania opadu efektywnego, który jest transformowany przez modele koncepcyjne w odpływ wezbraniowy. Opad efektywny definiowany jest jako część opadu całkowitego, pozostająca po odjęciu strat, na które składają się: intercepcja, infiltracja, retencja powierzchniowa i parowanie terenowe. Do wyznaczania opadu efektywnego w hydrologii inżynierskiej znajdują zastosowanie formuły empiryczne, opisujące w sposób uproszczony złożone zjawisko rozdziału opadu (Ignar i Banasik 1986, Ostrowski 1988). Spośród tych formuł dużą popularność, ze względu na swą prostotę i łatwość zastosowania, zyskała metoda SCS opracowana w Stanach Zjednoczonych (Ralli-

son i Miller 1981). Uzależnia ona wielkość opadu efektywnego od: rodzaju gleby, sposobu użytkowania terenu zlewni oraz uwilgotnienia gleby przed wystąpieniem badanego opadu. Wszystkie te czynniki ujmując bezwymiarowy parametr CN o wartościach z przedziału $< 0, 100 >$, związany z maksymalną potencjalną retencją zlewni S.

Zmienność wartości parametru CN

W metodzie SCS uwzględnia się wpływ stanu retencji początkowej zlewni, analizując sumy opadów w ciągu 5 dni poprzedzających dane wezbranie. W zależności od wielkości tej sumy przyjmuje się jeden z 3 poziomów warunków wilgotnościowych (PWW) i w konsekwencji

modyfikuje wartość parametru CN określoną z tabel SCS w przeciętnych warunkach PWW II. Duże skrajne wielkości PWW I i PWW III interpretowano jako dolne i górne ograniczenie tzw. „przedziału rozrzutu”, czyli obwiednie obejmujące obserwowane w doświadczeniach wartości parametru CN. Traktowana w ten sposób wilgotność początkowa reprezentuje łączny efekt wszystkich przyczyn zmienności parametru CN, tj. natężenia opadu, przestrzennej zmienności charakterystyk zlewni i opadu oraz niedokładności w strukturze i współczynnikach we wzorach metody SCS (Rallison i Miller 1981).

W dalszych badaniach nad metodą SCS podjęto próbę określenia statystycznego rozkładu jej parametru CN. Hjelmfelt i in. (1981) analizowali dane o opadzie i odpływie w 12 małych zlewniach eksperymentalnych w okresie obserwacji od 7 do 24 lat i podali, że wartość parametru S maksymalnych wezbrań rocznych ma rozkład logarytmiczno-normalny. Jednocześnie zbadali zmienność parametru CN i stwierdzili, że przyjęte przez SCS wartości w poszczególnych przedziałach PWW odpowiadają 90, 50 i 10% sumowanych prawdopodobieństw wysokości opadu efektywnego, wyznaczonego metodą SCS przy przyjętym opadzie całkowitym. Prawdopodobieństwa te odpowiadają kolejno PWW I, PWW II i PWW III. Opierając się na powyższych przedziałach prawdopodobieństwa Hawkins i in. (1985) opracowali warunkowy rozkład prawdopodobieństwa opadu całkowitego P w przypadku opadu efektywnego $PE = 0$. Opad PE jest równy zero, gdy

opad całkowity jest mniejszy lub równy tzw. stracie początkowej I_a równej $0,2 \cdot S$ dla PWW II. Autorzy wyznaczyli wartości I_a dla PWW I, PWW II i PWW III, przypisując im odpowiednio prawdopodobieństwa wystąpienia opadu efektywnego $PE = 0$ równe 90, 50 i 10%, a w przypadku skrajnych wartości $P = 0$ i $P = \infty$ przyjęli prawdopodobieństwo równe 0 i 1. Stwierdzili, że te 5 punktów można w miarę dokładnie interpolować rozkładem logarytmiczno-normalnym. Wartości parametrów rozkładu wyznaczono jako $m = -1,609$ i $\sigma = 0,67$. Parametry te określono dla standaryzowanych wartości P. Standaryzacji tej dokonano dzieląc P przez wartość S_{II} odnoszącą się do PWW II. Przy podanych powyżej wartościach parametrów rozkładu wyliczono funkcję gęstości i dystrybuantę. Posługując się tak wyznaczoną dystrybuantą warunkowego rozkładu prawdopodobieństwa można wyznaczyć opad efektywny metodą SCS z uwzględnieniem dowolnie przyjętego przedziału ufności (Ignar i Ignar 1990), co pozwala na uwzględnienie losowej zmienności parametru CN. Dystrybuenta ta może być również zaadaptowana do algorytmu wyznaczania przepływów wezbraniowych, który umożliwia przyjmowanie wartości parametrów z przyjętych rozkładów prawdopodobieństwa (Ignar 1993). W celu sprawdzenia zgodności przebiegu zmienności wartości parametru CN z rozkładem logarytmiczno-normalnym podanym w literaturze wykonano analizę danych empirycznych o opadzie i odpływie zarejestrowanych w zlewni rzeki Skawy.

Analiza empirycznych wartości parametru CN

Analizę przeprowadzono dla danych o opadzie i odpływie zarejestrowanych w zlewni rzeki Skawy po profil Jordanów (powierzchnia zlewni – 96,6 km²). Dane te zebrano w ramach Programu Małych Zlewni IMGW (Ostrowski i Hołda 1997). Łącznie dysponowano 24 wezbraniami. Dla wszystkich tych wezbrań określono wartości parametru S i CN przez porównanie obserwowanego opadu i odpływu (Ignar 1988). Następnie estymowano wartości parametrów rozkładu logarytmiczno-normalnego i normalnego dla obliczonych wartości maksymalnej potencjalnej retencji zlewni S. Obliczenia wykonano standardowym programem Statgraphics. Dla określonych rozkładów wyznaczono wartości modalne S ($p = 50\%$) oraz S_{10%} i S_{90%} i przetransformowano je na wartości parametru CN, otrzymując w ten sposób wartości CN_{II}, CN_{III} i CN_I.

Średnie wartości parametru CN obliczane z danych empirycznych zwykle różnią się istotnie od wyznaczonych standardowo metodą SCS (na podstawie map gleb i użytkowania). Ta różnica wynika z zastosowania do obliczeń wszy-

stkich obserwowanych wezbrań (Hawkins i in. 1985), podczas gdy oryginalna metoda SCS była opracowana na podstawie maksymalnych wezbrań rocznych. Zbyt krótki czas obserwacji w zlewni rzeki Skawy uniemożliwia zastosowanie tego kryterium. Zamiennie przyjęto zaproponowany arbitralnie przez Banasika (1994) warunek analizowania wezbrań wywołanych opadem większym od 20 mm. Po zastosowaniu tego kryterium uzyskano zbiór 12 wezbrań. Dla tego zbioru, podobnie jak dla 24 wezbrań, estymowano wartości parametrów rozkładu logarytmiczno-normalnego i normalnego wartości maksymalnej potencjalnej retencji zlewni S. Następnie wyznaczono S_{90%}, S_{50%} i S_{10%} i przetransformowano je na wartości CN_I, CN_{II} i CN_{III}. Wyznaczone w ten sposób wartości parametru CN zestawiono w tabeli.

Podsumowanie i wnioski

Wartości parametrów CN wyznaczone z danych empirycznych o opadzie i odpływie różnią się znacznie dla poszczególnych wezbrań. Dla analizowanego zbioru 24 wezbrań rzeki Skawy po profil Jordanów wartości CN mieściły się

TABELA. Zestawienie obliczonych i odczytanych z tablic wartości parametrów CN
TABLE. Computed and determined from tables values of CN parameter

Rozkłady	Wartości CN				
	CN _{II}	obliczone		odczytane z tablic	
		CN _I	CN _{III}	CN _I	CN _{III}
Normalny n = 24	85,3	77,7	94,6	70,6	93,7
Normalny n = 12	82,9	74,5	93,4	66,9	92,5
Logarytmiczno-normalny n = 24	86,9	76,4	93,2	73,4	94,5
Logarytmiczno-normalny n = 12	85,0	70,6	93,1	70,0	93,5

w przedziale od 70,9 do 97,2 przy wartości średniej 85,3. Zmienność ta, wynikająca głównie ze zmiennych warunków wilgotnościowych w zlewni przed wystąpieniem badanego opadu skłania do traktowania parametru CN jako zmiennej losowej.

Analiza wartości CN, zestawionych w tabeli, wykazuje istotne różnice między wartościami modalnymi CN_{II} (o prawdopodobieństwie wystąpienia 50%) dla badanych rozkładów i zbiorów danych. Najlepszą zgodność wartości CN_I i CN_{III}, obliczonych z rozkładu statystycznego z tablic SCS, uzyskano dla rozkładu logarytmiczno-normalnego i dla zbioru wzebrań o opadach większych od 20 mm. Potwierdza to prawidłowość wyboru tego rozkładu i przyjętego kryterium doboru wzebrań do analizy.

Literatura

- BANASIK K. 1994: *Model sedymentogramu wzebrania opadowego w małej zlewni rolniczej*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- HAWKINS R., HJELMFELT A. T., ZEWEENBERGEN A. W. 1985: *Runoff probability, storm depth and curve numbers*. J. of Irrigation and Drainage Engineering, t. 111, 4.
- HJELMFELT A. T., KRAMER K. A., BURWELL R. E. 1981: *Curve numbers as random variables*. International Symposium of Rainfall-Runoff Modelling. Mississippi State University, Littleton.
- IGNAR S. 1993: *Metodyka obliczania przepływów wzebraniowych w zlewniach nieobserwowanych*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- IGNAR S., BANASIK K. 1986: *Wpływ metody wyznaczania opadu efektywnego na parametry modelu Nasha małej zlewni rolniczej*. Gosp. Wodna 4.
- IGNAR S., IGNAR A. 1990: *Adaptacja metody SCS do wyznaczania opadu efektywnego z*

uwzględnieniem przedziału ufności. Przegl. Geofiz. XXXV, z. 3–4.

- OSTROWSKI J. 1988: *Modelowanie hydrogramów wzebrań opadowych w małych zlewniach nie kontrolowanych na podstawie sieci zlewni reprezentatywnych IMGW*. Cz. IV. *Określanie opadu efektywnego*. Wiad. IMGW XI (XXXII); 1–2.
- OSTROWSKI J., HOŁDAI. 1997: *Odwzorowanie katastrofalnych fal powodziowych w górskich zlewniach niekontrolowanych*. Konf. Nauk. Techn. „Zagrożenie powodziowe w zlewniach górskich”. Bielsko-Biała 14–16 kwiecień 1997.
- RALLISON R.E., MILLER N. 1981: *Past, Present and Future of SCS Runoff Procedure*. International Symposium on Rainfall-Runoff Modelling, Mississippi State University, Littleton.

Summary

Statistical analysis of CN parameter variability for Skawa river basin. Method for effective rainfall determination plays a very important role in any rainfall-runoff modelling technique. One of the most often used methods is SCS (Soil Conservation Service) Curve Number method with one parameter denoted by CN. Values of CN parameter for 24 flood events recorded in Skawa river basin were determined from rainfall-runoff data. Next, the statistical distributions were fitted with the use of statgraphics package. Two distributions were applied: normal and log-normal for two sets of data: all 24 events and events with total rainfall greater than 20 millimetres (12 events). The analysis has shown, that log-normal distribution for floods caused by rainfalls greater than 20 mm gave the best results.

Authors' address:

S. Ignar, J. Krupa, A. Ignar
Warszawa Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
Poland

Antoni KEGLER

Katedra Geodezji i Fotogrametrii SGGW
Department of Geodesy and Photogrammetry WAU

Wpływ temperatury instrumentu na zmianę osi celowej teodolitu i niwelatora

Effects of instruments temperature on change of axis of teodolite and level

Wstęp

Wykonując pomiary geodezyjne popełnia się błędy, które dzielą się na błędy osobowe popełniane przez wykonującego pomiar oraz błędy, powstające na skutek wpływu, jaki wywiera środowisko, w którym wykonuje się pomiar oraz błędy instrumentalne wynikające z właściwości narzędzi, za pomocą których wykonuje się pomiar. Praca niniejsza omawiać będzie ostatni z podanych aspektów.

W obecnie stosowanych technikach pomiarowych uwzględnia się wpływ refrakcji przez wprowadzenie do stacji pomiarowej (total station) temperatury i ciśnienia atmosferycznego, jakie występują w czasie wykonywania pomiaru, natomiast nie uwzględnia się szkodliwego wpływu temperatury na instrument i stanowisko (statyw). Wynikiem tego jest obniżenie dokładności wykonywanych pomiarów. Błędy spowodowane zmianą temperatury instrumentu są jednym z błędów występujących w pomiarach niwela-

cyjnych i kątowych. Zagadnienie błędów występujących w niwelacji i pomiarach kątów omawiają prace Lazariniego (1968), Kowalskiego (1968), Jasińskiego (1974), Keglera (1998).

Autor niniejszego artykułu określił zależność między temperaturą instrumentu a zmianą osi celowej niwelatora i teodolitu. Wyeliminowanie błędów spowodowanych zmianą osi celowej na skutek zmiany temperatury instrumentu i statywu z wyników pomiarów niwelacyjnych i kątowych ma szczególne znaczenie w pomiarach wykonywanych dla badania przemieszczeń i odkształceń budowli z uwagi na to, iż ocena stanu bezpieczeństwa zależna jest od wyników tych pomiarów.

Badania

Doświadczenia były prowadzone na stanowisku obserwacyjnym położonym w dolinie rzeki Wisły. Punkt główny (słup betonowy), na którym ustawiono teodolit

TABELA 1. Średnie wyniki pomiaru kierunku
TABLE 1. Mean results of Theo 010 direction's
measurements

Godziny Hours	Kierunek Direction	Temperatura °C Temperature °C
1	30	12,2
2	27	12,2
3	26	12,2
4	24	12,2
5	22	12,4
6	19	12,4
7	17	12,6
8	15	13,0
9	13	13,4
10	11	13,8
11	10	14,2
12	9	14,6
13	9	15,0
14	10	15,2
15	12	14,8
16	15	14,2
17	18	13,9
18	21	13,8
19	24	13,2
20	25	12,8
21	26	12,2
22	27	12,0
21	26	12,2
22	27	12,0
23	27	12,0
24	29	11,8

Zeissa Theo 010, położony był na zboczu o małym spadzie w kierunku rzeki. Tarczę celowniczą, którą obserwowano przez lunetę teodolitu, umieszczono na filarze mostu Śląsko-Dąbrowskiego i była w okresie nocy oświetlona reflektorem. Odczyty wykonywane były co godzinę w sierpniu (500 obserwacji).

Nitkę pionową naprowadzano za każdym razem 10 razy w klin tarczy, wykonując 10 odczytów mikrometru. Teodolit był przed każdą serią odczytów poziomowany. Jednocześnie z pomiarem kierunku

prowadzone były pomiary temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego.

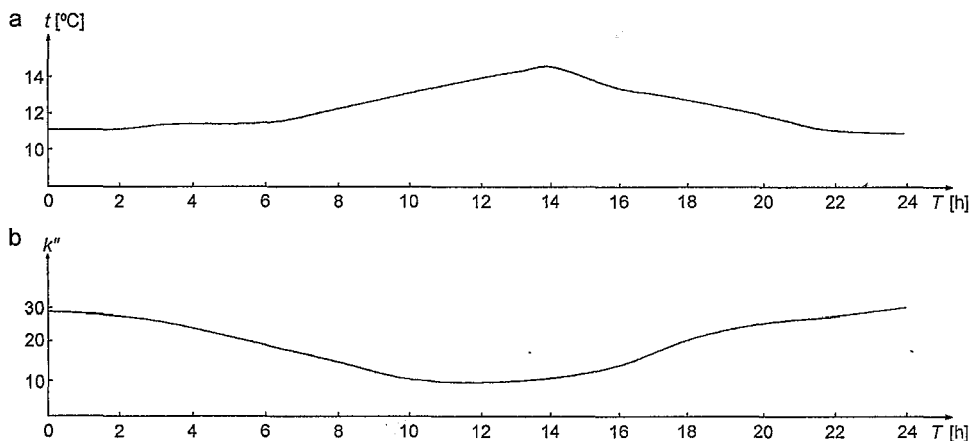
Przyrządy do pomiarów meteorologicznych były umieszczone w klatce ustawionej w pobliżu stanowiska teodolitu. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1. Uzyskane wyniki pozwoliły określić zmianę osi celowej teodolitu w funkcji czasu:

$$\Delta k'' = 9,5 \sin (T - 5^h30^m)$$

gdzie T – czas w godzinach.

Analizując wykres pokazany na rysunku 1 możemy stwierdzić, że dobowe zmiany kierunku mają wyraźną korelację z dobowym przebiegiem temperatury powietrza. Są one większe w ciągu dnia, natomiast nocą przebiegają znacznie wolniej, co spowodowane jest powolnymi zmianami temperatury nocą i brakiem jednostronnego (kierunkowego) nagrzewania się instrumentu i statywu. Dobowe zmiany kierunku spowodowane zmianą temperatury teodolitu i statywu wynoszą $8''$. Średnio wynoszą $1''/1^\circ\text{C}$.

Badania zmiany osi celowej niwelatora KONI 007 Zeissa wykonywane były we wrześniu i październiku (200 obserwacji) na stanowisku obserwacyjnym (słup betonowy) w ogródku meteorologicznym na Ursynowie. Łata niwelacyjna ustawiona była na reperze umieszczonym w ścianie budynku Wydziału. Badania były wykonywane w godzinach porannych i popołudniowych przy pogodzie pochmurnej i małym opadzie deszczu. Występowały wtedy małe pionowe gradienty temperatury. Długość celowej wynosiła ok. 50 m. Odczyty wykonywano co 15 min, naprowadzając 10-krotnie kreskę łaty w klin niwelatora i odczytując mikrometr. Jednocześnie prowadzono pomiary

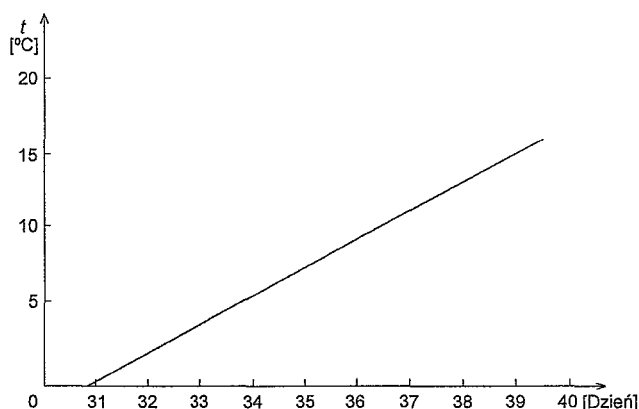


RYSUNEK 1. Średnia temperatura teodolitu Theo 010 – a, średnia zmiana osi celowej teodolitu Theo 010 – b

FIG. 1. Mean temperature of theodolite Theo 010 – a, mean change of theodolite's Theo 010 axis – b

TABELA 2. Średnie wyniki odczytu łąty niwelacyjnej
TABLE 2. Mean results of leveling rodaf reading

Odczyt mikrometru Micrometre reading	Temperatura °C Temperature °C
39,32	16,0
35,08	6,0
31,36	0



RYSUNEK 2. Średnia dzienna zmiana osi celowej niwelatora KON 007 na skutek zmian temperatury instrumentu

FIG. 2. Daily mean change of level KON 007 in consequence of instrument's temperature

temperatury niwelatora, który był wielokrotnie oziębiany od 20°C do 0°C. Prowadzone były też pomiary oświetlenia łąty, wiatru, opadu i zanieczyszczenia powietrza.

Wyniki pomiaru zmiany osi celowej niwelatora podano w tabeli 2 i na rysunku

2. Prowadzone badania pozwalają stwierdzić dużą odporność niwelatora na zmianę temperatury. Wpływ temperatury na zmianę osi celowej niwelatora KONI 007 wynosi 1 dz./2°C, a szybkość zmian zależy od szybkości zmiany temperatury niwelatora.

Literatura

- JASIŃSKI T. 1974: *Urządzenie do badania stałości pionowego układu osiowego w teodolitach precyzyjnych*. Polit. Warszaw. (praca doktorska).
- KEGLER A. 1998: *Przebieg dobowy gradientu temperatury w przygruntowej warstwie powietrza jako podstawa oceny błędów refrakcyjnych w niwelacji*. Prace Instyt. Geodezji i Kartografii t. XLV, z. 96.
- KOWALSKI H. i in. 1968: *Badanie wartości technicznych niwelatorów Zeissa Ni 004 i KONI 007*. Zesz. Nauk. SGGW – Mel. Rol. z. 8.
- LAZARINI T. 1968: *Geodezja* wykł. II PPWN 1968.

Summary

Effects of instrument's temperature on change of axis of theodolite and level. Results of measurements of changes theodolite's Theo 010 and level's Koni 007 axis on consequence of changes instrument's temperature is discussed in the paper. It was found, that this changes are: for theodolite Theo 010 – $1''/1^{\circ}\text{C}$ and for level KONI 007 – $0,05 \text{ mm}/2^{\circ}\text{C}$.

Author's address:

A. Kegler
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland

Bonifacy LYKOWSKI

Romuald MADANY

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW

Ocena wpływu lokalnych warunków klimatycznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w rejonie Zakładów Chemicznych „Police”

Wstęp

Lokalne zróżnicowanie klimatu występuje w wyniku oddziaływania miejscowych warunków termicznych podłoża oraz czynnika dynamicznego. Poziome gradienty temperatury osiągają często znaczne wartości w wypadku dużego zróżnicowania właściwości fizycznych podłoża, dlatego mogą stykać się ze sobą obszary łatwo nagrzewające się (np. ugór, powierzchnie dachów) i obszary nagrzewające się wolniej, tzw. atermiczne (woda, teren podmokły, roślinność). Znaczny wpływ na poziome zróżnicowanie temperatury podłoża ma nachylenie i ekspozycja terenu względem stron świata, od których zależy ilość energii słonecznej dochodzącej do danej powierzchni. Ważnym czynnikiem kształtowania się klimatu lokalnego jest rzeźba terenu i przeszkody terenowe (zadrzewienia, budynki itp.) dające efekt dynamiczny w postaci hamowania prędkości, unoszenia się i opły-

wania strumienia powietrza pod działaniem różnych przeszkód. Wszystkie wyżej wymienione czynniki wpływają w istotnym stopniu na poziome ruchy powietrza (wiatr) oraz na ruchy pionowe (konwekcyjne) i turbulencyjne (nieuporządkowane). W terenie płaskim, jaki występuje w rejonie Polic, lokalne ruchy powietrza kształtują się głównie pod wpływem zróżnicowania temperatury podłoża. Na obszarze o wyższej temperaturze cieplejsze powietrze jako lżejsze w stosunku do otaczającego unosi się do góry, a dołem napływa powietrze chłodniejsze. W dalszej części opracowania przedstawiona zostanie ocena możliwości oddziaływania omawianych zjawisk w rejonie Zakładów Chemicznych „Police” na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza. Miejscowe warunki klimatyczne mogą bowiem sprzyjać lub przeciwdziałać koncentracji zanieczyszczeń w powietrzu przez odpowiednie oddziaływanie na lokalne ruchy powietrza.

Założenia metodyczne

Przy ocenie klimatu lokalnego posługujemy się najczęściej danymi archiwalnymi z pobliskich stacji meteorologicznych, a także korzystamy z wcześniej stwierdzonych zależności lokalnego kształtowania się temperatury i ruchów powietrza pod wpływem podłoża. Wykonywanie dodatkowych pomiarów mikroklimatycznych jest stosunkowo rzadko stosowane ze względu na wysoki koszt i czasochłonność takich prac. W niniejszej pracy wykorzystano opracowania klimatyczne zawarte w *Atlasie klimatycznym Polski* (1971–1979) oraz metodykę oceny klimatu lokalnego przedstawioną przez Paszyńskiego (1980). Wydzielone typy topoklimatu przedstawiono na mapie topograficznej.

wyspie Wolin dochodzą do 114 m n.p.m., a na Wzgórzach Warszawskich (leżących na północ od Szczecina) do 131 m n.p.m. Tak wyrażne sterowanie wiatrów dolnych na Nizinie Szczecińskiej jest związane także z występującymi tu głównie wiatrami słabymi i bardzo słabymi (tab. 2).

Z liczb tabeli 2 wynika, że rozpatrywana łącznie częstość występowania wiatrów bardzo słabych i wiatrów słabych wynosi na stacji Świnoujście 77,4%, na stacji Międzyzdroje 84,1%, na stacji Szczecin-Dąbie 66,9% i na stacji Szczecin-Łąbędzia 76,2% wszystkich wiatrów i cisz. Wyrażne (około 10%) zmniejszenie częstości występowania słabych i bardzo słabych wiatrów na stacjach w Świnoujściu i w Szczecinie-Dąbiu zostało spowodowane umieszczeniem wiatromierzy na wyżej położonym miejscu (tab. 3).

TABELA 1. Roczne rozkłady częstości wiatru na poszczególne kierunki i ciszę, przedstawione w procentach wszystkich wiatrów i cisz, na stacjach meteorologicznych zlokalizowanych na Nizinie Szczecińskiej, w latach 1951–1960 wg danych *Atlasu klimatycznego Polski*, 1971–1979

Stacja meteorologiczna	Kierunki wiatru dolnego [%]								Cisze	Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW		
Międzyzdroje	6,8	16,1	13,8	12,7	8,9	14,5	16,3	7,7	3,2	100,0
Świnoujście	9,9	10,7	17,0	11,7	10,1	8,8	14,5	10,5	6,8	100,0
Szczecin-Dąbie	6,2	9,9	9,4	11,8	5,9	25,3	14,6	6,3	10,6	100,0
Szczecin-Łąbędzia	17,1	14,8	9,5	5,1	5,1	9,9	14,5	16,1	7,9	100,0

Wyniki opracowania

Kierunek i prędkość wiatru. Roczne rozkłady częstości wiatrów dolnych wskazują na Nizinie Szczecińskiej znaczne zróżnicowanie przestrzenne (tab. 1 i 2).

Dane zestawione w powyższej tabeli wskazują na wyrażne sterowanie wiatrów dolnych przez występujące w tym rejonie wzgórza o znacznej wysokości, które na

W celu wyboru stacji reprezentującej przeciętne warunki anemometryczne Niziny Szczecińskiej i rozpatrywanego rejonu Zakładów Chemicznych „Police”, zostały porównane przeważające kierunki wiatru (położenia kwadrantów największej częstości) na stacjach zlokalizowanych w północno-zachodniej Polsce (tab. 3).



RYSUNEK. Typy topoklimatu (opis w tekście)

TABELA 2. Roczne rozkłady częstości wiatru na poszczególne przedziały prędkości i cisze (przedstawione w procentach wszystkich wiatrów i cisz) na stacjach meteorologicznych zlokalizowanych na Nizinie Szczecińskiej w latach 1951–1960 (wg danych *Atlasu klimatycznego Polski*, 1971–1979)

Przedziały cisz i przedziały prędkości wiatru	Stacje meteorologiczne [%]			
	Międzyzdroje	Świnoujście	Szczecin-Dąbie	Szczecin-Łąbedzia
Cisza [$v = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	6,8	3,2	10,6	7,9
Wiatry bardzo słabe [$0 < v < 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	38,8	28,0	25,9	33,1
Wiatry słabe [$2 < v < 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	45,3	49,4	41,0	43,1
Wiatry umiarkowane [$5 < v < 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	7,3	19,1	21,5	15,2
Wiatry silne [$10 < v < 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	1,1	0,3	0,9	0,7
Wiatry bardzo silne [$v > 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]	0,7	•	0,1	•

- występowanie sporadyczne

TABELA 3. Położenie środka kwadrantu największej rocznej częstości wiatrów dolnych oraz roczna częstość wiatrów w tych kwadrantach w Polsce północno-zachodniej, w latach 1951–1960 (obliczono na podstawie danych *Atlasu klimatycznego Polski*, 1971–1979)

Stacja meteorologiczna	Położenie geograficzne			Położenie środka kwadrantu	Roczna częstość wiatrów w kwadrancie (w % wszystkich wiatrów i cisz)
	φ_N	λ_E	H_s^a		
Kołobrzeg	54°11"	15°35"	22,0	241	33,4
Międzyzdroje	53°56"	14°27"	14,0	96	29,3
Świnoujście	53°55"	14°14"	20,0	248	30,8
Szczecinek	53°43"	16°41"	12,0	273	36,3
Szczecin-Łąbedzia	53°27"	14°33"	10,0	345	33,6
Szczecin-Dąbie	53°24"	14°37"	21,5	239	40,4
Gorzów Wielkopolski	52°44"	15°15"	14,0	254	31,5

a – wysokość wiatromierza [m nad poziomem ziemi].

■ stacje o silnym sterowaniu wiatrem; nie reprezentujące warunków anemometrycznych regionu.

Dane zamieszczone w powyższej tabeli zostały wyznaczone metodą opartą na aproksymacji parabolicznej środków czterech przedziałów częstości skupionych wokół przedziału zawierającego modę (Wierzbiński 1968).

Z liczb tabeli 3 wynika, że stacją w pełni przydatną do charakterystyki stosunków anemometrycznych na Nizinie Szczecińskiej w rejonie Zakładów Chemicznych „Police” jest stacja Szczecin-Dąbie.

Z danych zawartych w *Atlasie klimatycznym Polski* (1971–1979) wynika, że w rejonie Zakładów Chemicznych „Police” we wszystkich miesiącach roku przeważają wiatry o kierunku SW. Wiosną zwiększa się wyraźnie częstość wiatrów o kierunkach NE, E i SE. Latem wiatry z kwadrantu zachodniego zaczynają osiągać najwyższą częstość, z tym że w kwadrancie tym największy udział mają nadal wiatry o kierunku SW. Kierunki N i S mają najmniejszą częstość występowania, przy czym wiatry północne zwiększają częstość występowania wiosną, a wiatry południowe – jesienią.

Wzniesienia szczecińskie wywołują lokalne zmiany rozkładu częstości wiatrów dolnych w stopniu tak dużym, że najczęstszym kierunkiem wiatru staje się kierunek N, a kierunki NE i NW osiągają wtórne zbliżone do siebie maksima częstości. Wskutek sterowania lokalnego wiatru ulegają bardzo silnemu zmniejszeniu częstości kierunków SE i S. Wzniesienia szczecińskie zmniejszają także częstość występowania ciszy, zarówno w ciągu roku, jak i w poszczególnych miesiącach. Nie wywierają natomiast istotne-

go wpływu na średnie miesięczne prędkości wiatru.

Typy topoklimatu. Na załączonej mapie topoklimatycznej okolic składowiska siarczanu żelazowego i Zakładów Chemicznych „Police” (rys.) przedstawiono klasyfikację topoklimatu, na podstawie której oceniona została rola tego czynnika w lokalnej koncentracji zanieczyszczeń powietrza. Ze względu na to, że omawiany obszar charakteryzuje się niewielkimi deniwelacjami, zasadniczymi czynnikami decydującymi o warunkach wentylacyjnych jest kierunek i prędkość wiatru w skali regionu szczecińskiego oraz zróżnicowanie właściwości fizycznych podłoża, które może przy pogodzie słonecznej wytwarzać na tyle duże poziome kontrasty termiczne w terenie, że uruchamia się działanie zjawiska prądów konwekcyjnych (pionowych) i turbulencyjnych (bezlądnych) w atmosferze, prowadzących do rozpraszania zanieczyszczeń (samooczyszczanie atmosfery).

Posługując się klasyfikacją topoklimatu Paszyńskiego (1980) wyróżniono następujące jednostki (rys.):

1. Topoklimat obszarów leśnych. Ze względu na niezbyt duże wartości energii słonecznej dochodzącej do dna lasu, obszary te charakteryzują się słabą wymianą pionową powietrza ku górze. Niższa temperatura podłoża na tym obszarze w stosunku do terenów sąsiednich zajmowanych przez ugór, pole uprawne z niską szatą roślinną, zabudową Zakładów Chemicznych „Police” i mieszkaniową, obszar lasu stanowi poziomy kontrast termiczny, sprzyjający roz-

- wojowi ruchów powietrza ku górze na obszarach poza lasem, wyłączając tereny podmokłe.
2. Topoklimat form wklęsłych – łąki w dolinach rzek, obniżenia terenu z łąką suchą lub podmokłą, zabagnienia. Ze względu na duże zużycie energii na parowanie i transpirację, temperatura podłoża w ciągu dnia jest tu niższa aniżeli na obszarze przyległym do składowiska i Zakładów Chemicznych „Police”. Są to tereny tzw. atermiczne. Znaczny poziomy kontrast termiczny nie sprzyja rozwojowi ruchów powietrza ku górze na tych terenach, a jedynie na terenach przyległych. W ramach tej jednostki występuje obszar łąki suchej, który okresowo oddziałuje w sposób zbliżony do obszaru pól uprawnych lub łąki podmokłej.
 3. Topoklimat form płaskich poza dolinami. Zaliczono do tej grupy tereny użytkowane rolniczo i ugory bez większych kompleksów zadrzewień ze znaczną przewagą gleb lekkich. Temperatura podłoża w ciągu dnia na tych obszarach jest wyższa aniżeli w jednostkach 1 i 2. Są to więc tereny, na których przy pogodzie słonecznej występują prądy powietrza ku górze.
 4. Topoklimat obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Chodzi tu głównie o tereny Zakładów Chemicznych „Police” (miasto Police odgrywa mniejszą rolę w wymianie powietrza na terenie zakładów chemicznych i składowiska). Temperatura powierzchni ziemi i obiektów przemysłowych na tym obszarze może być w dni słoneczne znacznie wyższa od

temperatury terenów przyległych. Sprzyja to rozwojowi wstępujących prądów powietrza i rozpraszaniu zanieczyszczeń. Trzeba jednak zaznaczyć, że w okresie nocy na terenie Zakładów Chemicznych „Police” i składowiska może nastąpić silna koncentracja zanieczyszczeń w powietrzu.

Podsumowanie

Występujące w rejonie składowiska i Zakładów Chemicznych „Police” typy topoklimatu stwarzają pozornie dobre warunki poziomego kontrastu termicznego, sprzyjającego ruchom powietrza prowadzącym do zmniejszania stężenia zanieczyszczeń w powietrzu. Intensywność tego zjawiska jest jednak ograniczana stosunkowo niewielkimi powierzchniami o podłożu kontrastującym termicznie (teren składowiska i Zakłady Chemiczne „Police”, niewielkie powierzchnie terenu, silnie uwilgocone). Występuje też stosunkowo mała prędkość wiatru w całym regionie szczecińskim. Szczególnie niekorzystne warunki wentylacyjne występują w rejonie składowiska, gdyż przylegające bezpośrednio tereny mają charakter słabo kontrastujący termicznie (teren silnie uwilgotniony od zachodu ma zbyt małą powierzchnię). Pewnym plusem jest to, że przy pogodzie silnie insolacyjnej (słonecznej), gdy pylenie składowiska wzrasta, nawet mniejsze kontrasty termiczne podłoża wystarczają do zainicjowania ruchów powietrza. Nocą i przy pogodzie o małej prędkości wiatru, na terenie składowiska i Zakładów Chemicznych

cznych „Police” może wystąpić znaczny wzrost koncentracji zanieczyszczeń powietrza nawet przy małej emisji. W ciągu dnia teren składowiska jest na ogół atermiczny, co sprzyja koncentracji zanieczyszczeń. Z chwilą wystąpienia wiatru, z terenu składowiska mogą być odrywane z podłoża nawet wilgotne cząsteczki, które w powietrzu stanowią wtedy aerozol stało-ciekły.

Bez pomiarów natężenia emisji zanieczyszczeń nie można obliczyć zasięgu i kierunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze składowiska. Można jedynie ogólnie ocenić, że zasięg zanieczyszczeń pyłowych i aerozoli ciekłych może sięgać odległości kilku kilometrów, a zanieczyszczeń gazowych prawie do 20

km. Wymagane jest więc wprowadzenie systematycznych pomiarów zanieczyszczeń powietrza, w tym pomiarów meteorologicznych (monitoring powietrza atmosferycznego).

Literatura

- Atlas klimatyczny Polski wraz z częścią tabelaryczną*, 1971–1979: WKiŁ, Warszawa.
- PASZYŃSKI J. 1980: *Metody sporządzania map topoklimatycznych*. Dokumentacja geograficzna. Metody opracowań topoklimatycznych IGiPZ PAN, z. 3, Warszawa.
- WIERZBICKI Z. 1968: *Podstawy rachunkowego określania najprawdopodobniejszych kierunków prądów powietrznych*. Biul. Tech. Energoprojektu, z. 2.

Tomasz BRANDYK

Katedra Kształtowania Środowiska i Melioracji SGGW

Waldemar MISIAK

Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych SGGW

Alojzy SZYMAŃSKI

Katedra Geotechniki SGGW

Zmiany programów kształcenia na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW w warunkach zmieniających się realiów gospodarczych i politycznych kraju

Wprowadzenie

Celem niniejszego artykułu jest syntetyczne omówienie rozwoju programów nauczania w latach 1993–1999 na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW. W 1993 roku wprowadzono kierunek studiów inżynieria środowiska, a w 1995 roku budownictwo. Wprowadzenie powyższych kierunków wymagało przebudowy programów nauczania realizowanych do 1993 roku na kierunku melioracje wodne (Brandyk i Szymański 1993).

Inżynieria środowiska

Prowadzony obecnie na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska program kierunku inżynieria środowiska opracowany został przez Wydziałową

Komisję Dydaktyczną z założeniem, że będzie on modyfikowany i dostosowywany do programów kształcenia w europejskich i amerykańskich uczelniach rolniczych i technicznych na kierunkach Agricultural Engineering i Environmental Engineering (Biernacka 1991). Obecnie program ten jest przejściowy w oczekiwaniu na minimum programowe, które będzie wspólne zarówno dla uczelni rolniczych, jak i technicznych (Biernacka 1992). Program jest więc oparty na tymczasowym minimum programowym określonym przez Radę Wydziału. Obejmuje ono około 2000 godz. prowadzonych głównie w ciągu dwóch pierwszych lat studiów. W ramach minimum programowego realizowane są obowiązkowe przedmioty podstawowe i kierunkowe. Z uwagi na fakt, że realizowane minimum nie jest w pełni porównywalne

z zakresem minimum programowego innych uczelni, występują trudności przy realizacji tego kierunku przez studentów przenoszących się z innych uczelni celem kontynuacji studiów lub ich pogłębienia na studiach magisterskich czy doktoranckich (Somorowski i Pierzgański 1981).

Studia na kierunku inżynieria środowiska w SGGW mają charakter studiów technicznych z niezbędną podbudową przyrodniczą i przygotowują absolwentów do podejmowania zadań z inżynierii środowiska obszarów nie zurbanizowanych (Mosiej i Sokołowski 1991). Zakres problematyki poszczególnych specjalności realizowanych na kierunku inżynieria środowiska obejmuje:

- inżynierię wodną i sanitarną wsi (wodociągi, kanalizacje, oczyszczanie ścieków, składowanie odpadów) ze szczególnym uwzględnieniem utylizacji ścieków i odpadów z osiedli wiejskich i zakładów przemysłu rolno-spożywczego oraz eksploatacji systemów wodno-gospodarczych,
- systemy, urządzenia i zabiegi regulujące stosunki wodne, powietrzne, ciepłe i pokarmowe w glebie, obejmujące systemy odwadniające, nawadniające i zbiorniki rolnicze,
- zabiegi służące ochronie wód i gleb oraz rekultywacji terenów zdegradowanych.

Program nauczania obejmuje 5-letnie studia magisterskie, 4-letnie stacjonarne i 5-letnie zaoczne studia inżynierskie oraz 3-letnie studia zawodowe w zakresie ochrony i kształtowania środowiska wiejskiego (od roku akademickiego 1999/2000 na studia 3-letnie nie jest prowadzony nabór).

W programie występują następujące grupy przedmiotów:

Rodzaj przedmiotu	[h]	[%]
ogólne	270	8,2
społeczne	120	3,6
podstawowe	595	18,0
kierunkowe	1190	36,1
zawodowe	1125	34,1

w tym 105 godz. ćwiczeń terenowych, co stanowi 3,2% ogólnej liczby godzin.

Na pięciu latach studiów realizowanych jest więc 3300 godzin.

Rada Wydziału powołała trzy specjalności, na które studenci zapisują się po zaliczeniu czwartego semestru. Są to:

- inżynieria wodna i melioracyjna A-1
- ochrona i rekultywacja środowiska A-2
- urządzenie terenów wiejskich A-3

Na każdej z ww. specjalności przewidziano możliwość realizacji pracy dyplomowej na jednej z czterech specjalizacji:

- A-1 – inżynieria melioracyjna,
 - wodociągi i kanalizacje wiejskie,
 - gospodarka wodna w rolnictwie,
 - inżynieria wodno-melioracyjna w rejonach subtropikalnych,
- A-2 – przyrodnicze podstawy inżynierii,
 - ochrona zasobów wodnych,
 - rekultywacja terenów zdegradowanych,
 - składowanie, unieszkodliwianie i zagospodarowanie odpadów,
- A-3 – zagospodarowanie przestrzenne obszarów wiejskich,
 - geodezyjne urządzenie terenów wiejskich,
 - gospodarowanie zasobami wodnymi i glebowymi,
 - organizacja i zarządzanie.

Specjalizacje dyplomowe studenci wybierają po zaliczeniu piątego semestru. Warunkiem uruchomienia specjalizacji jest utworzenie grupy liczącej minimum 12 osób.

Począwszy od trzeciego roku studiów studenci oprócz studiowania przedmiotów obowiązkowych wybierają przedmioty fakultatywne w liczbie 14 (630 h). Sześć z tych przedmiotów jest ściśle związanych z wybraną specjalnością, osiem natomiast studenci wybierają dowolnie z bogatej oferty przedmiotów fakultatywnych zgłoszonych przez poszczególne katedry wydziału. Warunkiem uruchomienia przedmiotu jest zapisanie się studentów w liczbie odpowiadającej liczebności grupy seminaryjnej.

Studenci, którzy nie uzyskali po dwóch latach studiów oceny minimum 3,5, są kierowani na 4-letnie studia inżynierskie, których wymiar wynosi 2700 h. W programie tych studiów oraz w programie studiów zaocznych nie występują przedmioty fakultatywne.

Nauka na zawodowych 3-letnich studiach z zakresu ochrony i kształtowania środowiska wiejskiego zakończy się w roku akademickim 2000/2001. Prowadzone są one w wymiarze 2535 h, a w ich programie przewidziane są 4 przedmioty fakultatywne. Przyczyną ograniczenia naboru na 3-letnie studia inżynierskie było małe zainteresowanie kandydatów tą formą studiów oraz zbyt krótki okres nauczania, utrudniający realizację programu na należytym poziomie.

Budownictwo

Realizowany obecnie program kierunku budownictwo powstawał w trzech etapach. W pierwszym etapie, w roku 1995 był on wynikiem prac Komisji Dydaktycznej, która dostosowała program kierunku melioracje wodne do potrzeb podjęcia kształcenia na kierunku inżynieria środowiska. Powstał on na bazie specjalności budownictwo wiejskie oraz specjalizacji dyplomowych budownictwo wodne, budownictwo ziemne oraz technologia i organizacja robót. W roku 1996 zostało przygotowane i opublikowane minimum programowe dla kierunku budownictwo, w wymaganiach którego przyjęto, że studia magisterskie na kierunku budownictwo mają zapewnić wykształcenie specjalistów, którzy na podstawie nabytej wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych, uzyskają podstawę do twórczej pracy w zakresie projektowania obiektów budowlanych i konstrukcji inżynierskich, realizacji obiektów budowlanych i konstrukcji inżynierskich, nadzorowanie procesów budowlanych i zarządzanie nimi, z zastosowaniem nowoczesnej techniki komputerowej.

Zgodnie z wymienionym minimum program tworzyły następujące grupy przedmiotów [h]:

A	ogólne	390
B	podstawowe (30 h ponad minimum)	705
C	techniczne (210 h ponad minimum)	1080
		2175 h
D	fakultatywne spoza minimum programowego	1225 h

W roku 1998 kształcenie na kierunku budownictwo zostało poddane pilotażowemu programowi oceny kierunku kształcenia. W wyniku zaleceń pokontrolnych program został w toku prac Komisji Dydaktycznej przeanalizowany i nieznacznie przebudowany, efektem czego jest następujący wymiar godzinowy w poszczególnych grupach przedmiotów:

A	ogólne	390
B	podstawowe (75 h ponad minimum)	750
C	techniczne (255 h ponad minimum)	1125
		2265 h
D	fakultatywne spoza minimum programowego	1225 h

co w efekcie daje na pięciu latach studiów 3490 godzin oraz 4 tygodnie praktyki kierunkowej i 4 tygodnie praktyki dyplomowej.

Rada Wydziału powołała trzy specjalności, na które studenci zapisują się po zaliczeniu czwartego semestru. Są to:

- B-1 budownictwo wiejskie,
- B-2 budownictwo hydrotechniczne dla wsi,
- B-3 budownictwo drewniane.

Na każdej z wymienionych specjalności przewidziano możliwość realizacji pracy dyplomowej na jednej z wymienionych poniżej specjalizacji:

- B-1 – budownictwo rolnicze,
 - konstrukcje budowlane,
 - techniczna infrastruktura terenów wiejskich,
 - technologia i organizacja budowy
- B-2 – budownictwo wodne,
 - ziemne budowle piętrzące,
 - techniki gospodarowania wodą,

- B-3 – konstrukcje drewniane,
 - drewno i tworzywa drzewne,
 - ochrona materiałów drewnnych.

Specjalizacje dyplomowe studenci wybierają po zaliczeniu semestru piątego na tych samych zasadach jak na kierunku inżynieria środowiska.

Studenci od trzeciego roku mają możliwość wybierania przedmiotów fakultatywnych w liczbie 12 (540 h). Siedem z tych przedmiotów związanych jest z wybraną specjalnością, pięć przedmiotów natomiast studenci wybierają dowolnie. Studenci, którzy nie uzyskali po dwóch latach studiów oceny minimum 3,5, są kierowani na 4-letnie studia inżynierskie, których wymiar wynosi 2865 godzin. Na kierunku budownictwo nie są prowadzone studia zaoczne.

Kształcenie praktyczne

Kształcenie praktyczne na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska realizowane jest w trzech następujących formach (Zakowicz i in. 1998):

Ćwiczenia terenowe. Studenci studiów 5-letnich magisterskich i 4-letnich inżynierskich na kierunku inżynieria środowiska odbywają ćwiczenia terenowe z przedmiotów: geodezja i fotogrametria – 4 tygodnie, gleboznawstwo i torfoznawstwo – 1,5 tygodnia, podstawy geologii i hydrogeologii, meteorologia i klimatologia, podstawy ekologii i rolnictwa, mechanika gruntów, hydrologia – po jednym tygodniu. Studenci studiów 5-letnich magisterskich i 4-letnich inżynierskich na kierunku budownictwo odbywają ćwiczenia terenowe z przedmiotów: geode-

zja – 2 tygodnie, geologia, hydrologia, mechanika gruntów – 1 tydzień, meteorologia – 2 dni. Ćwiczenia terenowe pozwalają na zdobycie umiejętności wykorzystania w praktyce inżynierskiej wiedzy teoretycznej przekazywanej w ramach poszczególnych przedmiotów.

Praktyki zawodowe. Praktyka zawodowa na naszym wydziale trwa 4-tygodnie i odbywa się w czasie wakacji w dwóch etapach. Studenci 5-letnich studiów magisterskich i 4-letnich inżynierskich odbywają tę praktykę w czasie przerwy wakacyjnej po 6 semestrze. Studenci 3-letnich studiów inżynierskich odbywają ją po 4 semestrze. Pierwsza część praktyki zawodowej jest wspólna dla całego roku i odbywa się w ostatnim tygodniu czerwca bezpośrednio po letniej sesji egzaminacyjnej. Praktyka ta jest realizowana w grupach specjalizacyjnych pod kierunkiem pracowników dydaktycznych na obiektach z zakresu inżynierii środowiska w trakcie budowy, modernizacji lub eksploatacji. Druga część praktyki zawodowej jest realizowana indywidualnie przez każdego studenta w przedsiębiorstwie, które realizuje inwestycje zgodne z profilem specjalizacji danego kierunku studiów. Student wybiera jako miejsce swojej praktyki zakład pracy, w którym w przyszłości jako absolwent chciałby znaleźć zatrudnienie. Po znalezieniu przyszłego potencjalnego pracodawcy student otrzymuje skierowanie, a następnie zawierana jest umowa pomiędzy wydziałem a zakładem pracy o realizację indywidualnego programu praktyki zawodowej. Przed rozpoczęciem praktyk wszyscy studenci odbywają

szkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy.

Studenci 3-letnich studiów inżynierskich w zakresie ochrony i kształtowania środowiska wiejskiego odbywają praktykę w wydziałach ochrony środowiska administracji samorządowej i państwowej oraz w zakładach przemysłowych posiadających takie wydziały.

W czasie 3-tygodniowej indywidualnej praktyki student szczegółowo opisuje w dzienniku praktyk wszystkie prace wykonywane każdego dnia. W dzienniku zamieszcza także szkice, rysunki i dokumentację fotograficzną realizowanej budowl. Cały okres praktyki opisuje w formie sprawozdania, gdzie szczegółowo podaje zasady: przenoszenia projektu w teren, tyczenia i obmiaru robót, kontroli jakości i przeprowadzenia odbioru robót, sposobu wyceny kosztów pracy sprzętu na budowie, technologii realizacji robót oraz opisuje dokumenty prowadzone przez kierownika budowy. Zaliczenie praktyk odbywa się w okresie jesiennej sesji egzaminacyjnej. Każdego roku pewna liczba studentów odbywa drugą część praktyki za granicą.

Praktyki dyplomowe. Praktyki dyplomowe trwają 4-tygodnie. Realizowane są po 8 semestrze przez studentów przygotowujących prace magisterskie. Praktyka ta jest ściśle związana z tematyką wykonywanej pracy dyplomowej i odbywa się pod kierunkiem promotora.

Kredytowy system ocen

Do oceny zakresu opanowania przez studenta wiedzy z poszczególnych przedmiotów służy tzw. system kredytowy. Sy-

stem ten polega na obliczeniu liczby godzin wykładów i ćwiczeń realizowanych w ramach danego przedmiotu w ciągu tygodnia w czasie jednego semestru, przy czym przyjmuje się, że:

- 1 kredyt odpowiada 15 godzinom wykładów, tj. 1 h tygodniowo;
 - 0,5 kredytu odpowiada 15 godzinom ćwiczeń, tj. 1 h tygodniowo;
- czyli np. przedmiot o wymiarze tygodniowym 2 h wykładów i 4 h ćwiczeń ma $(30/15) \cdot 1 + (60/15) \cdot 0,5 = 4$ kredyty.

Oceny w systemie kredytowym odzwierciedlają procent opanowania wiedzy z zakresu danego przedmiotu i przedstawiają się następująco:

[%]	ocena
do 50	niedostateczna
51–60	dostateczna
61–70	dostateczna plus
71–80	dobra
81–90	dobra plus
91–100	bardzo dobra

Na przykład przedmiot o maksymalnej wartości 4 kredytów oceniony na poziomie 51% daje w wyniku $4 \cdot 0,51 = 2,04$ kredytu.

Stopień opanowania wiedzy z przedmiotów kończących się zaliczeniem oceniany jest sprawdzianami w czasie semestru, natomiast z przedmiotów egzaminacyjnych opanowanie materiału wykładowego ocenia się podczas sesji.

Stopień opanowania wiedzy ocenia się oddzielnie dla ćwiczeń i dla wykładów, dzieląc materiał według podanego systemu kredytowego, np. przedmiot o 1 godzinie wykładu i 2 godzinach ćwiczeń tygodniowo dzieli się po 50% na materiał wykładowy i ćwiczeniowy, natomiast w przypadku przedmiotu o 2 go-

dzinach wykładów i 2 godzinach ćwiczeń na materiał wykładowy przypada 67% punktów, a na ćwiczeniowy 33%. Wpis do indeksu obejmuje łączną liczbę kredytów uzyskaną z danego przedmiotu za ćwiczenia i wykłady.

Perspektywy dalszego rozwoju

Realizowany obecnie program kształcenia oparty jest na tymczasowym minimum programowym określonym przez Radę Wydziału (Brandyk i in. 1998). Obejmuje ono około 2000 h prowadzonych głównie na 2 pierwszych latach studiów. W ramach minimum programowego realizowane są obowiązkowe przedmioty podstawowe i kierunkowe. Z uwagi na fakt, że realizowane minimum programowe nie jest w pełni porównywalne z zakresem minimum programowego innych uczelni, występuje problem przy realizacji tego kierunku w przypadku studentów przenoszących się z innych uczelni celem kontynuacji studiów lub ich pogłębienia na studiach magisterskich czy doktoranckich (Hewelke i in. 1998).

Realizowany obecnie na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska program na kierunku inżynieria środowiska – opracowany został przez Wydziałową Komisję Dydaktyczną z założeniem, że będzie on modyfikowany i dostosowywany do programów kształcenia w europejskich i amerykańskich uczelniach rolniczych i technicznych na kierunku Agricultural Engineering i Environmental Engineering (Somorowski i Pierzgański 1987).

Zatem obecny program jest przejściowy od dotychczas realizowanego planu melioracji wodne do docelowego programu kierunku inżynieria środowiska, realizowanego w Polsce zarówno przez uczelnie rolnicze, jak i techniczne. Program taki powinien być oparty na wspólnym minimum programowym obejmującym przedmioty podstawowe (matematyka, fizyka, chemia itp.) oraz przedmioty kierunkowe (hydrologia, ekologia, mechanika itp.) Powołane na poszczególnych uczelniach specjalności wynikające z regionalnych potrzeb gospodarki oraz możliwości kadrowych i aparaturowych uczelni oparte będą na przedmiotach fakultatywnych prowadzonych przez poszczególne katedry w ramach ścieżek programowych określonych przez właściwe rady wydziałów (Somorowski 1992).

Zatem do realizacji wymienionego założenia Rada Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW zaakceptowała program perspektywicznego rozwoju dydaktyki do roku 2005. Na kierunku inżynieria środowiska przewiduje się docelowo utworzenie systemu studiów wielostopniowych obejmujących kolejno:

- 7- semestralne studia inżynierskie,
- 3-semestralne studia magisterskie,
- oraz studia doktoranckie trwające 8 semestrów.

Ten system kształcenia opiera się na założeniu spójności realizowanej dydaktyki w ramach studiów inżynierskich i magisterskich z dyscypliną naukową, w ramach której Wydział ma uprawnienia do otwierania studiów doktoranckich oraz nadawania stopni naukowych. Aby

osiągnąć ten cel i podnieść poziom nauczania, na Wydziale planowane są następujące działania:

- krytyczny przegląd i ocena istniejących programów,
- modernizacja treści programowych poszczególnych przedmiotów,
- uwzględnienie porównywalności z programami studiów w uczelniach Unii Europejskiej,
- modernizacja laboratoriów dydaktycznych,
- wewnątrzwydziałowe i zewnętrzne szkolenie kadry dydaktycznej,
- modyfikacja istniejącego systemu kredytowego i wprowadzenie Europejskiego Systemu Transferu Punktów,
- rozszerzenie współpracy z instytucjami zagranicznymi przez dwustronną współpracę i udział w programach międzynarodowych (PHARE, ERASMUS itp.).

Podjęcie wymienionych działań umożliwi Wydziałowi docelowe przekształcenie systemu kształcenia na kierunku inżynieria środowiska, uwzględniając wymagania stawiane krajom kandydującym do Unii Europejskiej.

Podsumowanie

Zapoczątkowana w roku akademickim 1991/1992 reforma studiów melioracyjnych wydaje się najbardziej kompleksowa w całej historii Wydziału. Obejmuje bowiem zarówno merytoryczną, jak i metodyczną stronę procesu dydaktycznego.

Zakres kształcenia został znacznie rozszerzony – głównie o elementy środowiskowe (nowe specjalności, nowe specjalizacje dyplomowe), w wyniku czego wprowadzono nowe kierunki kształcenia inżynieria środowiska i budownictwo (Somorowski i Pierzgalski 1989, Pierzgalski 1992).

Należy stwierdzić, że nowy program realizowany na tych kierunkach znacząco poszerza zakres kształcenia o problematykę dotyczącą ochrony, kształtowania i urządzania obszarów nie zurbanizowanych (Biernacka i Żelazo 1996).

Absolwenci Wydziału przygotowani są do podejmowania zadań w zakresie problematyki budownictwa i inżynierii środowiska, dotyczącej ochrony środowiska przyrodniczego, racjonalnego wykorzystania zasobów wodnych i glebowych, składowania, unieszkodliwiania i zagospodarowania odpadów oraz sanitacji wsi. Biorąc pod uwagę możliwość uzyskiwania przez absolwentów uprawnień zawodowych, istnieje konieczność opracowania i przyjęcia przez wszystkie uczelnie prowadzące kształcenie na kierunku inżynieria środowiska jednolitego minimum programowego, stanowiącego podstawę przyznawania tych uprawnień przez odpowiednie jednostki administracji państwowej.

Przyjęta w perspektywie do realizacji koncepcja systemu studiów wielostopniowych, tj. inżynierskich, magisterskich, doktoranckich, wymaga równoległego dostosowania nazwy i zakresu dyscypliny naukowej do realizowanej problematyki dydaktycznej.

Występująca obecnie różnica zarówno w definicji, jak i zakresie pomiędzy

kierunkiem kształcenia inżynieria środowiska a dyscypliną kształtowanie środowiska prowadzi do niespójności procesu nauczania z procesem rozwoju kadr na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska oraz utrudnia pełne wdrożenie wielostopniowego systemu kształcenia.

Należy podkreślić, że dalszy rozwój systemu i programów kształcenia powinien uwzględniać konieczność przyszłej współpracy z krajami Unii Europejskiej. Zatem oprócz wprowadzenia wielostopniowego systemu kształcenia, niezbędne jest dostosowanie obecnego kredytowego systemu oceny studentów do wymagań Europejskiego Systemu Transferu Punktów.

Literatura

- BIERNACKA E. 1991: *Przeobrażenia na studiach na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska w SGGW. Koncepcja zmian systemu kształcenia w szkołach wyższych*. Wydaw. SGGW; 47–50.
- BIERNACKA E. 1992: *O działaniach w zakresie przemian w procesie naukowo-dydaktycznym na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*. Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. 1; 89–90.
- BIERNACKA E., ŻELAZO J. 1996: *Działania w środowisku – próba zdefiniowania i określenia zakresu*. Mat. semin. nauk. Inżynieria Środowiska Rolniczego. Lublin; 59–65.
- BRANDYK T., SZYMAŃSKI A. 1993: *Program studiów magisterskich na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*. Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środow. 2; 89–95.
- BRANDYK T., MISIAK W., SZYMAŃSKI A. 1998: *Stan i perspektywy rozwoju kierunku kształcenia inżynieria środowiska w SGGW*. Konf.: Kształcenie w zakresie inżynierii

- i ochrony środowiska dla rozwoju obszarów wiejskich. Wydaw. AR Wrocław; 21–30.
- HEWELKE P., BRANDYK T., SZATYŁOWICZ J., OLESZCZUK R. 1998: Kształcenie podyplomowe w zakresie inżynierii środowiska i zróżnicowanego rozwoju obszarów wiejskich w Unii Europejskiej. *Konf. „Kształcenie w zakresie inżynierii i ochrony środowiska dla rozwoju obszarów wiejskich”*. Wydaw. AR Wrocław; 31–35.
- MOSIEJ K., SOKOŁOWSKI J. 1991: *Inżynierska sylwetka absolwenta Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska w świetle zmian zachodzących w gospodarce. Koncepcja kształtowania umiejętności praktycznych inżyniera melioracji wodnych i specjalności zbliżonych*. Wydaw. SGGW; 23–26.
- PIERZGALSKI E. 1992: *Charakterystyka zmian w kształceniu kadr melioracyjnych*. Konferencja: 25 lat doświadczeń zawodowych absolwentów studiów melioracyjnych SGGW; 1–8.
- SOMOROWSKI C., PIERZGALSKI E. 1981: *Zmiany programów nauczania na Wydziale Melioracji Wodnych SGGW-AR w latach 1946-1977*. *Studia, Mat. Inform.* 1/32 MOM AR; 3–10.
- SOMOROWSKI C., PIERZGALSKI E. 1987: *Education and training of land reclamation staff in Poland*. International Commission on Irrigation and Drainage, Thirteenth Congress, Rabat Q. 41-R.24; 361–366.
- SOMOROWSKI C., PIERZGALSKI E. 1989: *Aktualne zagadnienia szkolenia kadry melioracyjnej z wyższym wykształceniem*. *Zesz. Probl. Nauk Rol.* 375; 221–236.
- SOMOROWSKI C. 1992: *O profilu kształcenia na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*. *Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ.* 1; 3–6.
- ŻAKOWICZ S., BRANDYK T., MISIAK W. 1998: *Problematyka kształcenia praktycznego studentów w zakresie inżynierii środowiska*. *Konf.: Kształcenie w zakresie inżynierii i ochrony środowiska dla rozwoju obszarów wiejskich*, Wydaw. AR Wrocław; 91–110.

Summary

Actual state and future development of study programs in civil and environmental engineering at Warsaw Agricultural University caused by economical and political changes. The aim of this paper is to present historical development and actual state of study programs in Civil and Environmental Engineering of Warsaw Agricultural University. The paper outlines the scope of study programs, the description of the courses, diploma specializations, credit system for student's knowledge evaluation and the necessity of future development and changes of educational programs to fulfil European Union standards.

Informacja o działalności naukowo-badawczej Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego

Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska jest jednym z jedenastu wydziałów Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Stukturę wydziału tworzy 10 katedr, 1 samodzielny zakład oraz pięć zakładów i trzy pracownie wyodrębnione w katedrach.

Warsztat naukowo-badawczy wydziału stanowi:

- Laboratorium Hydrauliczne
- Rolnicza Zlewnia Badawcza (Zagórzka po Płachty Stare) ze stanowiskiem analiz rumowiska rzeczno-
- Pracownia Środowiskowych Systemów Informacyjnych
- Pracownia Procesów Denudacji i Sedymmentacji
- Laboratorium Materiałów Budowlanych
- Laboratorium Geotechniczne
- Laboratorium Chemiczno-Botaniczne
- Pole Doświadczalne
- Laboratorium Fizykochemiczne Wody Glebowej
- Pole Dydaktyczno-Naukowe

- Laboratorium Biologiczno-Chemiczne
- Hala Wegetacyjna
- Stacja Monitoringu Powietrza Atmosferycznego
- Laboratorium Technologii Robót Ziemnych, Badań Materiałowych i Wodno-Gruntowych
- Laboratorium Hydrogeologiczne
- Naukowo-Badawcza Stacja Wodociągowa
- Laboratorium Technologii Wody

Struktura zatrudnienia na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska na koniec 1998 roku przedstawiała się następująco:

profesorów zwyczajnych	5
profesorów nadzwyczajnych z tytułem	6
doktorów habilitowanych na stanowisku profesora nadzwyczajnego	15
adiunktów ze stopniem doktora habilitowanego	7
adiunktów z doktoratem	43
asystentów	32

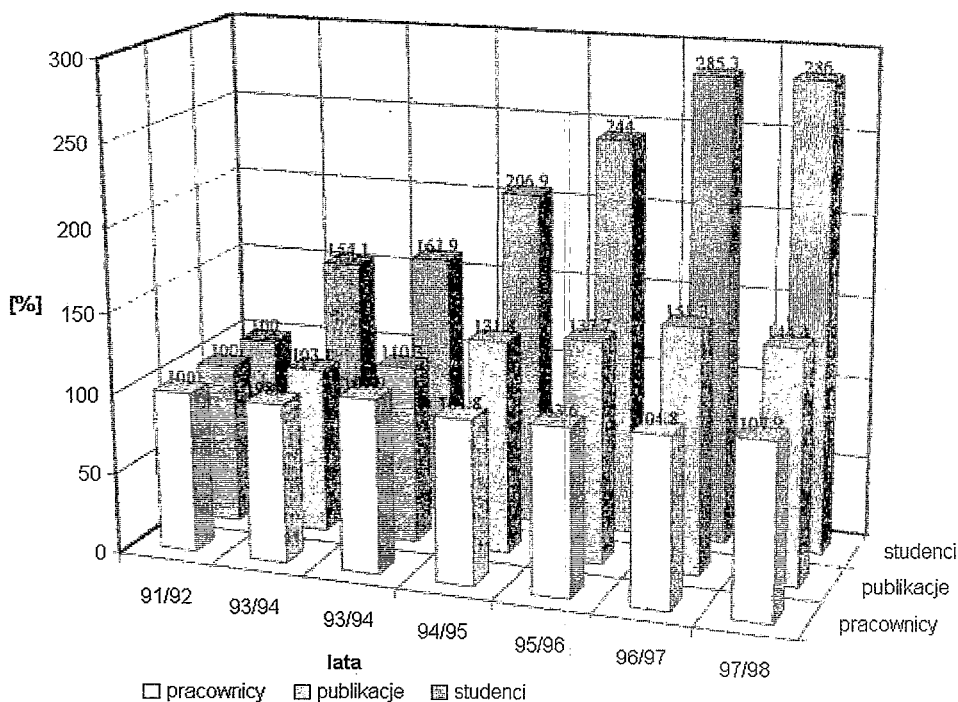
asystentów oddelegowanych
na studia doktoranckie 7
wykładowców 12
pozostałych pracowników 51
Pracownicy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska biorą udział w pracach:
Komitetów Międzynarodowych 30
Komitetów PAN 15
Rad Naukowych 10
Komitetów Redakcyjnych 5
różnych krajowych towarzystw naukowych 52

Procentowe zmiany stanu zatrudnienia na Wydziale, liczby publikacji i liczby studentów w stosunku do roku akademickiego 1991/1992 pokazano na rysunku 1.

Działalność naukowa Wydziału dotyczy **dziedziny nauk rolniczych i technicznych**. Obejmuje dyscyplinę **kształtowanie środowiska, budownictwo oraz matematykę**.

Główne kierunki badań w dyscyplinie **kształtowanie środowiska**:

- gospodarowanie wodą i przeciwdziałanie zanieczyszczeniom obszarowym dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich,
- techniczne obiekty gospodarki wodnej z uwzględnieniem aspektów ochrony środowiska,
- rekultywacja terenów zdegradowanych i zagospodarowanie odpadów stałych i ścieków,



RYSUNEK. Procentowe zmiany stanu zatrudnienia na Wydziale, liczby publikacji i liczby studentów w stosunku do roku akademickiego 1991/1992

- zmiany właściwości fizykochemicznych w środowisku glebowym i wodnym w wyniku antropopresji,
- badania klimatu i bioklimatu Polski.

Główne kierunki badań w **dyscyplinie budownictwo:**

- rozwój metodyki badań i obliczeń geotechnicznych dla posadowienia budowli,
- wzmacnianie słabego podłoża budowli,
- kształtowanie rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych i materiałowo-konstrukcyjnych w budownictwie rolniczym.

Główne kierunki badań w **dziedzinie nauk matematycznych w dyscyplinie matematyka** obejmują:

- metody teorii funkcji holomorficznych jednej i wielu zmiennych zespolonych,
- analizę fourierowską.

Wydział ma uprawnienia do nadawania:

- doktora nauk rolniczych w dyscyplinie kształtowanie środowiska,
- doktora habilitowanego nauk rolniczych w dyscyplinie kształtowanie środowiska.

Od wielu lat Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska szeroko współpracuje z wieloma naukowymi ośrodkami krajowymi:

- Politechniką Gdańską, Łódzką, Krakowską, Poznańską, Warszawską,
- Akademią Rolniczą w Krakowie, Lublinie, Poznaniu, Szczecinie, we Wrocławiu,
- Akademią Rolniczo-Techniczną w Olsztynie i Techniczno-Rolniczą Bydgoszczy,

- Wyższą Szkołą Inżynierską w Radomiu,
- Uniwersytetem Warszawskim,
- Uniwersytetem im. M. Curie Skłodowskiej w Lublinie,
- Uniwersytetem im. A. Mickiewicza w Poznaniu,
- Instytutem Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku,
- Instytutem Morskim w Gdańsku,
- Instytutem Ochrony Środowiska w Warszawie,
- Instytutem Badawczym Leśnictwa w Warszawie,
- Instytutem Zootechniki w Krakowie, Instytutem Techniki Budowlanej w Warszawie,
- Instytutem Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach,
- Instytutami Polskiej Akademii Nauk,
- Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie,
- Prywatną Wyższą Szkołą Ochrony Środowiska w Radomiu,
- Instytutem Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie,
- Instytutem Wzornictwa Przemysłowego w Warszawie,
- stowarzyszeniami naukowymi i fundacjami oraz i międzynarodowymi placówkami badawczymi, takimi jak:
- Uniwersytet BOKU w Wiedniu (Austria),
- Uniwersytet Gent w Gandawie (Belgia),
- Uniwersytet w Brukseli (Belgia),
- ESSEC, Institut de l'Environnement Urbain IEU (Francja),
- Universidad Politecnica de Catalunya (Hiszpania),

- Uniwersytet Rolniczy w Wageningen (Holandia),
- Uniwersytet Rolniczy w Utrechcie (Holandia),
- Czeski Uniwersytet Rolniczy w Pradze (Republika Czeska),
- Szwedzki Instytut Geotechniczny w Linköping (Szwecja),
- Royal Institute of Technology Stockholm (Szwecja),
- Uniwersytet w Uppsali (Szwecja),
- Politechnika w Turynie (Włochy),
- Instytut Badań Doświadczalnych IS-MES (Włochy),
- Uniwersytet w Wisconsin River Falls (USA),
- Uniwersytet w Illinois (USA),
- Uniwersytet Purdue, Lafayette (USA),
- The Central European University (Węgry),
- Uniwersytet Walijski w Cardiff (Wielka Brytania),
- Imperial College w Londynie (Wielka Brytania),
- HR Wallingford – British Council (Wielka Brytania).

Wyniki prac i badań pracownicy publikują we własnych wydawnictwach:

- Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW Land Reclamation,
- Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW.

W 1998 roku realizowano na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska:

- | | |
|---|----|
| • tematy statutowe | 26 |
| • tematy własne | 50 |
| • granty KBN | 12 |
| • granty wewnętrzne SGGW | 1 |
| • prace zlecone z jednostek gospodarczych | 28 |

Pracownicy Wydziału realizowali następujące tematy grantów badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych:

1. Modelowanie reakcji terenów rolniczych na ulewne deszcze w zmieniającym się środowisku. Data rozp./zak. 8.09.1997 – 31.12.1999 r.

Kierownik: dr hab. inż. Kazimierz Banasik, prof. SGGW

Wykonawcy: mgr inż. Dariusz Górski, mgr inż. Jacek Gładecki, mgr inż. Leszek Hejduk, mgr inż. Małgorzata Wicher, mgr inż. Elżbieta Rudzka.

2. Metody oceny zasobów wodnych na potrzeby bilansów wodnych w dolinach rzecznych o szczególnych walorach przyrodniczych. Data rozp./zak. 27.07.98 - 30.04.2000 r.

Kierownik:

prof. dr hab. inż. Andrzej Byczkowski

Wykonawcy:

dr hab. inż. Stefan Ignar, prof. SGGW, dr inż. Tomasz Okruszko, mgr Jarosław Chormański, mgr inż. Barbara Mandes, mgr inż. Krzysztof Ostrowski

3. Wyznaczenie parametrów mechanicznych gruntów mineralnych i organicznych na podstawie badań in situ. Data rozp./zak.: 1997/2000 r.

Kierownik: dr hab. inż. Alojzy Szymański, prof. SGGW

Wykonawcy: dr hab. A. Szymański, prof. nadzw. SGGW, dr hab. Z. Lechowicz, prof. nadzw. SGGW, mgr J. Bąkowski, mgr W. Sas.

4. Opracowanie metodyki określania ryzyka powodzi w systemie Człowiek-Budowla Hydrotechniczna-Środowisko na przykładzie zbiornika retencyjnego terenów pogórza. Data rozp./zak.: 1998/2001

Kierownik: dr hab. inż. Zbigniew Lechowicz, prof. SGGW

Wykonawcy: prof. dr hab. Wojciech Wolski, dr hab. A. Szymański, prof. nadzw. SGGW, dr T. Barański, mgr J. Bąkowski, mgr W. Sas, dr T. Okruszko, dr hab. S. Ignar, prof. nadzw. SGGW; Politechnika Warszawska: dr hab. T. Szopa – prof. PW, dr T. Pancewicz, dr S. Suchodolski

5. Zmniejszenie zużycia wody i nawozów oraz zanieczyszczenia wód podziemnych poprzez zastosowanie przesłon w nawodnieniach głębszych. Data rozp./zak.: 1997/1999.

Kierownik: dr hab. Edward Pierzgałski

Wykonawcy: dr hab. Edward Pierzgałski, mgr inż. W. Ptach.

6. Zadanie badawcze: Wpływ antropogenizacji na środowisko przyrodnicze – gleby, wody, rośliny realizowane w ramach grantu KBN Nr 50102080027 wspólnie z Katedrą Chorób Wewnętrznych z Kliniką. Data rozp./zak.: 1996/1999.

Kierownik: prof. dr hab. W. Kluciński

Wykonawcy: prof. dr hab. Elżbieta Biernacka, mgr inż. Marcin Małuszyński, mgr inż. Marcin Wójcik, mgr inż. Danuta Jasińska.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska w ostatnich latach zaliczyć należy:

- podsumowanie aktualnego stanu wiedzy w zakresie przyrodniczych i

technicznych problemów gospodarowania wodą dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich – wydania monograficzne: Zeszyt Problematyki Postępów Nauk Rolniczych, z. 458, 1998, Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska z. 15, 16.

wydanie prac:

- pod redakcją J. Hartlena i W. Wolskiego *Embankments on organic soils*, Wydaw. Elsevier, seria Developments in Geotechnical Engineering; 1996.
- pod redakcją A. Byczkowskiego, E. Nachlik, H. Okruszko *Kierunki renaturyzacji siedlisk hydrogenicznych w Basenie Środkowym Biebrzy*. Zeszyt Problematyki Postępów Nauk Rolniczych nr 432; 1996.
- pod redakcją T. Brandyka i P. Hewelke *Ochrona i zrównoważony rozwój środowiska wiejskiego*, Wydaw. SGGW, Warszawa 1996.
- podręcznika A. Byczkowskiego *Hydrologia* tom 1 i 2, Wydaw. SGGW, Warszawa 1996.
- podręcznika F. Maciaka *Ochrona i rekultywacja środowiska*, Wydaw. SGGW 1996.
- podręcznika C. Grabarczyka pt. *Przeptywy cieczy w przewodach*, Wydaw. Envirotech, Poznań 1997.
- podręcznika J. Kubraka *Hydraulika techniczna*, Wydaw. SGGW, Warszawa 1998.
- opracowanie metody oceny upłynienia gruntów w konstrukcjach ziemnych.

- opracowanie metody uśredniania niejednorodności płyt w szczególności poddanych działaniu ciepła i wilgoci.

Działalność naukowo-badawcza Wydziału poddana była ocenie parametrycznej Komitetu Badań Naukowych. Wy-

dział uzyskał w latach 1995–1998 następującą liczbę punktów:

rok	1995	1996	1997	1998
	553	769	633	772

Uzyskana liczba punktów umożliwiła Wydziałowi zajęcie trzeciego miejsca w kategorii „Szkoly Wyzsze”.