

---

Szkoła  
Główna  
Gospodarstwa  
Wiejskiego  
w Warszawie

# Przegląd Naukowy

**Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska**

---

**Zeszyt 14**

Szkoła  
Główna  
Gospodarstwa  
Wiejskiego  
w Warszawie

# Przegląd Naukowy

Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska

Zeszyt 14

Warszawa 1998

Warsaw  
Agricultural  
University

# Scientific Review of

Land Reclamation and Environmental Engineering

Volume 14

Warsaw 1998

## Spis treści

### Contents

#### PRACE ORYGINALNE

- E. BIERNACKA, D. JASIŃSKA: Pierwiastki śladowe w glebach terenów antropogenicznych.  
*Trace element in soils on anthropogenic areas* . . . . . 5
- E. BIERNACKA, M. WÓJCIK: Wpływ antropogenizacji środowiska na zawartość Zn, Pb, Cd  
w roślinności trawiastej. *The manmade influence of anthropogenization of the environment  
for the contents of Zn, Pb, Cd in grass plants* . . . . . 15
- E. BIERNACKA, M.J. MAŁUSZYŃSKI: Zawartość selenu i kadmu w roślinności trawiastej  
z okolicy Huty Katowice. *The selenium and cadmium contents of grass near Huta Katowice* . 25
- E. BIERNACKA, M.J. MAŁUSZYŃSKI: Próba określenia zawartości selenu w wodach Wisły  
oraz jej wybranych dopływów w okolicach Warszawy. *Trial of determination of selenium  
content in Vistula River and it's side streams* . . . . . 29
- T. MAZUR, M. SKWARCZYŃSKI: Q jednomianowej wypukłości w  $C^N$ .  
*Remarks on monomial convexity in  $C^N$*  . . . . . 33
- H. KAZIEKO, L. KAZIEKO: Nieliniowe zagadnienie konsolidacji warstwy trójfazowego gruntu.  
*A nonlinear consolidation of three-phase soils* . . . . . 39
- W. HYB: Matematyczne aspekty wyznaczania parametrów hydraulicznie najkorzystniejszego  
koryta o przekroju parabolicznym i trapezowym. *Mathematical aspects of determination  
of the parameters of the best hydraulic channel shape for parabolic and trapezoidal sections.* 45

|                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| E. WIENCLAW: Sytuacja hydrogeologiczna Skarpy Ursynowskiej<br><i>Hydrogeological situation of Ursynów Scarp</i> . . . . .                                                                                                                         | 51  |
| H. ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK: Ocena zanieczyszczenia wód podziemnych<br>w rejonie składowiska odpadów „Radzymin”. <i>Assesment of groundwater pollution in the area<br/>of the waste landfill „Radzymin”</i> . . . . .                              | 65  |
| W. ROGIŃSKI, P. WICHOWSKI, E. JASIŃSKA: Badania procesów biologicznych<br>zachodzących podczas kompostowania bioodpadów i osadów ściekowych<br><i>Research biological processes during composting of biological waste and sewage sludge</i> . . . | 77  |
| A. CIEPIEŁOWSKI, T. WAWRZONIAK: Zmiana jakości wód gruntowych w wyniku<br>deszczowania ściekami lasu i plantacji drzew<br><i>Changes of ground water quality as a results of sewage watering in forest and tree plantation</i> . . .              | 87  |
| B. ŁYKOWSKI: Ocena warunków biometeorologicznych w wybranych typach pogody<br>w rejonie Ursynowa-SGGW<br><i>An evaluation of biometeorological conditions in selected weather types<br/>in the Ursynów-SGGW vicinity</i> . . . . .                | 97  |
| T. ROZBICKI: Ilościowa ocena wymiany węgla między wybranymi ekosystemami a atmosferą<br><i>Quantitative assessment of carbon exchange between some ecosystems and the atmosphere</i> . . .                                                        | 107 |
| M. BRZOZOWSKI: Kształtowanie się spływu powierzchniowego w świetle badań modelowych<br><i>Model study of surface runoff</i> . . . . .                                                                                                             | 115 |

## PRACE METODYCZNE

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| W. KOSIŃSKI: Próba zastosowania stacji pomiarowej Topcon do oceny treści<br>wysokościowej wielkoskalowych map sytuacyjno-wysokościowych przeznaczonych<br>dla potrzeb inżynierii środowiska. <i>The test of using the Topcon total station to estimate contour<br/>lines in large scale maps for the needs of environmental engineering</i> . . . . . | 127 |
| A. MUĆKA: Wyznaczanie średnich wartości opadu i temperatury dla zlewni o dużej deniwelacji<br>terenu przy wykorzystaniu techniki GIS. <i>Evaluation of a rainfall and temperature mean values<br/>for the watershed with change of level by the mean of GIS technique</i> . . . . .                                                                   | 133 |
| J. SZUKALSKI, K. KULICKI: Automatyczna stacja głębokiego oczyszczania wody<br><i>Automatical station for water deep purification</i> . . . . .                                                                                                                                                                                                        | 147 |
| J. WYSOCKI: Koncepcja metody „elektronicznego stolika” dla tworzenia in situ<br>numerycznego modelu terenu oraz map warstwicznych.. <i>The concept of the method<br/>of „electronic table” generation the in situ digital terrain model and contour maps</i> . . . . .                                                                                | 155 |
| W. WICHER, J. CHORMAŃSKI, S. IGNAR, I. KARDEL: Zastosowanie pakietu Idrisi<br>do wyznaczania stref potencjalnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych.<br><i>Idrisi Package application for determination of potential zones of surface water pollution risk</i> . . .                                                                               | 157 |
| P. WITTBRODT: Zastosowanie metody przemycania do oczyszczania gruntów<br>zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. <i>Application of washing process<br/>for remediation of petroleum contaminated soils</i> . . . . .                                                                                                                           | 165 |

## KRONIKA

|                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| E. J. KLADIVKO: Wykład inauguracyjny na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW<br>w Warszawie dnia 2 października 1995 r. . . . .                                                | 181 |
| T. BRANDYK, A. CIEPIEŁOWSKI, J. KUBRAK: O potrzebie utworzenia nowej<br>dyscypliny naukowej zgodnej z kierunkiem kształcenia na Wydziałach<br>Melioracji i Inżynierii Środowiska . . . . . | 187 |
| A. RADECKI-PAWLIK, T. ROZBICKI: Wybrane zagadnienia działalności naukowo-badawczej<br>Katedry Soil Sciences na Uniwersytecie British Columbia w Vancouver . . . . .                        | 191 |

---

#### ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Andrzej Ciepeliowski, Bonifacy Łykowski (przewodniczący), Mieczysław Połoiński

#### RECENZENCI

Tomasz Falkowski, Kazimierz Garbulewski, Czesław Grabarczyk, Stefan Ignar, Antoni Kegler, Wiesław Kosiński, Tadeusz Kośla, Janusz Kubrak, Bonifacy Łykowski, Romuald Madany, Józef Mosiej, Edward Pierzgalski, Tadeusz Siwiec, 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 prowadzący – Elżbieta Dyszkiewicz  
Redaktor techniczny – Krystyna Piotrowska  
Korektor – Jadwiga Rydzewska

ISBN 83-00-03143-X

Druk: P.P. EVAN, 02-629 Warszawa, ul. Pilicka 13, tel. 44-79-05



**Elżbieta BIERNACKA, Danuta JASIŃSKA**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment

## **Pierwiastki śladowe w glebach terenów antropogenicznych \***

### **Trace elements in soils on anthropogenic areas**

#### **Wstęp**

Gleba jest głównym ogniwem w powierzchniowym obiegu pierwiastków chemicznych, a zarazem wyjściowym i podstawowym elementem w łańcuchu troficznym: gleba – roślina – zwierzę – człowiek. Wszystkie drastyczne zmiany w chemicznym składzie oraz w odczynie i warunkach oksydacyjno-redukcyjnych gleby zmieniają jej właściwości biologiczne i ograniczają naturalną funkcję w biosferze. Zmiany w chemicznym składzie gleby oddziałują bezpośrednio na rośliny, a pośrednio (częściowo także i bezpośrednio w postaci pyłu glebowego) na człowieka i zwierzęta. Wpływ pierwiastków śladowych jest znaczny, ponieważ organizmy reagują silnie zarówno na ich niedobór, jak i nadmiar oraz na zachwianie ich wzajemnej proporcji. Ostatnio znacznie nasiliło się zjawisko chemi-

cznego zanieczyszczenia gleb. Szczególnie niebezpieczny jest proces nagromadzenia się kationowych pierwiastków śladowych (Kabata-Pendias 1995).

Celem badań było oznaczenie pierwiastków śladowych (As, Cd, Pb, Ni, Se, Cu, Zn, Mn) w glebach terenów antropogenicznych.

#### **Materiał i metodyka badań**

Badaniami objęto gleby z terenów województwa łódzkiego, Roztocza oraz województwa katowickiego – z obszaru przyległego do Huty Katowice. Województwo łódzkie i Roztocze uznaje się jako obszary naturalne nie będące pod silnym wpływem antropogeniczacji. Województwo katowickie z obszaru przyległego do Huty Katowice uważane jest za silnie antropogeniczne.

---

\* Grant KBN 50102080027

Województwo łomżyńskie jest rolniczo-przemysłowe. Dominującym działem gospodarki jest rolnictwo. Teren ten zaliczany jest do „zielonych płuc Polski”.

Roztocze znajduje się na terenie województwa zamojskiego, w jego południowej części. Tereny parków (Roztoczańskiego Parku Narodowego i krajozbrazowych) wraz z otulinami tworzą duży kompleks ochronny całego Roztocza. RPN leży w centrum obszaru objętego różnymi formami ochrony.

Województwo katowickie jest silnie uprzemysłowione. Użytki rolne zajmują 54,6% ogółu powierzchni województwa, mimo jego przemysłowego charakteru. Jednym z najistotniejszych problemów rolnictwa w województwie katowickim jest podwyższona zawartość metali ciężkich w glebie. Wynika to z zanieczyszczeń pyłowych, emitowanych z hutnictwa metali nieżelaznych, hutnictwa żelaza i energetyki.

Próby glebowe pobierano z głębokości 0,00–0,10 m; 0,10–0,20 m; 0,20–0,40 m. W materiale glebowym oznaczono: skład granulometryczny, kwasowość czynną (pH H<sub>2</sub>O, pH 1n KCl) i skład chemiczny. Skład granulometryczny oznaczono metodą areometryczną Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego. Kwasowość czynną pH (w H<sub>2</sub>O i 1n KCl) oznaczono za pomocą pehametru, przy użyciu elektrody szklanej.

W celu oznaczenia pierwiastków śladowych w badanych glebach przeprowadzono ekstrakcję w 1 M (molarnym) kwasie azotowym (HNO<sub>3</sub>). Ołów i kadm oznaczono na aparacie AA-SCAN 1 metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej ze wzbudzeniem elektrotermicznym GF

AAS. Selen oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej z generacją wodoru HG AAS na aparacie PERKIN ELMER 4100 ZL z przystawką FIAS 100.

Pozostałe pierwiastki chemiczne: arsen, miedź, mangan, nikiel, cynk wyznaczono w analizie AES-ICP (spektrometria emisyjna z plazmą indukowaną). W metodzie tej wykorzystano trzy różne linie widma emisyjnego polecane do oznaczeń danego pierwiastka. Dla każdej z nich pomiar wykonano trzykrotnie. Z pomiarów dla każdej linii wyznaczona została średnia arytmetyczna i odchylenie standardowe. W tabeli wyników podana została mediana ze średnich ze wszystkich linii oznaczanego pierwiastka. Dla stężeń wyższych od granicy oznaczalności względne odchylenie standardowe pomiarów dla poszczególnych linii nie przekracza 5%.

Miejsce poboru prób glebowych oznaczono na schematycznych mapach.

## Omówienie wyników badań

Zmiany wyniku oddziaływania czynników antropogenicznych na gleby terenów województwa łomżyńskiego i Roztocza oraz z województwa katowickiego z obszaru przyległego do Huty Katowice przedstawia analiza występowania pierwiastków śladowych.

**Arsen i nikiel.** Przy zastosowaniu do ekstrakowania gleby roztworu 1M kwasu azotowego (HNO<sub>3</sub>) zawartość arsenu znajduje się na poziomie wartości tła ( $\leq 1$ ). Podobnie jest w przypadku niklu ( $\leq 0,2$ ). Arsen wprowadzany jest do gleby wraz z

nawozami fosforowymi ( $2\text{--}1200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i nawozami azotowymi ( $2,2\text{--}120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) (za Kabatą-Pendias i Pendias 1993). Według tych autorów zakres średnich wartości arsenu waha się od  $0,2\text{--}16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najwyższe stężenie tego pierwiastka przypada na ogół na gleby o dużej zawartości frakcji ilastej oraz na gleby organiczne.

Duża koncentracja niklu występuje w otoczeniu hut:  $5,3\text{--}86,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Motowicka-Terelak, Terelak 1995);  $0,01\text{--}75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Siutą 1995). Zakres średniej zawartości niklu w powierzchniowych poziomach gleb wynosi  $4\text{--}50 \text{ ppm}$ , najmniejsze stężenia przypada na lekkie gleby piaszczyste (śr.  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), a większe na gleby gliniaste (śr.  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) (za Kabatą-Pendias i Pendias 1993).

**Kadm.** Występowanie kadmu na terenach nie podlegających silnej antropogenizacji charakteryzuje się podwyższoną jego zawartością – zakres wahań  $1,4\text{--}3,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Na Roztoczu wartości te są znacznie wyższe i wynoszą  $2,0\text{--}8,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W rejonie wokół Huty Katowice wartości te są również bardzo wysokie. Największe stężenie osiąga wartość  $64,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (piasek luźny). Najniższa wartość tego pierwiastka jest  $1,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (piasek luźny) (tab. 2, rys. 1). Według Kabaty-Pendias i Pendiasa (1993) duże stężenia tego pierwiastka występują także w piaskach gliniastych, powyżej  $23,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zakres jego średnich zawartości w powierzchniowych poziomach gleb Polski wynosi  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

W rejonie Huty Katowice (Dąbrowa Górnicza) zawartość kadmu przedstawia

się następująco:  $1\text{--}17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Siutą 1995). Pierwiastek ten na terenach rolniczych wprowadzany jest do gleby wraz z środkami ochrony roślin, np. pestycydami (badania wykazały, że np. w ogrodnictwie, przy średniej zawartości kadmu w glebie  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , po zastosowaniu środków ochrony roślin wartość ta wzrosła do  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), stwierdza to Zalewski (1995), z nawozami fosforowymi – Cd  $0,1\text{--}170 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ , nawozami azotowymi i obornikiem (za Kabatą-Pendias i Pendias 1993).

**Ołów.** Zawartość ołowiu w badanych glebach województwa łomżyńskiego przedstawia się podobnie jak w przypadku kadmu. Zakres wahań występowania ołowiu na tym terenie przedstawia się następująco: od  $40,0$  do  $116,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Na Roztoczu najwyższe stężenie tego pierwiastka osiąga wartość  $532,0 \text{ ppm}$ . Najniższa ( $88,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), jak i najwyższa wartość występuje na piasku luźnym. Natomiast próby z terenów wokół Huty Katowice przyjmowały wartości  $204,0\text{--}2064,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 2, rys. 1).

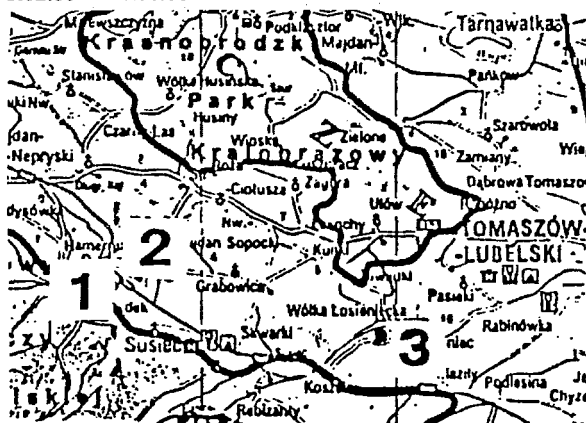
Jako „tło” geochemiczne dla ołowiu w glebach przyjęto przedział  $25\text{--}40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Średnia naturalna zawartość dla gleb Polski wynosi  $18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zawartość ołowiu w glebach piaszczystych na terenie Polski wynosi średnio  $16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w glebach pyłowych  $26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w glebach gliniastych  $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Kabatą-Pendias i Pendiasem 1993).

W rejonie Huty Katowice (Dąbrowa Górnicza) zawartość ołowiu przedstawia się następująco:  $10\text{--}890 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Siutą 1995). Według Kabaty-Pendias, Pendias (1993) zawartość ołowiu w zanieczyszczonych glebach Polski w

## Województwo łomżyńskie – Province łomżyńskie



## Roztocze – Roztocze



Mapa 1. Miejsce poboru prób glebowych  
Map 1. Place of soil sampling

## Objaśnienia do mapy

Województwo łomżyńskie:

- 1 – Kalinowo „1”, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 2 – Kalinowo „2”, głębokość poboru 0,20–0,40 m,
- 3 – Łomża, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 4 – Łomża, głębokość poboru 0,20–0,40 m,
- 5 – Drozdowo „1”, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 6 – Drozdowo „2”, głębokość poboru 0,20–0,40 m,
- 7 – Kalinowo „1a”, głębokość poboru 0,01–0,20 m,

Teren wokół Huty Katowice

- 1 – Trawnik 50 m na zachód od bramy głównej, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 2 – Trawnik 50 m na południowy zachód od bramy głównej, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 3a – 1,5 km na północ od bramy głównej, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 3b – 1,5 km na północ od bramy głównej, głębokość poboru 0,20–0,40 m,
- 4a – Ul. W. Rożdżeńskiego przy bramie rozdzielni, głębokość poboru 0,00–0,10 m,
- 4b – Ul. W. Rożdżeńskiego przy bramie rozdzielni, głębokość poboru 0,10–0,20 m,
- 5a – Ul. Gołonowska – na skarpie, głębokość poboru 0,00–0,10 m,

## Rejon wokół Huty Katowice – Region around Huta Katowice



- 5b – Ul. Gołonowska – na skarpie, głębokość poboru 0,10–0,20 m,
- 6 – Na brzegu Zbiornik Łosień – teren przy hucie, głębokość poboru 0,00–0,10 m,
- 7 – Taśmociąg na przeciwko bramy głównej, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 8 – Na południowy wschód od huty ul. Świerczyna, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 9 – Huta Katowice ul. Torowa k/osadników, głębokość poboru 0,00–0,10 m,
- 10a – Ul. Torowa, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 10b – Ul. Torowa, głębokość poboru 0,20–0,40 m,
- 11 – Ul. J. Kusocińskiego przy Wschodniej Obwodnicy GOP, głębokość poboru 0,10–0,20 m,
- Roztocze
- 1 – Łąki nad Tanwią w Hamerni, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 2 – Łąka Hamernia, głębokość poboru 0,00–0,20 m,
- 3 – Wólka Łosienicka k/Suśca, głębokość poboru 0,00–0,20 m,

TABELA 1. Właściwości fizyczno-chemiczne badanych gleb  
TABLE 1. Physical-chemical properties of soils

| Numer próby<br>Sample number                            | Grupa mechaniczna<br>Mechanic group                       | Oznaczenie pH –<br>pH identification |           |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
|                                                         |                                                           | pH H <sub>2</sub> O                  | pH 1n KCl |
| Województwo łomżyńskie – Łomża province                 |                                                           |                                      |           |
| 1                                                       | piasek gliniasty mocno pylasty – heavy dusty clayish sand | 6,92                                 | 6,33      |
| 2                                                       | piasek gliniasty mocny – heavy clayish sand               | 7,20                                 | 6,54      |
| 3                                                       | piasek gliniasty lekki – light clayish sand               | 7,56                                 | 7,10      |
| 4                                                       | piasek gliniasty mocno pylasty – heavy dusty clayish sand | 7,51                                 | 7,00      |
| 5                                                       | piasek luźny – loose sand                                 | 6,74                                 | 6,24      |
| 6                                                       | piasek luźny – loose sand                                 | 6,64                                 | 6,08      |
| 7                                                       | piasek gliniasty mocno pylasty – heavy dusty clayish sand | 7,26                                 | 6,86      |
| Rejon wokół Huty Katowice – Region around Huta Katowice |                                                           |                                      |           |
| 1                                                       | piasek słabo gliniasty – light clayish sand               | 7,62                                 | 7,20      |
| 2                                                       | piasek gliniasty mocny – heavy clayish sand               | 7,80                                 | 7,42      |
| 3a                                                      | piasek gliniasty lekki – light clayish sand               | 7,82                                 | 7,57      |
| 3b                                                      | piasek luźny – loose sand                                 | 7,88                                 | 7,65      |
| 4a                                                      | piasek luźny – loose sand                                 | 7,89                                 | 7,48      |
| 4b                                                      | piasek luźny – loose sand                                 | 7,84                                 | 7,50      |
| 5a                                                      | głina średnia – medium clay                               | 7,34                                 | 7,28      |
| 5b                                                      | głina ciężka – heavy clay                                 | 7,90                                 | 7,59      |
| 6                                                       | piasek słabo gliniasty – light clay sand                  | 7,39                                 | 7,13      |
| 7                                                       | piasek gliniasty lekki – light clay sand                  | 7,65                                 | 7,29      |
| 8                                                       | piasek gliniasty mocny – heavy clayish sand               | 7,15                                 | 6,88      |
| 9                                                       | piasek słabo gliniasty – light clayish sand               | 7,82                                 | 7,75      |
| 10a                                                     | piasek luźny – loose sand                                 | 7,77                                 | 7,37      |
| 10b                                                     | piasek słabo gliniasty – light clayish sand               | 7,47                                 | 7,19      |
| 11                                                      | piasek gliniasty lekki – light clayish sand               | 5,60                                 | 4,80      |
| Roztocze – Roztocze                                     |                                                           |                                      |           |
| 1                                                       | piasek luźny – loose sand                                 | 5,75                                 | 4,25      |
| 2                                                       | piasek luźny – loose sand                                 | 5,22                                 | 4,09      |
| 3                                                       | piasek słabo gliniasty – light clayish sand               | 4,69                                 | 3,66      |

wyniku oddziaływania hutnictwa i przemysłu metalurgicznego zawiera się w przedziale 770–12 750 mg · kg<sup>-1</sup>. Pierwiastek ten na terenach rolniczych wprowadzany jest do gleby wraz ze środkami ochrony roślin, np. pestycydy (badania wykazały, że w ogrodnictwie przy średniej zawartości ołowiu w glebie 30 mg · kg<sup>-1</sup>, po zastosowaniu środków ochrony roślin wartość ta wzrosła do 165 mg ·

· kg<sup>-1</sup>) według Zalewskiego (1995), z nawozami fosforowymi zaś 7–225 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. (Kabata-Pendias i Pendias 1993).

**Cynk.** Cynk na terenach w rejonie Huty Katowice osiąga wartość 446,0 mg · kg<sup>-1</sup> (piasek luźny). Na terenach naturalnych zawartości Zn są zbliżone. Gleby w województwie łomżyńskim zawierają tego pierwiastka mniej (6,6–16,8 mg ·



TABELA 2. Zawartość Cd, Pb, Se, Cu, Zn, Mn w badanych glebach  
TABLE 2. Content of Cd., Pb, Se, Cu, Zn, Mn in the soils

| Numer próby<br>Sample<br>number                         | Cd   | Pb   | Se    | Cu   | Zn    | Mn    |
|---------------------------------------------------------|------|------|-------|------|-------|-------|
| [mg · kg <sup>-1</sup> ]                                |      |      |       |      |       |       |
| Województwo łomżyńskie – Łomża province                 |      |      |       |      |       |       |
| 1                                                       | 3,2  | 102  | 0,164 | 5,4  | 10,8  | 186,2 |
| 2                                                       | 2,4  | 74   | 0,368 | 5,8  | 9     | 141,8 |
| 3                                                       | 2,4  | 124  | 0,108 | 9,8  | 16,8  | 129,6 |
| 4                                                       | 2    | 116  | 1,57  | 8,2  | 12,4  | 108,4 |
| 5                                                       | 2    | 68   | 0,16  | 2,8  | 11,2  | 168,4 |
| 6                                                       | 1,4  | 40   | 0,172 | 3,6  | 6,6   | 69,2  |
| 7                                                       | 3,2  | 100  | 0,182 | 8,2  | 14,8  | 260   |
| Rejon wokół Huty Katowice – Region around Huta Katowice |      |      |       |      |       |       |
| 1                                                       | 25,2 | 1504 | 0,1   | 6,8  | 89,4  | 152,8 |
| 2                                                       | 9,2  | 912  | 0,09  | 4,2  | 71,8  | 127,6 |
| 3a                                                      | 8,8  | 656  | 0,288 | 3,2  | 85,4  | 61    |
| 3b                                                      | 1,4  | 592  | 0,15  | 1,4  | 54,4  | 44,2  |
| 4a                                                      | 4,6  | 454  | 0,62  | 3,4  | 21,2  | 28,2  |
| 4b                                                      | 3,8  | 204  | 0,582 | 1,8  | 15,6  | 17    |
| 5a                                                      | 28,8 | 800  | 0,158 | 8,4  | 94,4  | 310   |
| 5b                                                      | 6,6  | 240  |       | 10,6 | 24,6  | 246   |
| 6                                                       | 23,2 | 1064 | 0,818 | 7,8  | 152,2 | 728   |
| 7                                                       | 8    | 1568 | 0,116 | 8,8  | 88,4  | 290   |
| 8                                                       | 54,8 | 1568 | 0,076 | 9,8  | 134   | 284   |
| 9                                                       | 20   | 392  | 0,06  | 6,6  | 48,8  | 308   |
| 10a                                                     | 64   | 1736 | 0,16  | 5,8  | 446   | 206   |
| 10b                                                     | 32,4 | 2064 | 0,598 | 4,6  | 132   | 73,6  |
| 11                                                      | 44,8 | 608  | 0,068 | 2,2  | 25,6  | 2,4   |
| Roztocze – Roztocze                                     |      |      |       |      |       |       |
| 1                                                       | 8    | 532  | 0,194 | 15,4 | 30    | 155   |
| 2                                                       | 3,2  | 88   | 0,16  | 1,8  | 13,2  | 51    |
| 3                                                       | 2    | 122  | 0,108 | 4,8  | 12,4  | 113,6 |

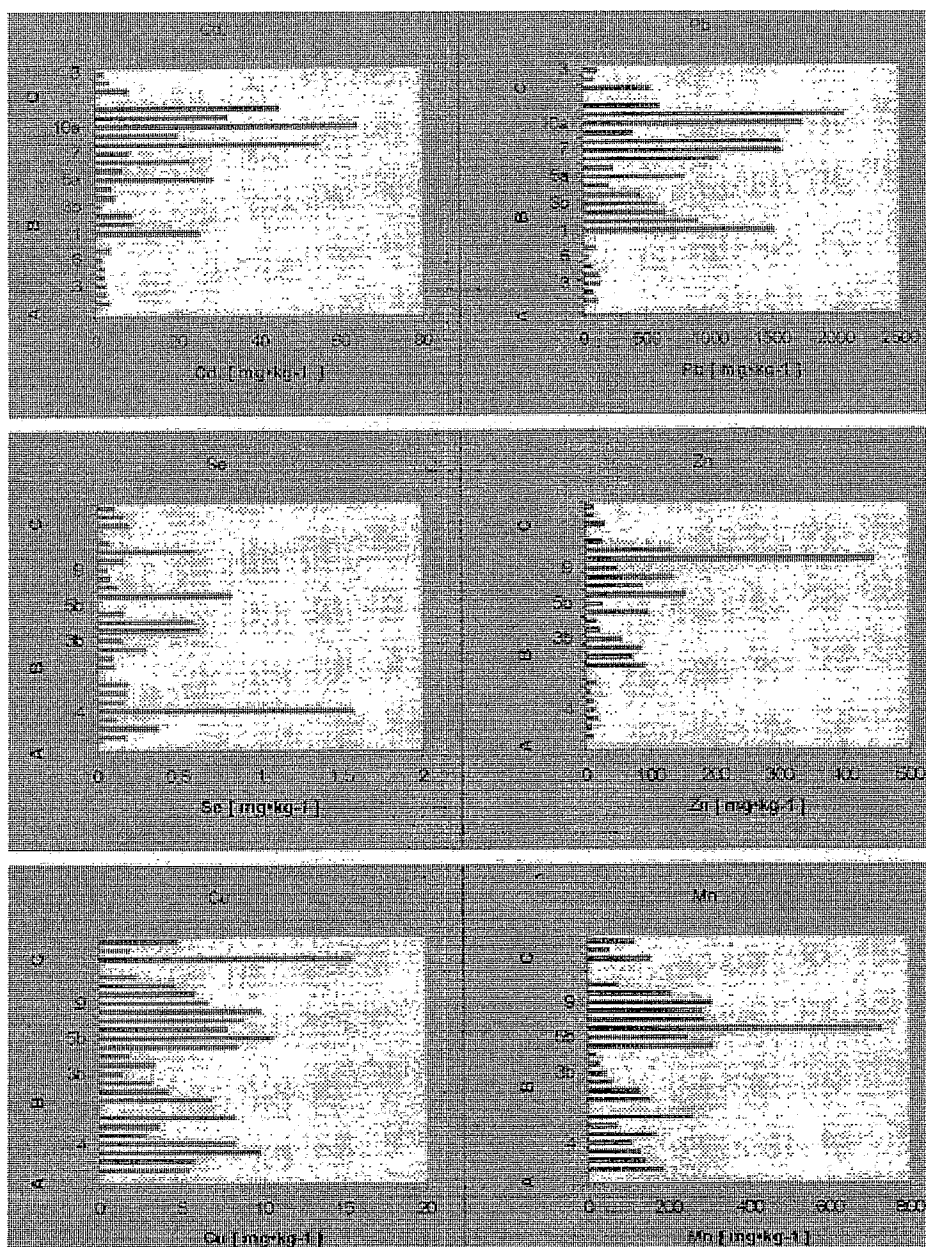
· kg<sup>-1</sup>) niż gleby na Roztoczu (12,4–30,0 mg · kg<sup>-1</sup>) (tab. 2, rys. 1).

Według Kabaty-Pendias i Pendiasa (1993) w powierzchniowych poziomach gleb Polski zawartość cynku zawiera się od 30 do 125 mg · kg<sup>-1</sup>.

W rejonie Huty Katowice (Dąbrowa Górnicza) zawartość cynku przedstawia się następująco: 37–3820 mg · kg<sup>-1</sup> (za Siutą 1995). Pierwiastek ten na terenach rolniczych wprowadzany jest do gleby

wraz z nawozami fosforanowymi 50–1450 mg · kg<sup>-1</sup> s.m., nawozami azotowymi i obornikiem (za Kabatą-Pendias i Pendiasem 1993).

**Selen.** Najwyższa zawartość selenu w badanych glebach występuje w województwie łomżyńskim i osiąga wartość 1,57 mg · kg<sup>-1</sup> – piasek gliniasty mocno pylasty. Najniższa zaś wartość wynosi 0,108 mg · kg<sup>-1</sup> – piasek gliniasty lekki. Na Roztoczu zawartość selenu nie prze-



Rys. 1. Zawartość Cd, Pb, Se, Cu, Zn, Mn w badanych glebach

Fig. 1. Content of Cd, Pb, Se, Cu, Zn, Mn in the soils

A – województwo łomżyńskie – Łomża province

B – rejon wokół Huty Katowice – Region around Huta Katowice

C – Roztocze – Roztocze

kracza  $0,194 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najniższa wartość tego pierwiastka jest taka sama jak w województwie łomżyńskim. Na terenie wokół Huty Katowice zawartość tego metalu waha się w przedziale od  $0,06$  do  $0,818 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 2, rys. 1).

Gleby piaszczyste wykazują na ogół mniejsze ilości selenu  $0,06\text{--}0,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Kabatą-Pendias i Pendiasem 1993). Występowanie selenu w glebach jest przedmiotem specjalnych badań ze względu na jego niedobory dla człowieka i zwierząt, na co wskazują warunki glebowe i klimatyczne Polski. Większe ilości selenu zawierają gleby w pobliżu morza, do których odprowadzany jest głównie z opadami atmosferycznymi. Antropogeniczne źródła selenu pochodzą przede wszystkim ze spalania węgla oraz z niektórych odpadów bytowych. (Kabatą-Pendias 1994).

**Mangan.** Najwyższa zawartość tego pierwiastka w badanych glebach występuje na terenie wokół Huty Katowice i wynosi  $728,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (piasek słabo gliniasty), a najniższa wartość  $2,4$  (piasek gliniasty lekki, pH 5,6). Na terenie województwa łomżyńskiego zakres wahań tego pierwiastka jest od  $69,2$  do  $260,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Na Roztoczu zawartość tego pierwiastka występuje na poziomie od  $51,0$  do  $155,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 2, rys. 1).

Całkowita zawartość manganu w glebach wykazuje bardzo duże wahania. Na głębokości  $0\text{--}15 \text{ cm}$  stwierdzono  $37\text{--}1100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebach piaszczystych oraz  $281\text{--}1380 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebach gliniastych i pyłowych (za Siutą 1995). Gleby piaszczyste są uboższe w ten metal od gliniastych, a gleby mineralne od organicznych. Średnia zawartość dla różnych rodzajów i typów wynosi:  $100\text{--}$

$1300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Kabatą-Pendias, Pendiasem 1993).

**Miedź.** Najniższa zawartość tego pierwiastka w badanych glebach jest  $1,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najwyższa  $15,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W glebach województwa łomżyńskiego najwyższa zawartość miedzi to  $9,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (piasek gliniasty lekki), a najniższa  $2,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (piasek luźny). Na Roztoczu zakres występowania miedzi wynosi  $1,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (najwyższa wartość  $15,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  – piasek luźny, najniższa wartość  $1,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  – piasek luźny). Najwyższa zawartość miedzi na terenie wokół Huty Katowice jest nieznacznie niższa niż w województwie łomżyńskim i wynosi  $10,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (głina ciężka). Najniższa zawartość Cu na terenie o silnym wpływie antropogenizacji jest  $1,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (piasek luźny, głębokość  $0,20\text{--}0,40 \text{ m}$ ) (tab. 2, rys. 1).

Według IUNG (za Siutą 1995) zawartość miedzi w województwie katowickim wynosi:  $0,01\text{--}250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w bliskim otoczeniu huty Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego:  $25\text{--}9800 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Motowicką Terelak, Terelakiem 1995). Miedź wprowadzana jest także do gleby wraz z nawozami: fosforowymi  $1\text{--}300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., azotowymi  $< 1\text{--}15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., obornikiem  $2\text{--}60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.

Całkowita zawartość tego pierwiastka w glebach zawiera się w przedziale  $1\text{--}140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , średnia natomiast wskazuje na ścisłe powiązanie z rodzajem lub typem gleby. W Polsce najniższa średnia zawartość w piaszczystych glebach bielcowych wynosi  $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w pyłowych –  $19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (za Kabatą-Pendias i Pendiasem 1993).

## Wnioski

1. Na badanych terenach województwa łomżyńskiego i Roztocza występuje przekroczenie wartości tła dla kadmu, ołowiu i seleniu, lecz nie są przekroczone wartości uznawane za dopuszczalne dla gleb użytkowanych rolniczo.

2. Na terenie wokół Huty Katowice następuje przekroczenie wartości tła i dopuszczalnych dla gleb użytkowanych rolniczo w stosunku Cd, Pb, Zn. Jest to teren bardzo silnie uprzemysłowiony, gdzie podwyższona zawartość metali ciężkich powoduje, że gleby z okolic Huty Katowice są nieprzydatne do wykorzystania w rolnictwie.

3. Gleby ulegają zanieczyszczeniu pod wpływem czynników antropogenicznych na całym obszarze Polski, ale nasilenie tego czynnika bywa różne. Gleby mogą znajdować się na terenach o słabym lub silnym wpływie antropogenizacji, co powoduje różnicowany stopień zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi. Województwo łomżyńskie (wpływ rolnictwa) i Roztocze (zanieczyszczenie pyłami z powietrza atmosferycznego) odznaczają się niskim współczynnikiem działalności człowieka pod względem nagromadzenia się metali ciężkich. Natomiast teren wokół Huty Katowice (wpływ przemysłu) odznacza się silnym oddziaływaniem czynnika antropogenicznego.

## Literatura

- KABATA-PENDIAS A. 1994: *Biogeochemia arsenu i seleniu*. PAN, Zeszyty Naukowe 8; 9–17. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. 1995: *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb*. PIOŚ Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H. 1995: *Obszary ekologicznego zagrożenia gleb w Polsce w wyniku oddziaływania czynników antropogenicznych*. Zeszyty Problemy Postępu Nauk Rolniczych, z. 422; 43–54. Warszawa.
- SIUTA J. 1995: *Gleba – stan i diagnozowanie*. IOŚ, Warszawa.
- ZAŁEWSKI W. 1995: *Problemy ochrony środowiska*. Wyd. WSRP Siedlce.

## Summary

**Trace elements in soils on anthropogenic areas.** Contents of Cd, Pb, Se, Cu, Zn, Mn in the soil samples were identified. They came from natural grounds: Łomża province and Roztocze. Some grounds are under a strong anthropogenic influence: the Katowice province (Huta Katowice region).

On the study grounds of the Łomża province (Cd 1,4–3,2; Pb 40–124; Se 0,108–0,368 mg · kg<sup>-1</sup>) and Roztocze (Cd 2–8; Pb 88–532; Se 0,108–0,194 mg · kg<sup>-1</sup>) there are excessive background values of cadmium, lead and selenium. There are not excessive values admitted as a tolerance does in soils used for farming purposes.

On the grounds around the Huta Katowice there are excessive background values as a tolerance use in the soils used for farming purposes Cd (1,4–64 mg · kg<sup>-1</sup>), Pb (204–2064 mg · kg<sup>-1</sup>), Zn (15,6–446 mg · kg<sup>-1</sup>). The soils from the Huta Katowice region are useless for farming purposes. This ground is heavily industrialised and there is arising contents of heavy metals.

### Authors' address:

E. Biernacka, D. Jasińska  
Warszawa Agricultural University – SGGW  
02–787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Elżbieta BIERNACKA, Marcin WÓJCIK**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment

## **Wpływ antropogenizacji środowiska na zawartość Zn, Pb, Cd w roślinności trawiastej\***

### **The manmade influence of the environment on the anthropogenization contents of Zn Pb Cd in grass plants\***

#### **Wstęp**

Metale ciężkie należą do tych pierwiastków chemicznych, które są najmniej znane w środowisku przyrodniczym, ale ich występowanie i bioakumulacja może być ogromnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego i prawidłowego łańcucha troficznego. Na niebezpiecznie podwyższone zawartości metali ciężkich narażone są szczególnie rośliny pochodzące z terenów silnie zantropogenizowanych (Karaczun 1996).

Celem badań było określenie wpływu antropogenizacji środowiska na zawartość Zn, Pb, Cd w roślinności trawiastej.

#### **Materiał i metodyka badań**

Badaniami objęto roślinność trawiastą z terenu województw: łomżyńskiego, katowickiego z obszaru przyległego do

Huty Katowice, a także Roztocza. Pobrano próbki roślinne: z Roztocza, Łomży i z rejonu Huty Katowice. Wybrano odległe geograficznie obszary kraju o różnym stopniu narażenia na antropogenizację. Rejony Łomży i Roztocza uważane są za naturalne przyrodniczo, rejon Huty Katowice zaś za obszar będący pod silnym wpływem antropogenizacji.

Ołów i kadm oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) w aparacie firmy Thermo Jarrell Ash Corporation model SCAN 1, techniką atomizacji elektrotermicznej w kuwecie grafitowej (Koirtzohann i in. 1981).

Cynk metodą spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie wzbudzoną ICP-AES w aparacie firmy Thermo Jarrell Ash model: ATOM SCAN 25. W analizie metodą ICP-AES wykorzystywano trzy różne linie widma emisyjnego polecane do oznaczeń danego pierwia-

---

\* Grant KBN 50102080027

stka (Dickenson i Fassel 1969). Dla każdej z nich pomiar wykonywano trzykrotnie. Z pomiarów wyznaczona została średnia arytmetyczna i odchylenie standardowe. Tabele z wynikami zawierają mediany ze średnich dla wszystkich linii oznaczanego pierwiastka. Dla stężeń wyższych od granicy oznaczalności względne odchylenie standardowe pomiarów nie przekracza 5%.

W celu porównania i analizy otrzymanych wyników wyznaczono: wartość średnią zawartości danego pierwiastka w próbkach roślinności trawiastej występującej w każdym z trzech rejonów geograficznych oraz odpowiednie współczynniki zmienności.

Dla empirycznego rozkładu zmiennej losowej, zdefiniowanej jako zawartość danego pierwiastka w próbkach roślinności trawiastej wartość średnia zdefiniowana jest następująco:

$$x_0 = \frac{\sum_{j=1}^J x_j}{J}$$

gdzie  $x_j$  oznacza zawartość pierwiastka wyznaczoną w  $j$ -tej próbce oraz  $J$  jest całkowitą liczbą prób wykonanych na danym obszarze geograficznym.

Dla umożliwienia bezpośredniego porównywania miar rozproszenia otrzymanych szeregów wartości zastosowano współczynniki zmienności zdefiniowane jako stosunek odchylenia standardowego do odpowiedniej wartości średniej:

$$R = \frac{\sqrt{\frac{1}{J} \left( \sum_{j=1}^J (x_j - x_0)^2 \right)}}{x_0}$$

Współczynniki zmienności, wyrażone w procentach, są względną miarą rozproszenia, którą należy stosować wtedy, gdy badane zjawisko mierzone jest w różnych jednostkach miary lub kształtuje się na niejednakowym poziomie przeciętnym (Krzysztofiak i Luszczewicz 1976).

## Wyniki badań i dyskusja

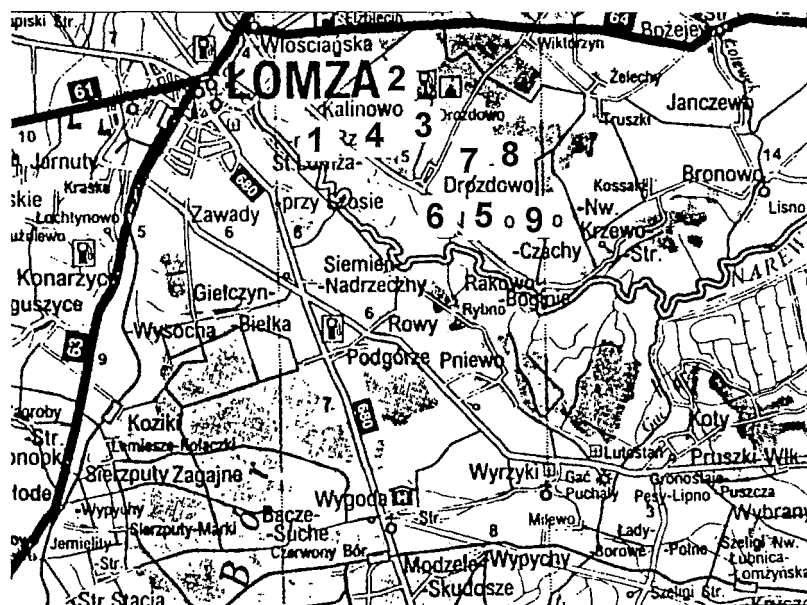
Skład chemiczny roślinności trawiastej zamieszczony jest w tabelach 1, 2, 3 i przedstawiony graficznie na rysunkach 1, 2, 3. Wartości średnie i współczynniki zmienności prezentowane są w tabelach 4, 5. Miejsca poboru próbek przedstawione są na mapach 1, 2, 3.

Analiza wyników eksperymentalnych uzyskanych dla próbek roślinności trawiastej z rejonu Roztocza wskazuje, że: średnia zawartość cynku wynosi  $77,16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab.). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość 25,70% (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość cynku wynosi  $97,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) i minimalna zawartość cynku  $43,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) wyznaczają obszar zmienności równy  $53,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Średnia zawartość kadmu wynosi  $0,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość 54,80% (tab. 5). Maksymalna zmierzona



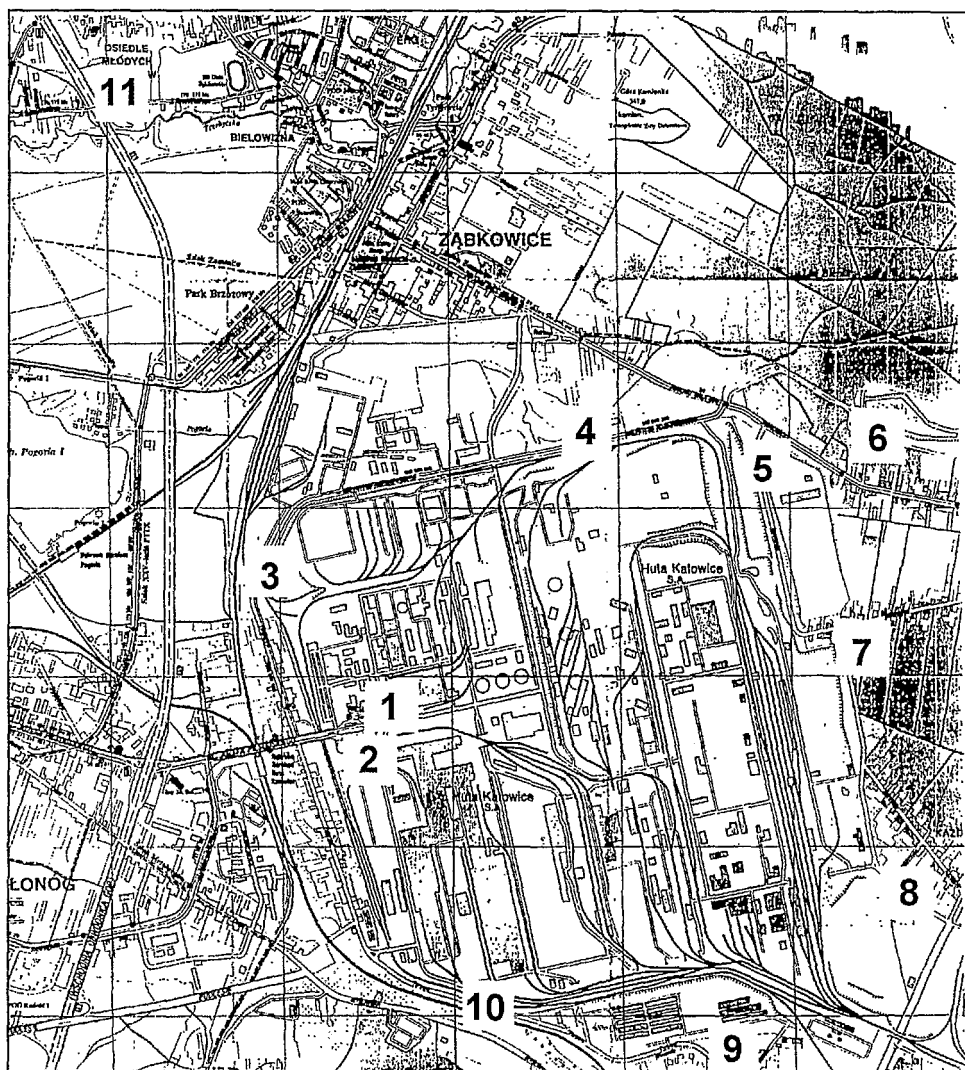
Mapa 1. Miejsca poboru próbek z rejonu Roztocza

Map 1. The places of sample collection from the region of Roztocze



Mapa 2. Miejsca poboru próbek z rejonu Łomży

Map 2. The places of sample collection from the region of Łomża



Mapa 3. Miejsca poboru próbek z rejonu Huty Katowice

Map 3. The places of sample collection from the region of Huta Katowice



TABELA 1. Zawartość Cd, Pb, Zn w trawach z rejonu Roztocza  
TABLE 1. The contents of Cd, Pb, Zn in grasses from the region of Roztocze

| Nr próby<br>Sample<br>No | Miejsce pobrania*<br>Location of sample | Cd    | Pb                                                      | Zn    |
|--------------------------|-----------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------|-------|
|                          |                                         |       | mg · kg <sup>-1</sup> s.m.<br>mg · kg <sup>-1</sup> d.m |       |
| 1                        | Wólka Łosieniecka                       | 0,130 | 6,27                                                    | 97,0  |
| 2                        | Hamernia 1                              | 0,380 | 4,82                                                    | 43,50 |
| 3                        | Hamernia 2                              | 0,292 | 5,17                                                    | 91,0  |

\*Miejsca pobrania próbek zaznaczono na mapie 1.  
The places of sample collection pointed out on the map 1.

TABELA 2. Zawartość Cd, Pb, Zn w trawach z rejonu Łomży  
TABLE 2. The contents of Cd, Pb Zn in grasses from the region of Łomża

| Nr próby<br>Sample<br>No | Miejsce pobrania*<br>Location of sample | Cd    | Pb                                                      | Zn    |
|--------------------------|-----------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------|-------|
|                          |                                         |       | mg · kg <sup>-1</sup> s.m.<br>mg · kg <sup>-1</sup> d.m |       |
| 1                        | Kalinowo 1                              | 0,072 | 3,70                                                    | 39,50 |
| 2                        | Kalinowo 2                              | 0,037 | 1,33                                                    | 35,50 |
| 3                        | Kalinowo 3                              | 0,029 | 0,75                                                    | 32,0  |
| 4                        | Kalinowo 4                              | 0,007 | 0,78                                                    | 20,50 |
| 5                        | Drozdowo 1                              | 0,058 | 1,14                                                    | 53,50 |
| 6                        | Drozdowo 2                              | 0,059 | 0,53                                                    | 29,0  |
| 7                        | Drozdowo 3                              | 0,040 | 1,68                                                    | 37,0  |
| 8                        | Drozdowo 4                              | 0,017 | 1,56                                                    | 37,0  |
| 9                        | Drozdowo 5                              | 0,040 | 5,43                                                    | 270,0 |

\*Miejsca pobrania próbek zaznaczono na mapie 2.  
The places of sample collection pointed out on the map 2.

TABELA 3. Zawartość Cd, Pb, Zn w trawach z rejonu Huty Katowice  
TABLE 3. The contents of Cd, Pb, Zn in grasses from the region of Huta Katowice

| Nr próby<br>Sample<br>No | Miejsce pobrania*<br>Location of sample   | Kierunek<br>wg róży wiatrów<br>Direction<br>dy wind rose | Cd                    | Pb                    | Zn    |
|--------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|                          |                                           |                                                          |                       |                       |       |
|                          |                                           |                                                          | mg · kg <sup>-1</sup> | mg · kg <sup>-1</sup> | s.m.  |
|                          |                                           |                                                          | mg · kg <sup>-1</sup> | mg · kg <sup>-1</sup> | d.m   |
| 1                        | Huta Katowice, 50 m od bramy głównej      | W                                                        | 0,398                 | 13,8                  | 116,5 |
| 2                        | Huta Katowice, 50 m od bramy głównej      | S-W                                                      | 0,233                 | 11,5                  | 137,5 |
| 3                        | Huta Katowice, 1,5 m od bramy głównej     | N                                                        | 0,120                 | 13,0                  | 47,0  |
| 4                        | Huta Katowice, ul. Roździeńskiego – brama | N                                                        | 0,223                 | 15,0                  | 41,0  |
| 5                        | Huta Katowice, ul. Gołonowska na skarpie  | E                                                        | 0,402                 | 12,4                  | 63,0  |
| 6                        | Huta Katowice, Zbiornik Łosień            | W                                                        | 0,685                 | 14,0                  | 73,0  |
| 7                        | Huta Katowice, Taśmociąg                  | S-E                                                      | 0,364                 | 34,6                  | 119,5 |
| 8                        | Huta Katowice, ul. Świerczyna             | S-E                                                      | 0,208                 | 31,6                  | 81,50 |
| 9                        | Huta Katowice, ul. Torowa Osadnik         | W                                                        | 0,382                 | 15,6                  | 64,0  |
| 10                       | Huta Katowice, ul. Torowa                 | W                                                        | 0,352                 | 13,0                  | 56,50 |
| 11                       | Huta Katowice, ul. J. Kusocińskiego       | W                                                        | 0,703                 | 13,1                  | 211,0 |

\*Miejsca pobrania próbek zaznaczono na mapie 3.  
The places of sample collection pointed out on the map 3.

TABELA 4. Wartości średnie zawartości pierwiastków wyrażone w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., w próbkach roślinności trawiastej

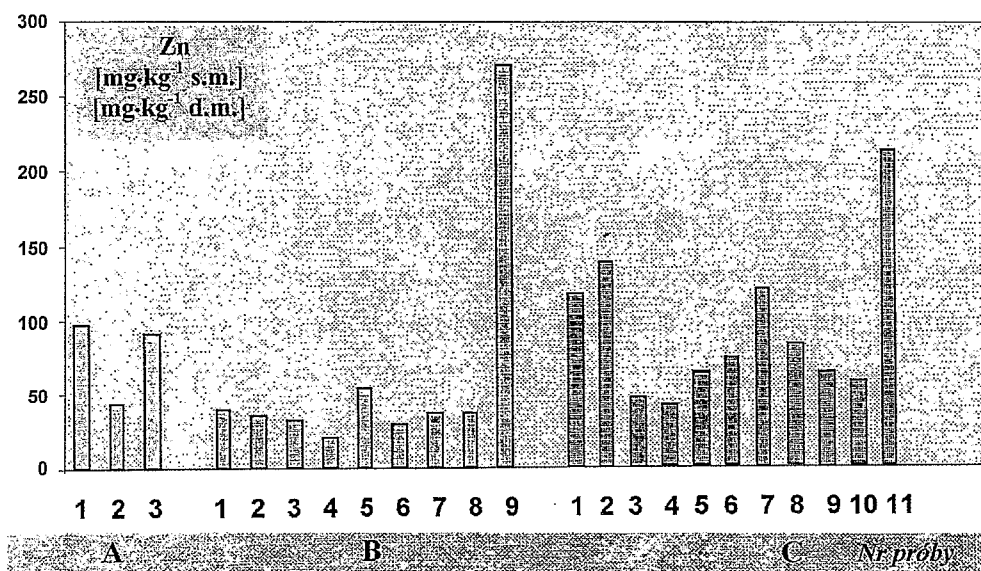
TABLE 4. Average values of elements contents expressed in  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  d.m. in grass plant samples

| Miejsce pobrania próbek | Zn    | Cd   | Pb    |
|-------------------------|-------|------|-------|
| Roztocze                | 77,16 | 0,30 | 5,42  |
| Łomża                   | 61,55 | 0,04 | 1,87  |
| Huta Katowice           | 91,82 | 0,37 | 17,05 |

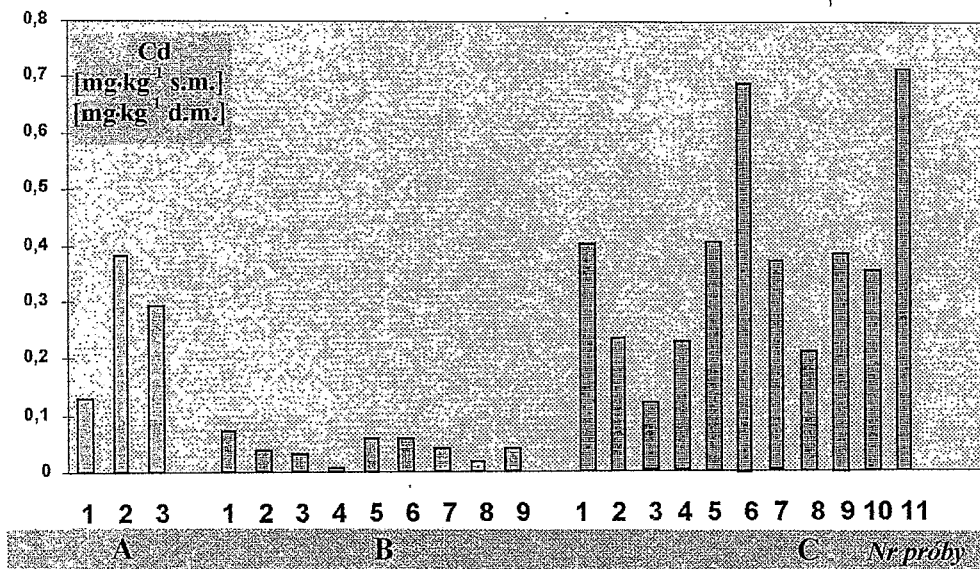
TABELA 5. Wartości współczynników zmienności wyrażone w %, obliczone dla zawartości pierwiastków w próbkach roślinności trawiastej

TABLE 5. Variability factors values expressed in % counted for the elements contents in grass plant samples

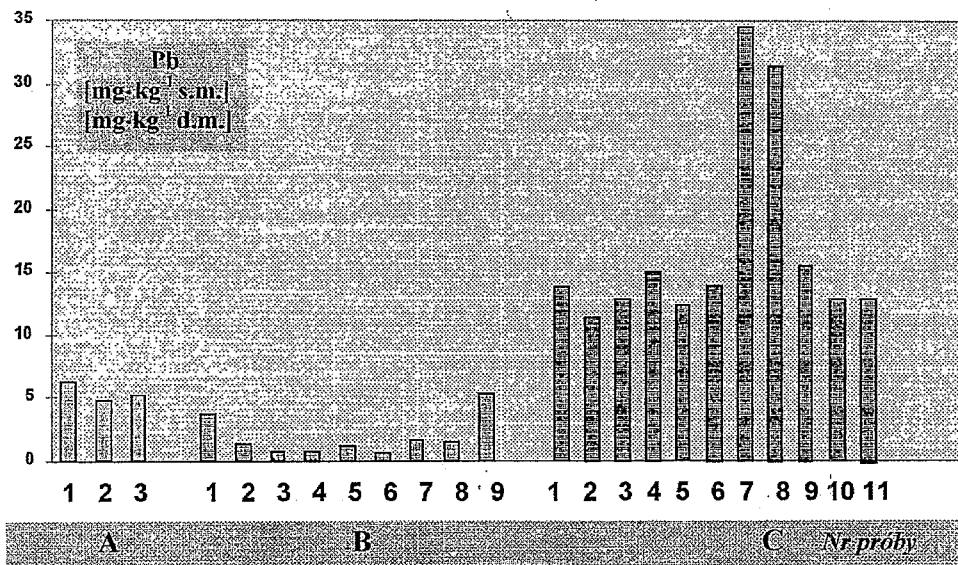
| Miejsce pobrania próbek | Zn    | Cd   | Pb   |
|-------------------------|-------|------|------|
| Roztocze                | 25,7  | 54,8 | 15,5 |
| Łomża                   | 120,5 | 47,4 | 81,7 |
| Huta Katowice           | 52,5  | 46,5 | 45,0 |



Rys. 1. Zawartość Zn w trawach z różnych rejonów Polski: A – Roztocze, B – Łomża, C – Huta Katowice  
Fig. 1. Contents of Zn in grasses from different regions of Poland: A – Roztocze, B – Łomża, C – Huta Katowice



Rys. 2. Zawartość Cd w trawach z różnych rejonów Polski: A – Rostocze, B – Łomża, C – Huta Katowice  
 Fig. 2. The contents of Cd in grasses from different regions of Poland: A – Rostocze, B – Łomża, C – Huta Katowice



Rys. 3. Zawartość Pb w trawach z różnych rejonów Polski: A – Rostocze, B – Łomża, C – Huta Katowice  
 Fig. 3. The contents of Pb in grasses from different regions of Poland: A – Rostocze, B – Łomża, C – Huta Katowice

zawartość kadmu wynosi  $0,380 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) i minimalna  $0,130 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) wyznaczają obszar zmienności równy  $0,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Średnia zawartość ołowiu wynosi  $5,42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $15,50\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość ołowiu  $6,27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) i minimalna  $4,82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) wyznaczają obszar zmienności równy  $1,45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.

W rejonie Łomży średnia zawartość cynku wynosi  $61,55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $120,50\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość cynku wynosi  $270,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2) i minimalna  $20,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2) wyznaczają obszar zmienności równy  $249,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Duży współczynnik zmienności sugeruje, że mogło nastąpić przypadkowe skażenie terenu tym metalem. Do tej interpretacji skłania również fakt, że średnia zawartość cynku nie jest podwyższona. Średnia zawartość kadmu wynosi  $0,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $47,40\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość kadmu  $0,072 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2) i minimalna  $0,007 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2) wyznaczają obszar zmienności równy  $0,065 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Średnia zawartość ołowiu wynosi  $1,87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $81,70\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość ołowiu  $5,43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2) i minimalna  $0,53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2) wyznaczają obszar zmienności równy  $4,90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.

W rejonie Huty Katowice średnia zawartość cynku wynosi  $91,82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $52,50\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość cynku  $211,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 3) i minimalna  $41,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 3) wyznaczają obszar zmienności równy  $170,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.

Średnia zawartość kadmu wynosi  $0,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $46,50\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość kadmu  $0,703 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 3) i minimalna  $0,120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 3) wyznaczają obszar zmienności równy  $0,583 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Średnia zawartość ołowiu wynosi  $17,05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 4). Współczynnik zmienności przyjmuje wartość  $45,0\%$  (tab. 5). Maksymalna zmierzona zawartość ołowiu  $34,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 3) i minimalna  $11,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 3) wyznaczają obszar zmienności równy  $23,10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.

Średnia zawartość cynku obserwowana w roślinności trawiastej w rejonie Huty Katowice przekracza o  $25\%$  średnią zawartość tego metalu dla rejonów Łomży i Roztocza. Obserwowane zjawisko jest najprawdopodobniej związane z tym, że cynk stosowany jest szeroko w przemyśle metalurgicznym i jego znaczna część przedostaje się do środowiska wraz z pyłami z hut. Średnia zawartość cynku w suchej masie z rejonu Huty Katowice zbliżona jest do dolnej granicy wartości toksycznych wynoszącej  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Średnie zawartości cynku w rejonach Roztocza i Łomży znajdują się w granicach przedziału fizjologicznego  $25\text{--}100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (za Kabatą-Pendias i Pendias 1993).

Średnie zawartości ołowiu w rejonach Roztocza i Łomży można zaklasyfikować jako wartości normalne, natomiast średnia zawartość Pb w próbkach pobranych z rejonu Huty Katowice ( $17,05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) wykracza poza górną granicę zawartości normalnej wynoszącą  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$

Próbki o numerach 7 i 8 wykazują nawet zawartości Pb przekraczające dolną granicę zawartości toksycznej  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  Zauważenie tego faktu jest tym bardziej znaczące, że ołów jest toksyczny dla roślin i organizmów zwierzęcych.

W rejonie Łomży kadmi występuje w ilościach nie przekraczających zawartości fizjologicznych  $0,05\text{--}0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$

W rejonie Roztocza obserwuje się średnią zawartość kadmu równą  $0,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ , która przekracza górną granicę zawartości fizjologicznej. Potwierdza to dane z „Raportu o stanie środowiska w województwie zamojskim” z 1993 roku, w którym stwierdzono, że obszary specjalnie chronione podlegają zanieczyszczeniu środowiska metalami ciężkimi. Na terenie RPN zawartość metali ciężkich została przekroczona właśnie w przypadku kadmu. W rejonie Huty Katowice średnia zawartość kadmu jest największa ( $0,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i przekracza 9-krotnie średnią jego zawartość z rejonu porównawczego, za jaki można uznawać rejon Łomży.

## Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników można jednoznacznie stwierdzić niekorzystny wpływ antropogenizacji

środowiska na skład chemiczny roślinności testowej, co ma szczególne znaczenie dla toksycznych metali, do których zaliczają się ołów i kadmi.

Dla zminimalizowania zmian środowiska naturalnego należy ograniczać emisję pierwiastków – szczególnie tych toksycznych. Można to osiągnąć przez stosowanie urządzeń ograniczających ich emisję do atmosfery, systematyczną kontrolę ich działania, a także globalną kontrolę ciągów technologicznych.

Wskazane jest monitorowanie składu roślinności trawiastej z rejonów wysoce zurbanizowanych i uprzemysłowionych w celu uniknięcia poważnych skażeń toksycznymi metalami ciężkimi.

## Literatura:

- KARACZUN Z., INDEKAL. 1996: *Ochrona środowiska*. Aries. Warszawa.
- KOIRTYOHANN S.R., JONES C.P., JESTER C.P., YATES D.A. 1981: *Use of Spatial Emission Profiles and a Nomenclature System as Aids in Interpreting Matrix Effects in the Low-Power Argon Inductively Coupled Plasma*. Spectrochim. Acta 36 B, 49–59.
- DICKENSON G.W., FASSEL V.A. 1969: *Emission Spectrometric Detection of Elements at Nanogram per Milliliter Levels Using Induction Coupled Plasma Excitation*. Anal. Chem. 41, 1021–1024.
- KRZYSZTOFIAK M., LUSZNIEWICZ A. 1976: *Statystyka*. PWE, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.

## Summary

**The manmade influence of the environment on the contents of Zn, Pb, Cd in**

**grass plants.** The contents of Zn, Pb, Cd was determined in grass plant samples derived from the natural environment in the regions of Roztocze and Łomża and from the significantly polluted and anthropogenized region of Huta Katowice. Contents of zinc for the region of Huta Katowice amounts to  $91.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$  and exceeds by 25% the contents estimated for comparative regions. The contents of lead in the region of Roztocze –  $5.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$  and in the region of Łomża –  $1.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$  are normal values. The contents of lead in samples from the region of Huta Katowice –  $17.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$  exceeds the normal value –

$10.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$  In the region of Huta Katowice the contents of cadmium is the highest –  $0.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$  and it exceeds many times its contents estimated for comparative regions. The harmful influence of the anthropogenization of environment for changes in compositions of grass plants with regard to examined metals was identified.

**Authors' address:**

E. Biernacka, M. Wójcik  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Elżbieta BIERNACKA, Marcin Józef MAŁUSZYŃSKI**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment

## **Zawartość selenu i kadmu w roślinności trawiastej z okolicy Huty Katowice\***

### **The selenium and cadmium contents in grasses near Huta Katowice**

#### **Wstęp**

Selen jest pierwiastkiem, który łatwo dostaje się do łańcucha troficznego pobierany z gleby przez rośliny, a następnie przez zwierzęta i człowieka. Optymalny zakres korzystnego oddziaływania selenu na organizm ludzki i zwierzęcy jest wąski, co wynika z porównania wartości niezbędnych z toksycznymi dla tych organizmów. Zapotrzebowanie dorosłego człowieka na selen wynosi od 50–100 µg/dzień i nie powinno przekraczać 200 µg/dzień. W przypadku zwierząt zapotrzebowanie wynosi około 100 µg Se/kg s.m. paszy, natomiast stężenie > 3000 µg/kg może być toksyczne. Ze względu na powyższe dane, duże znaczenie ma właściwe określenie ilości selenu w pożywieniu i paszy (Jędrzejczak i in. 1994, Kabata-Pendias 1994, Zachara i in. 1996).

Kadm jest pobierany przez rośliny wyjątkowo łatwo tak przez korzenie, jak i przez liście, co stwarza ryzyko włączenia nadmiernych ilości tego pierwiastka do łańcucha troficznego. Łatwe wchłanianie kadmu zwraca uwagę badaczy, ze względu na jego akumulację w organach spełniających ważne funkcje w organizmie (wątroba, nerki). Jednym z pierwiastków ograniczających toksyczne działanie kadmu jest selen. Tworząc z kadmem związki zwane selenkami powoduje wyłączenie tego pierwiastka z procesów biochemicznych. (Kabata-Pendias i Pendias 1993).

Badania miały na celu określenie zawartości selenu i kadmu w trawach z terenów znajdujących się pod silnym wpływem działalności człowieka. Przykładem jest Huta Katowice wraz z przyległymi do niej obszarami.

---

\* Grant KBN 50102080027.

## Materiał i metody

Do badań wyznaczono 11 punktów znajdujących się w najbliższym otoczeniu Huty Katowice i w tych punktach pobrano trawy, w których oznaczono zawartość kadmu i selenu.

Oznaczenie zawartości selenu wykonano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z generacją wodorków (HGA-AS) na aparacie PERKIN ELMER 4100ZL z przystawką FIAS 100. Natomiast zawartość kadmu oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą sprzężoną indukcyjnie (ICP-AES).

## Wyniki i dyskusja

Zawartość selenu i kadmu w trawach z okolicy Huty Katowice wahała się w szerokich granicach (tab.).

W przypadku selenu jego stężenie zawierało się w granicach 7,0–15,1 ppb s.m. (0,007–0,0151 ppm s.m.) i poza naj-

niższą oznaczoną wartością mieści się w granicach zawartości fizjologicznej w roślinach, dla tego pierwiastka i wynoszącej 0,01–2 ppm s.m. (Kabata-Pendias i Pendias 1993). Zawartość selenu oznaczona przez autorów jest niższa od oznaczonej w trawach rosnących w północnej Polsce na glebach mineralnych i glebach organicznych, które zawierały selen w ilościach odpowiednio 0,051–0,069 ppm s.m. oraz 0,038–0,048 ppm s.m. (Borowska i Łyszczarz 1994). Trawy z okolic Huty Katowice zawierają selen w ilościach porównywalnych ze średnimi wartościami tego pierwiastka w trawach Finlandii – 11 ppb s.m., Kanadzie – 13 ppb s.m. Natomiast zawierają znacznie mniejsze ilości selenu w stosunku do traw z Indii zawierających 350 ppb selenu w suchej masie (Kabata-Pendias i Pendias 1993).

Zawartości kadmu w trawach oznaczono na poziomie 120–703 ppb s.m., co stanowi 0,12–0,703 ppm s.m. i są to wartości, które tylko w czterech próbach zbliżone są do fizjologicznej zawartości kadmu wynoszącej 0,05–0,2 ppm s.m.,

TABELA Zawartość selenu i kadmu w trawach z okolic Huty Katowice  
TABLE The selenium and cadmium contents in grasses near Huta Katowice

| Nr próby<br>Sample No | Miejsce pobieranie prób<br>Location of sample      | Se [ppb] | Cd [ppb] |
|-----------------------|----------------------------------------------------|----------|----------|
| 1                     | trawnik 50 m na zachód od bramy głównej            | 12,4     | 398      |
| 2                     | trawnik 50 m na pd.-zach. od bramy głównej         | 13,3     | 233      |
| 3                     | 1,5 km na północ od bramy głównej                  | 14,2     | 120      |
| 4                     | ul. W. Roździeńskiego przy bramie rozdzielni       | 7,0      | 223      |
| 5                     | ul. Gołonowska – na skarpie                        | 10,7     | 402      |
| 6                     | na brzegu zbiornika Łosień                         | 13,3     | 685      |
| 7                     | taśmociąg vis-a'-vis bramy głównej                 | 10,8     | 364      |
| 8                     | na pd.-wsch. od huty przy ul. Świerczyna           | 10,1     | 208      |
| 9                     | ul. Torowa koło osadników                          | 11,7     | 382      |
| 10                    | ul. Torowa                                         | 15,1     | 352      |
| 11                    | ul. J. Kusocińskiego przy Wschodniej Obwodnicy GOP | 14,3     | 703      |



ale w pozostałych nie przekraczają granicy toksycznego oddziaływania kadmu (5 ppm s.m.). Zawartości kadmu oznaczone w czasie badań niemal całkowicie pokrywają się z wartościami przytaczanymi przez Kabatę-Pendias i Pendiasa (1993), a dotyczące zawartości tego pierwiastka w trawach z różnych krajów (0,05–0,55 ppm s.m.). Także wartości oznaczone w trawach z północno-wschodniej i południowo-zachodniej Polski, które wynosiły odpowiednio 0,05–0,8 ppm s.m. oraz 0,1–2,6 ppm s.m., pokrywały się z otrzymanymi podczas badań.

## Wniosek

1. Zawartości selenu i kadmu w trawach z okolic Huty Katowice nie wykazują znaczących różnic w stosunku do zawartości oznaczonych dla traw z innych rejonów Polski.

## Literatura

- BOROWSKA K., ŁYSZCZARZ R. 1994: *Zawartość selenu w wybranych gatunkach traw uprawianych na glebach torfowych i mineralnych. Arsen i selen w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne*. PAN, Warszawa.
- JĘDRZEJCZAK R., RĘCZAJSKA W., SZTEKE B. 1994: *Oznaczanie selenu w materiale roślinnym – badania porównawcze. Arsen i se-*

*len w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne*. PAN, Warszawa.

- KABATA-PENDIAS A. 1994: *Biogeochemia arsenu i selenu. Arsen i selen w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne*. PAN, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- ZACHARA B.A., SUJKOWSKA R., RYĆ K., PAWLAK H. 1996: *Stężenie selenu w narządach osób zmarłych na zawał serca. VIII sympozjum „Mikroelementy w rolnictwie”*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 434.

## Summary

**The selenium and cadmium contents in grasses near Huta Katowice.** The selenium and cadmium contents were determined in 11 grass samples. For selenium determination in the grass samples the HGAAS technique was used and the ICP-AES technique for cadmium determination.

The Se contents in grass samples were 7.0–15.1 ppb d.w. The lowest Se level was found in sample no 4 and the highest Se level in sample no 10. The Cd contents in grass samples were 120–703 ppb d.w. The lowest Cd level was found in sample no 3 and the highest Cd level in sample no 11.

### Authors' address:

E. Biernacka, M.J. Małuszyński  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02–787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Elżbieta BIERNACKA, Marcin Józef MAŁUSZYŃSKI**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment

## **Próba określenia zawartości selenu w wodach Wisły oraz jej wybranych dopływów w okolicach Warszawy\***

### **Trial of determination of selenium content in Vistula River and it's side streams**

#### **Wstęp**

Selen jest niemetalem z grupy tlenowców. W środowisku przyrodniczym występuje w różnych formach, w zależności od odczynu i potencjału oksydacyjno-redukcyjnego. Jego mobilność, a zatem i przyswajalność dla roślin wzrasta w miarę wzrostu odczynu i zmiany warunków z redukcyjnych na utleniające. W roztworze wodnym selen występuje w postaci anionów:  $\text{HSeO}_3^-$ ,  $\text{SeO}_3^{2-}$  (seleniny  $\text{Se}^{4+}$ ) i  $\text{HSeO}_4^-$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$  (seleniany  $\text{Se}^{6+}$ ). Przy wartościach odczynu zawierających się w granicach 6,0–8,5 dominujące w wodach powierzchniowych jony  $\text{SeO}_3^{2-}$  i  $\text{SeO}_4^{2-}$ , ulegają sorpcji przez minerały żelaza lub jego bezpostaciowe wodorotlenki, a także przez rozpuszczalną substancję organiczną. W ten sposób selen w dostępnej dla roślin formie rozpuszczonej stanowi tylko około 15% całkowitej zawartości tego pierwiastka

znajdującego się w wodzie (Kabata-Pendias 1994, Dojlido 1995).

Badania miały na celu określenie zawartości selenu w wodach Wisły oraz jej wybranych dopływów w okolicach Warszawy.

#### **Materiał i metody**

Do badań pobrano 45 prób wody z Wisły, Świdra, Jeziorki, Wilanówki oraz Kanału Żerańskiego. Próby pobrano także z Jeziorka Kamionkowskiego i Kanału Wystawowego w Parku Skaryszewskim oraz ze zbiornika Morskie Oko i zbiorników w parku Morskie Oko.

Odczyn prób wody oznaczono na pH-metrze firmy Hanna Instruments. Oznaczenie zawartości selenu wykonano

---

\*Grant KBN nr 50102080027.

metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z generacją wodorków (HGAAS) na aparacie PERKIN ELMER 4100 ZL z przystawką FIAS 100.

## Wyniki i dyskusja

Obowiązujące obecnie standardy w krajach Unii Europejskiej (Dyrektywy EWG 1993) dotyczące jakości wód powierzchniowych stanowiących źródło wody do picia po uzdatnieniu przewidują, iż wartości odczynu wody powinny zawierać się w przedziale pH 6,5–8,5.

Odczyn badanych prób tylko w dwóch przypadkach (Elektrociepłownia Żerań i Żerań Wschodni – tab. 1) zbliża się do górnej granicy normy przyjmując odpowiednio wartości pH 8,46 i 8,45, podczas gdy pozostałe zawierają się w granicach pH od 7,12 (Siekierki i Siekierki Małe – ujście, tab. 1) do 8,29 (Augustówka; ul. Vogla – tab. 1).

Zawartość selenu dopuszczalna w wodach powierzchniowych wynosi 10 µg/l (Dyrektywy EWG 1993).

Zawartość selenu oznaczona we wszystkich próbach kształtuje się znacznie poniżej normy. W dziewięciu przypadkach stężenie selenu przyjmuje wartość tła ( $< 0,05$  µg/l); w jednej próbie 0,65 µg/l (Warszawa – Most Śląsko-Dąbrowski – tab. 2), podczas gdy w większości prób zawiera się w granicach 0,06–0,41 µg/l. Najwyższe oznaczone stężenie selenu w próbce pobranej spod mostu Śląsko-Dąbrowskiego można powiązać z faktem, pochodzenia selenu z niektórych odpadów bytowych oraz obecności punktu zrzutu ścieków na lewym brzegu Wisły w pobliżu miejsca poboru próbki.

## Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że wody Wisły oraz jej wybranych dopływów w okolicach Warszawy nie zawierają ilości selenu przekraczających obowiązujące normy.

2. Zawartość selenu w wodach Wisły jest większa niż w jej dopływach.

## Literatura

- DOJLIDO J.R. 1995: *Chemia wód powierzchniowych*. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Dyrektywy EWG 1993: *Zeszyt 5: Standardy EWG w dziedzinie ochrony wód i powietrza*. IOŚ, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. 1994: *Biogeochemia arsenu i selenu. Arsen i selen w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne*. PAN, Warszawa.

## Summary

**Trial of determination of selenium content in Vistula River and it's side streams near Warsaw.** The selenium content was determined in 45 water samples. Analysis were carried out with hydride generation atomic absorption spectrometry – HGAAS. The Se content in water samples were 0,06–0,41 µg/L. The highest Se level was found in sample – Warszawa – Most Śląsko-Dąbrowski (0,65 µg/L – table 1.).

### Authors' address:

E. Biernacka, M.J. Małuszyński  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warsaw  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

TABELA 1. Zawartość selenu w wodach powierzchniowych lewo- i prawobrzeżnych dopływów Wisły  
TABLE 1. The selenium content in surface water of Vistula River's side streams

| Nr próby<br>Sample no                          | Miejsce pobrania próby<br>Location of sample | pH   | Se [ $\mu\text{g/l}$ ] |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------------------------|
| <b>Jeziorka<br/>Jeziorka River</b>             |                                              |      |                        |
| 21                                             | Chylice; ul. Dworska                         | 7,88 | 0,14                   |
| 22                                             | Skolimów; ul. Chylicka                       | 7,90 | 0,14                   |
| 23                                             | Konstancin-Jeziorna; ul. Wilanowska          | 7,98 | < 0,05                 |
| 24                                             | Konstancin-Jeziorna; zb. Jeziorna            | 8,15 | < 0,05                 |
| 25                                             | Obórki; ujście                               | 7,85 | 0,11                   |
| <b>Wilanówka<br/>Wilanówka River</b>           |                                              |      |                        |
| 26                                             | Obórki                                       | 7,45 | 0,10                   |
| 27                                             | Okrzeszyn                                    | 7,65 | 0,10                   |
| 28                                             | Wilanów; ul. Vogla                           | 7,76 | 0,08                   |
| 29                                             | Augustówka; ul. Vogla                        | 8,29 | 0,07                   |
| 30                                             | Siekierki                                    | 7,12 | 0,27                   |
| 31                                             | Siekierki Małe; ujście                       | 7,12 | 0,09                   |
| <b>Świder<br/>Świder River</b>                 |                                              |      |                        |
| 34                                             | Świdry Wielkie                               | 7,38 | < 0,05                 |
| 35                                             | Świder; ul. Kołtątaja                        | 7,39 | < 0,05                 |
| 36                                             | Rycice; rz. Mienia                           | 7,33 | 0,18                   |
| 37                                             | Mładz                                        | 7,46 | 0,28                   |
| 38                                             | Górki; ujście                                | 7,47 | 0,15                   |
| <b>Kanał Żerański<br/>the Żerański Channel</b> |                                              |      |                        |
| 39                                             | Elektrociepłownia Żerań                      | 8,46 | 0,11                   |
| 40                                             | Żerań Wschodni                               | 8,45 | 0,25                   |
| 41                                             | Kobiałka; Kanał Markowski                    | 7,35 | 0,26                   |
| 42                                             | Stanisławów; rz. Czarna                      | 7,19 | 0,41                   |
| 43                                             | Nieporęt                                     | 8,17 | 0,15                   |

< 0,05 – wartości na poziomie tła

< 0,05 – background level of Se contents

TABELA 2. Zawartość selenu w lewo- i prawobrzeżnej Wiśle  
TABLE 2. The selenium content in left-bank and right-bank Vistula River

| Nr próby<br>Sample no                                     | Miejsce pobrania próby<br>Location of sample | pH   | Se [ $\mu\text{g/l}$ ] |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------------------------|
| <b>Wiśła – lewy brzeg<br/>Vistula River – left bank</b>   |                                              |      |                        |
| 32                                                        | Gassy                                        | 7,46 | 0,21                   |
| 6                                                         | Warszawa – most Berlinga                     | 7,87 | 0,31                   |
| 7                                                         | Warszawa – most Poniatowskiego               | 7,89 | 0,31                   |
| 8                                                         | Warszawa – most Śląsko-Dąbrowski             | 7,86 | 0,65                   |
| 9                                                         | Warszawa – most Gdański                      | 7,82 | 0,32                   |
| 10                                                        | Warszawa – most Grota-Roweckiego             | 7,77 | 0,30                   |
| 45                                                        | Nowy Dwór Mazowiecki                         | 7,61 | 0,30                   |
| <b>Wiśła – prawy brzeg<br/>Vistula River – right bank</b> |                                              |      |                        |
| 33                                                        | Gassy                                        | 7,64 | 0,26                   |
| 15                                                        | Warszawa – most Berlinga                     | 7,82 | 0,12                   |
| 14                                                        | Warszawa – most Poniatowskiego               | 7,91 | < 0,05                 |
| 13                                                        | Warszawa – most Śląsko-Dąbrowski             | 7,92 | < 0,05                 |
| 12                                                        | Warszawa – most Gdański                      | 7,93 | 0,30                   |
| 11                                                        | Warszawa – most Grota-Roweckiego             | 7,84 | 0,32                   |
| 44                                                        | Nowy Dwór Mazowiecki                         | 7,73 | 0,31                   |

< 0,05 – wartości na poziomie tła

< 0,05 – background level of Se contents

TABELA 3. Zawartość selenu w wodach powierzchniowych wybranych parków warszawskich  
TABLE 3. The selenium content in surface water of chosen Warsaw parks

| Nr próby<br>Sample no                                                                                | Miejsce pobrania próby<br>Location of sample | pH   | Se [ $\mu\text{g/l}$ ] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------------------------|
| <b>zbiornik Morskie Oko<br/>the „Morskie Oko” lake</b>                                               |                                              |      |                        |
| 1                                                                                                    | od ul. Spacerowej                            | 7,84 | 0,07                   |
| 2                                                                                                    | od ul. Puławskiej                            | 7,83 | 0,06                   |
| <b>zbiorniki w parku Morskie Oko<br/>the lakes in „Morskie Oko” park</b>                             |                                              |      |                        |
| 3                                                                                                    | od ul. Promenada                             | 7,85 | 0,23                   |
| 4                                                                                                    | od ul. Belgijskiej                           | 7,83 | 0,33                   |
| 5                                                                                                    | od ul. Grottgera                             | 7,82 | 0,35                   |
| <b>kanal Wystawowy – park Skaryszewski<br/>the „Wystawowy” channel in „Skaryszewski” park</b>        |                                              |      |                        |
| 16                                                                                                   | od ul. Waszyngtona                           | 7,82 | < ,05                  |
| 17                                                                                                   | od ul. Kinowej                               | 7,66 | < ,05                  |
| 18                                                                                                   | od ul. Grochowskiej                          | 7,71 | < ,05                  |
| <b>Jezioro Kamionkowskie – park Skaryszewski<br/>the „Kamionkowskie” lake in „Skaryszewski” park</b> |                                              |      |                        |
| 19                                                                                                   | od ul. Międzynarodowej                       | 8,22 | 0,09                   |
| 20                                                                                                   | na tyłach ZPCE Wedel                         | 8,19 | 0,17                   |

< 0,05 – wartości na poziomie tła

< 0,05 – background level of Se contents

**Tomasz MAZUR**

Politechnika Radomska, Zakład Matematyki  
Radom Technical University, Division of Mathematics

**Maciej SKWARCZYŃSKI**

Katedra Zastosowań Matematyki SGGW  
Department of Applied Mathematics WAU

*Pamięci Lipmana Bersa (1914–1993)*

## O jednomianowej wypukłości w $C^N$ Remarks on monomial convexity in $C^N$

### Uwagi wstępne

W teorii funkcji wielu zmiennych zespolonych występują szeregi potęgowe

$$\begin{aligned} \sum_{m=(m_1, \dots, m_N)} a_m z^m &:= \\ &= \sum_{m_1, \dots, m_N} a_{m_1, \dots, m_N} z_1^{m_1} \dots z_N^{m_N} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie  $z = (z_1, \dots, z_N)$  jest elementem przestrzeni  $C^N$ , tj.  $n$ -wyrazowym ciągiem liczb zespolonych, a  $m_j \in \{0, 1, \dots\}$  dla  $j = 1, \dots, N$ . Współczynniki  $a_{m_1, \dots, m_N}$  są danymi liczbami zespolonymi. Obszar  $\Omega$  złożony z tych punktów  $z^0 \in C^N$ , dla których na pewnym otoczeniu punktu  $z^0$  szereg

$$\begin{aligned} \sum_{m=(m_1, \dots, m_N)} |a_m z^m| &:= \\ &= \sum_{m_1, \dots, m_N} |a_{m_1, \dots, m_N} z_1^{m_1} \dots z_N^{m_N}| \end{aligned} \quad (2)$$

jest zbieżny jednostajnie, nazywamy **obszarem zbieżności** szeregu (1). Można łatwo sprawdzić, że  $\Omega$  jest *pełnym* obszarem  $n$ -kołowym (patrz niżej). Wiadomo także (por. np. Bers 1964), że pełny  $n$ -kołowy obszar  $D \subset C^N$  jest obszarem zbieżności pewnego szeregu potęgowego wtedy i tylko wtedy, gdy ma własność *logarymicznej wypukłości*. W dowodzie tego faktu istotnym elementem jest następujący:

**Lemat 1.** *Każdy  $N$ -kołowy pełny i logarymicznie wypukły obszar  $D \subset C^N$  jest jednomianowo wypukły.*

W literaturze poświęconej podstawom wielu zmiennych dowód lematu 1 nie uzyskał jeszcze ostatecznego kształtu. Mimo pozytywnych prób (Bers 1964, Siciak 1973) dostępne dowody nie są zbyt szczegółowe. Celem obecnej notatki jest podanie dowodu, który szczegółowo eksponuje konsekwencje założenia o logarytmicznej wypukłości. Nasz tekst dedykujemy L. Bersowi, którego pomysł (wstępne wykorzystanie twierdzenia Heine-Borela) stanowi punkt wyjścia dla przedstawionego rozumowania. Podstawowe informacje o życiu i działalności L. Bersa można znaleźć w artykule W. Abikoffa (1995).

## Obszary kołowe i jednomianowa wypukłość

Zacniemy od przypomnienia podstawowych pojęć. Mówimy, że zbiór  $E \subset \mathbb{C}^N$  jest **N-kołowy** (względem początku układu), jeśli dla każdego  $(z_1, \dots, z_N) \in E$  i każdego  $\lambda \in \mathbb{C}^N$  z równości  $|\lambda_j| = 1; j = 1, \dots, N$  wynika, że  $(\lambda_N z_1, \dots, \lambda_N z_N) \in E$ .

Zastępując w powyższym określeniu równości  $|\lambda_j| = 1$  nierównościami  $|\lambda_j| \leq 1$  otrzymujemy definicję **pełnego** zbioru  $n$ -kołowego. Nietrudno zauważyć, że każdy zbiór  $N$ -kołowy  $E$  jest wyznaczony przez odpowiadający mu **diagram Hartogsa**

$$E_* := \{(z_1, \dots, z_N) \in D; z_j = |z_j|, j = 1, \dots, N\} \subset \mathbb{R}^N \quad (3)$$

Wyróżniamy podzbiór  $E_+ \subset E_*$  złożony z punktów, które mają wszystkie

współrzędne rzeczywiste i dodatnie. Mówimy, że zbiór  $E$  jest **logarytmicznie wypukły**, jeśli jego **logarymiczny obraz**

$$\ln E_+ := \{\ln x := (\ln x_1, \dots, \ln x_N); (x_1, \dots, x_N) \in E_+\} \quad (4)$$

jest wypukłym podzbiorem przestrzeni  $\mathbb{R}^N$ .

Niech  $D$  będzie obszarem w  $\mathbb{C}^N$ . Mówimy, że podzbiór  $K \subset D$  jest **relatywnie zwarty** i piszemy  $K \subset\subset D$ , jeśli  $\bar{K}$  (domknięcie w przestrzeni  $\mathbb{C}^N$ ) jest zbiorem ograniczonym, a ponadto  $\bar{K} \subset D$ . Dla dowolnej rodziny  $\Phi$ , złożonej z ciągłych funkcji  $f: D \rightarrow \mathbb{C}$  określamy  $\Phi$  – **powłokę** zbioru  $\bar{K}$  następującym wzorem:

$$\hat{K}_\Phi := \left\{ z \in D; \bigwedge_{f \in \Phi} |f(z)| \leq |f|_K \right\} \quad (5)$$

gdzie  $|f|_K := \max \{|f(w)|; w \in K\}$ . Mówimy, że obszar  $D$  jest  **$\Phi$ -wypukły** jeśli  $\hat{K}_\Phi \subset\subset D$  dla każdego podzbioru  $K \subset\subset D$ . W przypadku gdy  $\Phi$  jest rodziną wszystkich jednomianów (od  $N$  zmiennych zespolonych) rozpatrywanych w obszarze  $D$ , mówimy odpowiednio o **powłoce jednomianowej** i o **jednomianowej wypukłości**. W dalszym ciągu powłokę jednomianową podzbioru  $K \subset\subset D$  będziemy oznaczać symbolem  $\tilde{K}$ . Należy wykazać, że w  $N$ -kołowym, pełnym i logarytmicznie wypukłym obszarze  $D$  z warunku  $K \subset\subset D$  wynika, że

$$\tilde{K} \subset\subset D \quad (6)$$

## Redukcja do przypadku, gdy $K$ jest skończoną sumą domkniętych polidysków

Niech  $r_1, \dots, r_N$  będą liczbami dodatnimi i niech  $r = (r_1, \dots, r_N)$ . Otwarty polidysk w przestrzeni  $C^N$  jest to zbiór postaci

$$P_r := \{z \in C^N; |z_j| < r_j, j = 1, \dots, N\} \quad (7)$$

Widać natychmiast, że suma dowolnej liczby polidysków (7) jest pełnym obszarem  $N$ -kołowym i na odwrót, pełny  $N$ -kołowy obszar  $D$  może być przedstawiony jako suma polidysków

$$D = \bigcup_{r \in D_+} P_r \quad (8)$$

Jeśli  $K \subset\subset D$ , to polidyski we wzorze (8) tworzą otwarte pokrycie domkniętego i ograniczonego zbioru  $\bar{K}$ . Na mocy twierdzenia Heine-Borela istnieje skończony podzbiór  $S = \{r^{(1)}, \dots, r^{(S)}\} \subset D_+$  taki, że suma polidysków  $P_r$ ,  $r \in S$  zawiera  $\bar{K}$ . Wynika stąd, że

$$K \subset \bigcup_{r \in S} \bar{P}_r \quad (9)$$

Oznaczmy przez  $F$  prawą stronę wzoru (9); jest jasne, że  $F \subset\subset D$ . Ponieważ  $K \subset F$ , więc  $\bar{K} \subset \bar{F}$  i jeśli  $\bar{F} \subset\subset D$  to  $\bar{F} \subset\subset D$ . Tak więc warunek (6) wystarczy wykazać w przypadku gdy

$$K = \bigcup_{r \in S} \bar{P}_r \quad (10)$$

## Główna idea dowodu

Symbolem  $\tilde{K}_{C^N}$  będziemy oznaczać powłokę zbioru (10) względem rodziny jednomianów rozpatrywanych na całej przestrzeni  $C^N$ . Z oczywistych własności jednomianów wynika, że  $\tilde{K}_{C^N}$  jest pełnym zbiorem  $N$ -kołowym. Nie należy mylić  $\tilde{K}$  z  $\tilde{K}_{C^N}$  ponieważ na ogół  $D \neq C^N$ . Widać, że  $\tilde{K}_{C^N} \supset \tilde{K}$ , więc dla wykazania (6) wystarczy wykazać, że

$$\tilde{K}_{C^N} \subset\subset D \quad (11)$$

Z oczywistych własności jednomianów wynika że  $\tilde{K}_{C^N}$  jest zbiorem domkniętym i ograniczonym, więc wzór (11) można napisać w postaci:

$$\tilde{K}_{C^N} \subset D \quad (12)$$

Aby wykazać (12) rozpatrzmy dowolny punkt  $w \in \tilde{K}_{C^N}$ ; udowodnimy, że  $w \in D$ . Dalsze rozumowanie uwzględni postać punktu  $w$ . Niech  $J := \{j; w_j = 0\}$  i niech  $J' := \{j; w_j \neq 0\}$ . Określmy więc

$$\rho := \min \{r_j^{(m)}; j \in J', 1 \leq m \leq s\} > 0 \quad (13)$$

Rozpatrzmy punkt  $w^*$  taki, że  $w_j^* = \rho$  jeśli  $j \in J$  oraz  $w_j^* = |w_j|$  jeśli  $j \in J'$ . Wykażemy, że  $\ln w^* \in \ln D_+$  (stąd  $w^* \in D_+$  i  $w \in D$  bo  $D$  jest  $N$ -kołowy i pełny). W tym celu wystarczy zauważyć, że

$$\ln w^* \in \text{conv } \ln K_+ \quad (14)$$



Rzeczywiście,  $K_+ \subset D_+$  i wobec założenia o wypukłości zbioru  $\ln D_+$

$$\text{conv } \ln K_+ \subset \text{conv } D_+ = \ln D_+ \quad (15)$$

Możemy już przedstawić dowód lematu.

### Dowód lematu

Aby wykazać (14) wykorzystamy założenie  $w \in \tilde{K}_C^N$  rozpatrując dowolne liczby naturalne  $m_1, \dots, m_N$  oraz jednomian

$$f(z) := \prod_{j \in J'} z_j^{m_j} \quad (16)$$

Z określenia powłoki jednomianowej wynika, że

$$\left| \prod_{j \in J'} w_j^{m_j} \right| \leq \max_{z \in K} \left| \prod_{j \in J'} z_j^{m_j} \right| \leq \max_{r \in S} \prod_{j \in J'} r_j^{m_j} \quad (17)$$

Nasz pomysł polega na pomnożeniu obu stron nierówności (17) przez potęgę liczby  $\rho$  o wykładniku  $\sum_{j \in J} m_j$ . Otrzymu-

jemy (niezależnie od liczb  $m_j$ ) nierówność

$$\begin{aligned} \prod_{j=1}^N (w_j^*)^{m_j} &\leq \max_{r \in S} \left( \prod_{j \in J'} r_j^{m_j} \prod_{j \in J} \rho^{m_j} \right) \leq \\ &\leq \max_{r \in S} \prod_{j=1}^N r_j^{m_j} \end{aligned} \quad (18)$$

Stąd, logarytmując obie strony i dzieląc przez  $M := m_1 + \dots + m_N$  otrzymujemy następujący wzór:

$$\sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M} \ln w_j^* \leq \max_{r \in S} \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M} \ln r_j \quad (19)$$

Każda kombinacja wypukła liczb rzeczywistych może być aproksymowana kombinacją wypukłą o współczynnikach wymiernych. Wobec tego, jeśli  $c_j \geq 0$  dla  $j = 1, \dots, N$  i  $\sum c_j = 1$ , to z nierówności (19) wynika, że

$$\sum_{j=1}^N c_j \ln w_j^* \leq \max_{r \in S} \sum_{j=1}^N c_j \ln r_j \quad (20)$$

Wypukła powłoka zbioru jest to (z definicji) najmniejszy wypukły nadzbiór tego zbioru. Wykorzystując szczególną postać zbioru  $\ln K_+$  można udowodnić, że  $\text{conv } \ln K_+$  (powłoka wypukła tego zbioru) jest domknięta, patrz sekcja 6. Wiadomo że (Edwards 1969, wniosek 2.1.4), że każdy wypukły i domknięty podzbiór  $F$  rzeczywistej przestrzeni lokalnie wypukłej jest częścią wspólną wszystkich domkniętych półprzestrzeni, które zawierają podzbiór  $F$ . Wobec tego, jest częścią wspólną wszystkich domkniętych półprzestrzeni zawierających zbiór  $\ln K_+$ .

Niech

$$\{x \in \mathbb{R}^k; a_1 x_1 + \dots + a_N x_N \leq d\} \quad (21)$$

będzie dowolną taką półprzestrzenią. Wykażemy że  $a_j \geq 0$  dla  $j = 1, \dots, N$ . Rozumując nie wprost przypuścmy, że jakiś

współczynnik, np.  $a_1$ , jest ujemny. Wybierzmy  $r = (r_1, \dots, r_N) \in S \subset K_+$ . Jeśli  $0 < \varepsilon < r_1$ , to punkt  $(\ln \varepsilon, \ln r_2, \dots, \ln r_N) \in \ln K_+$  spełnia (21), tzn.

$$a_1 \ln \varepsilon + a_2 \ln r_2 + \dots + a_N \ln r_N \geq d \quad (22)$$

Przechodząc do granicy przy  $\varepsilon \rightarrow 0$  stwierdzamy, że  $\infty \leq d$ , zachodzi sprzeczność. Teraz już można bez straty ogólności przyjąć, że nieujemne liczby  $a_j$ ,  $j = 1, \dots, N$  w określeniu półprzestrzeni (21) są współczynnikami kombinacji wypukłej. Ponieważ  $\ln r \in \ln K_+$  dla każdego  $r \in S$ , więc ze wzoru (20) wynika, że  $\ln w^*$ , spełnia nierówność (21). W konsekwencji  $\ln w^* \in \text{conv } \ln K_+$ , co wykazano już we wzorze (14). Pozostaje zatem sprawdzić, że  $\text{conv } \ln K_+$  jest zbiorem domkniętym.

### Jawna postać zbioru $\text{conv } \ln K_+$

Zauważmy, że  $\ln K_+$  jest sumą  $s$  zbiorów

$$\{u + \ln r^{(i)} \in \mathbf{R}^N; u \leq 0\} \quad i = 1, \dots, s \quad (23)$$

gdzie  $u \leq 0$  oznacza, że  $u_j \leq 0$  dla  $j = 1, \dots, N$ . Rozpatrzmy wypukły zbiór

$$\begin{aligned} L &:= \text{conv } \{\ln r^{(1)}, \dots, \ln r^{(s)}\} \\ &= \{v = c_1 \ln r^{(1)} + \dots + c_s \ln r^{(s)}; c_i \geq 0, \Sigma c_i = 1\} \end{aligned} \quad (24)$$

Jest on zwarty w  $\mathbf{R}^N$ , bo układy współczynników  $(c_1, \dots, c_s)$  określających

kombinację wypukłą, tworzą zwarty podzbiór w  $\mathbf{R}^s$ . Wykażemy, że

$$\text{conv } \ln K_+ = \{u + v; u \leq 0, v \in L\} \quad (25)$$

jest zbiorem domkniętym. Rozumowanie przeprowadzimy w trzech krokach.

1° Element prawej strony zbioru (25)

$$u + v = u + \sum_{i=1}^s c_i \ln r^{(i)} = \sum_{i=1}^s c_i (u + \ln r^{(i)}) \quad (26)$$

jest wypukłą kombinacją elementów zbioru  $\ln K_+$ , więc należy do  $\text{conv } \ln K_+$ . Wykazaliśmy, że w zbiorze (25) prawa strona zawiera się w lewej.

2° Jest jasne, że w kombinacji (25) prawa strona zawiera  $\ln K_+$ . Widać także, że prawa strona przedstawia zbiór wypukły. Rzeczywiście, kombinacja wypukła elementów o niedodatnich współrzędnych ma niedodatnie współrzędne, a kombinacja wypukła elementów z (wypukłego) zbioru  $L$  należy do  $L$ . Wynika stąd że w (25) prawa strona zawiera lewą. Zatem równość (25) została wykazana.

3° Wykażemy, że prawa strona równania (25) jest zbiorem domkniętym. Rozpatrzmy w zbiorze tym ciąg elementów  $u^{(n)} + v^{(n)}$  zbieżny do  $x^0 \in \mathbf{R}^N$ ; należy wykazać, że  $x^0$  należy do prawej strony równości (25). Ponieważ  $L$  jest zbiorem zwartym, więc istnieje zbieżny podciąg  $v^{(n_j)} \rightarrow v^0 \in L$ . Zauważmy, że  $u^{(n_j)} + v^{(n_j)} \rightarrow x^0$  (jako podciąg ciągu zbieżnego). W konsekwencji ciąg  $u^{(n_j)}$  ma granicę  $u^0 \in \mathbf{R}^N$ , a ponieważ

$u^{(n_j)} \leq 0$ , więc  $u^o \leq 0$ . Widać stąd, że  $x^o = u^o + v^o$  należy do prawej strony równości (25). Wykazaliśmy, że  $\text{conv } \ln K_+$  jest zbiorem domkniętym.

Tym samym dowód lematu 1 zastał zakończony. Dodajmy, że powłoka wypukła domkniętego i nieograniczonego zbioru nie zawsze jest domknięta (wystarczy rozpatrzyć w  $\mathbb{R}^2$  powłokę wykresu funkcji  $g(x) = 1/x, x \geq 1$ ). Z tego względu wybraliśmy dowód domkniętości powłoki zbioru  $\ln K_+$  związany z jawnym wyznaczeniem tej powłoki.

## Literatura

- BERS L. 1964: *Introduction to several complex variables*. Courant Institute of Math. Sciences, New York University.
- EDWARDS R. 1969: *Functional analysis, theory and applications*. Tłum. ros. Mir, Moskwa.
- SICIAK J. 1973: *Wstęp do teorii funkcji analitycznych wielu zmiennych*. [W]: F. Leja: *Funkcje zespolone*. PWN, Warszawa, s. 266–302.
- ABIKOFF W. 1995: *Remembering Lipman Bers*. Notices Amer. Math. Soc., January 1995

## Summary

**Remarks on monomial convexity in  $\mathbb{C}^N$ .** Well known result that logarithmic convexity implies monomial convexity plays a basic role in the theory of several complex variables. The paper presents a new and detailed proof which exposes formal consequences of logarithmic convexity. Following L. Bers the consideration of monomial hull of a subset  $K$  is reduced to the case when  $K$  is a finite union of closed polydiscs. The essential fact that in this case  $\text{conv } \ln K_+$  is closed follows from explicit description of  $\text{conv } \ln K_+$ .

## Authors' address:

T. Mazur  
Radom Technical University  
26–600 Radom  
ul. Malczewskiego 29  
Poland

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

**Helena KAZIEKO, Lucyna KAZIEKO**

Katedra Zastosowań Matematyki

Department of Applied Mathematics

## **Nieliniowe zagadnienie konsolidacji warstwy trójfazowego gruntu**

### **A nonlinear consolidation of three-phase soils**

#### **Wstęp**

W niniejszej pracy przeprowadzono obliczenia konsolidacji warstwy trójfazowego gruntu, opisując zagadnienie równaniem różniczkowym nieliniowym. Określono nadwyżkę ciśnienia porowego jako funkcji współrzędnej (pionowej) i czasu, uwzględniając zmiany współczynników ściśliwości, filtracji i objętości sprężonego powietrza w procesie konsolidacji warstwy gruntu. To zmiany tych współczynników decydują o nadwyżce ciśnienia w porach. Matematyczny opis tych zjawisk prowadzi do rozwiązania nieliniowego równania różniczkowego rzędu drugiego (typu parabolicznego) z nieciągłymi współczynnikami, przy odpowiednim postawieniu warunków brzegowych i początkowych.

#### **Sformułowanie zagadnienia**

Przyjmujemy następujące oznaczenia:

$u = u(x, t)$  – nadwyżka ciśnienia porowego,

$x$  – współrzędna pionowa,

$t$  – czas,

$h = h(t)$  – grubość warstwy gruntu,

$\varepsilon$  – wskaźnik porowatości gruntu,

$\aleph$  – stosunek objętości fazy gazowej do objętości fazy ciekłej w jednostce objętości gruntu,

$\aleph_0$  – początkowa wartość, odpowiadająca ciśnieniu atmosferycznemu,

$\alpha$  – współczynnik w prawie Henry'ego charakteryzujący rozpuszczalność powietrza,

$p_0$  – ciśnienie atmosferyczne,

$p$  – ciśnienie hydrostatyczne (ciśnienie kapilarne zaniedbujemy),

$\gamma_m$  – ciężar właściwy gruntu,  
 $\gamma$  – ciężar właściwy wody,  
 $a = a(x, t, u)$  – współczynnik ściśliwości gruntu,  
 $k = k(\varepsilon)$  – współczynnik filtracji,  
 $\sigma$  – efektywne normalne naprężenie w szkielecie gruntu,  
 $\gamma_0$  – początkowy ciężar właściwy szkieletu gruntu,  
 $\omega_0$  – początkowa wilgotność gruntu,  
 $G_0$  – początkowy wskaźnik nasycenia wodą.

Jednowymiarowe zagadnienie konsolidacji nasyconego wodą gruntu z uwzględnieniem zależności właściwości gruntu od nadwyżki ciśnienia porowego, można opisać za pomocą równania (Kazieko 1996)<sup>1</sup>:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\gamma_m}{\omega \gamma} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1 + \varepsilon}{a \gamma \omega} \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$\omega = 1 + \frac{\varepsilon(\aleph + \alpha)}{(\aleph + 1)ap}, \quad (2)$$

gdzie:

$$\aleph = \frac{p_0}{p} (\aleph_0 + \alpha) - \alpha, \quad (3)$$

$$k = k(\varepsilon), \quad (4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon(\sigma), \quad (5)$$

$$a = - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma}, \quad (6)$$

$$p = p_0 + \gamma H - \gamma x \quad (7)$$

$$\sigma = \gamma_m h - \gamma u - (\gamma_m - \gamma)x. \quad (8)$$

<sup>1</sup>W równaniu nie uwzględnia się wyrazu z całką, por. wzór 6.

Równanie konsolidacji trójfazowego gruntu podane w pracy Florina (1961) zawiera dwie nieznane funkcje:  $u$  – nadwyżka ciśnienia porowego,  $s$  – objętość gazu w jednostce objętości gruntu.

Funkcja  $s$  znajduje się tylko w wyrażeniu określającym  $\omega$ :

$$\omega = 1 + \frac{(s + \alpha n)(1 + \varepsilon)}{ap},$$

gdzie:  $n$  – objętość fazy ciekłej w jednostce objętości gruntu.

W celu rozwiązania zagadnienia w pracy Florina (1961) przyjmuje się  $s$  jako wartość ustaloną. W wyniku takiego uproszczenia otrzymane równanie, jak pokażemy niżej, nie odzwierciedla charakterystycznych cech konsolidacji trójfazowego gruntu.

W niniejszej pracy funkcję  $\omega$  określono za pomocą wzoru (4), wyrażającego zależność między względną objętością powietrza i ciśnieniem w porach.

Zatem równanie (1) różni się od równania w pracy Florina (1961) postacią funkcji  $\omega$ . W konsekwencji, rozwiązanie zagadnienia konsolidacji trójfazowego gruntu różni się jakościowo od rozwiązania otrzymanego w pracy Florina (1961).

Podobnie jak we wcześniejszych pracach (Kazieko 1995, 1996) funkcje  $k = k(\varepsilon)$  i  $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$  aproksymujemy następująco:

$$k = A \exp \beta \varepsilon, \quad (9)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - c \ln(1 + b\sigma). \quad (10)$$

Wówczas

$$a = \frac{cb}{1 + b\sigma}, \quad (11)$$

gdzie  $A, \beta, c, b$  – stałe.

Zauważmy, że funkcja  $\omega$  jest nieciągła. Istotnie, przy zwiększeniu ciśnienia w porach następuje skurczenie i rozpuszczenie powietrza do momentu, gdy nie rozpuści się ono w (porowatej) wodzie. Temu stanowi odpowiada  $\kappa = 0$ . Dalsze zwiększanie ciśnienia w porach nie narusza ostatniej równości, lecz przy pełnym nasyceniu gruntu wodą  $\omega = 1$ , gdy tymczasem z zależności (2) wynika, że dla  $\kappa = 0$ ,  $\omega > 1$ . Nieciągłość funkcji  $\omega$  wiąże się z uwzględnieniem rozpuszczalności powietrza.

Warunki brzegowe dla warstwy gruntu położonej na nieprzepuszczalnym podłożu mają postać:

$$u = u(t) \text{ dla } x = h(t),$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \text{ dla } x = 0$$

Warunek początkowy

$$u = \Delta q \text{ dla } t = 0,$$

gdzie  $\Delta q$  jest przyłożonym obciążeniem zewnętrznym.

Ponadto przyjmujemy, że miąższość warstwy  $h$  jest proporcjonalna do czasu  $t$ .

Do obliczeń numerycznych zastosowano niejawną schemat różnic skończonych. Przyjęto następujące wielkości parametrów występujących w zależnościach (7)–(11) (dane eksperymentalne otrzymano z Instytutu Hydromelioracyjnego w Moskwie):

$$A = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s};$$

$$b = 65 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{G};$$

$$c = 62 \cdot 10^{-3}; \quad \beta = 12;$$

$$\gamma_m = 2,16 \text{ G/cm}^3;$$

$$\gamma = 1,0 \text{ G/cm}^3; \quad \varepsilon_0 = 0,62;$$

$$p_0 = 1000 \text{ G/cm}^2;$$

$$\kappa_0 = 0,25; \quad \alpha = 0,019;$$

$$\gamma_0 = 1,69 \text{ G/cm}^3;$$

$$w_0 = 0,181; \quad (G_0 = 0,80).$$

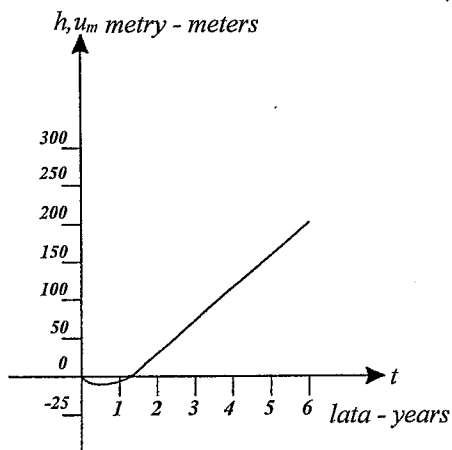
Przy powyższych wartościach parametrów wykonano obliczenia numeryczne nadwyżki ciśnienia w różnych punktach warstwy gruntu obciążonego przepływającą wodą ku dołowi.

## Wyniki obliczeń

Zależność nadwyżki ciśnienia porowego od czasu  $t$  na podłożu warstwy gruntu przedstawia rysunek 1. Rozkład ciśnienia względem wysokości przedstawiają rysunki: 2 i 3.

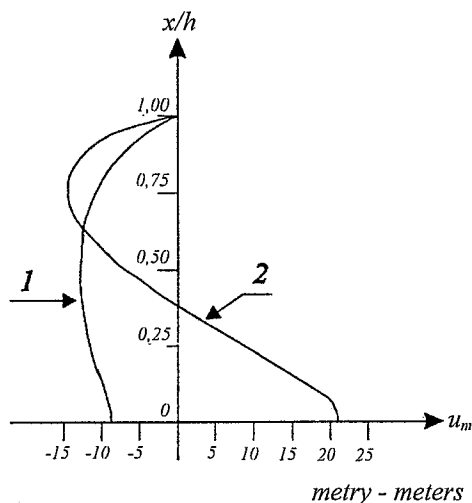
Otrzymane wyniki można zinterpretować następująco:

- W pewnej odległości od powierzchni warstwy (zależnej od prędkości procesu konsolidacji) ciśnienie w porach jest zbliżone do początkowego ciśnienia atmosferycznego. Tak więc ciężar wody w porach, położonej w wyższej części warstwy, pozostaje niezrównoważony i woda opada do dołu. Sytuacji tej na wykresach odpowiada spadek ciśnienia (wraz z głębokością) w górnej części warstwy.



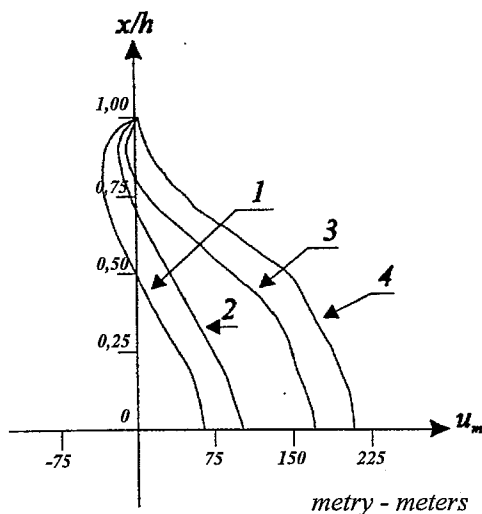
Rys. 1. Zależność nadwyżki ciśnienia na podłożu warstwy od czasu przy  $\frac{x}{h} = 0,50$

Fig. 1. Relationship between excess pore pressure at time on soil layer and time at  $\left(\frac{x}{h} = 0,50\right)$



Rys. 2. Rozkład nadwyżki ciśnienia względem wysokości warstwy w czasie  $t = 4$  lata: 1 -  $h = 50$  (m); 2 -  $h = 100$  (m)

Fig. 2. Distribution of excess pore pressure in soil layer during four years of consolidation: 1 -  $h = 50$  (m); 2 -  $h = 100$  (m)



Rys. 3. Rozkład nadwyżki ciśnienia względem wysokości warstwy w czasie  $t = 4$  lata: 1 -  $h = 150$  (m); 2 -  $h = 200$  (m); 3 -  $h = 250$  (m); 4 -  $h = 300$  (m)

Fig. 3. Distribution of excess pore pressure in soil layer during four years of consolidation: 1 -  $h = 150$  (m); 2 -  $h = 200$  (m); 3 -  $h = 250$  (m); 4 -  $h = 300$  (m)

- Wskutek ruchu wody następuje sprężenie powietrza w niżej położonych warstwach gruntu, co powoduje wzrost ciśnienia w porach. Ponadto, pod wpływem wyżej położonych warstw gruntu, warstwy niższe podlegają procesowi ściśliwości, co prowadzi do zmniejszenia porowatości, przyrostu ciśnienia znajdującego się powietrza, powiększenia ciśnienia porowego i usunięcia wody z warstw dolnych do wyższych. Powiększenie ciśnienia (wraz z głębokością) w dolnej części wykresów, odpowiada wskazanemu kierunkowi przepływu wody. Zatem krzywe rozkładu ciśnienia mają minimum, którego położenie przemieszcza się do góry, w

miarę przebiegu konsolidacji warstwy (rys. 2 i rys. 3).

- W modelu liniowym, ciśnienie jest funkcją rosnącą głębokości. Zagadnienie konsolidacji trójfazowego gruntu jest w zasadzie analogiczne do zagadnienia dla pełnego nasycenia gruntu wodą, w zagadnieniu tym rolę wielkości  $\gamma$  odgrywa iloczyn  $\omega\gamma$ , przy nieziennej wartości  $\gamma_m$ . Z powyższego wynika, że charakterystyczne właściwości konsolidacji trójfazowego gruntu mogą być otrzymane tylko przez rozwiązanie zagadnienia nieliniowego.

## Literatura

- DAVI'S E.H., RAYMOND G.P. 1975: *A non-linear theory of consolidation*. Geotechnique nr 15.
- JANBU N. 1965: *Consolidation of clay layers based on non-linear stress-strain*. Proc. 6th Internat. Conf. Soil Mech. and Foundat. Engng, Montreal, Vol. 2, Div. 3–6.
- FLORIN W.A. 1961: *Osnowy mechaniki gruntów*. Gosstrojizdat, t. 2.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1994: *O nieliniowym zagadnieniu konsolidacji ośrodka trójfazowego*, Przegl. Nauk. Wyd. MiIŚ, SGGW, z. 6.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1995: *O rozwiązaniu nieliniowych zagadnień konsolidacji* gruntów. Przegl. Nauk. Wyd. MiIŚ, SGGW, z. 7.
- KAZIEKO H., KAZIEKO L. 1996: *Rozwiązanie nieliniowego jednowymiarowego zagadnienia konsolidacji gruntów*. Przegl. Nauk. Wyd. MiIŚ, SGGW, z. 12.

## Summary

**A nonlinear consolidation of three-phase soils.** Using a nonlinear differential equation, the consolidation of a gradually erected layer of a three-phase soil was computed. The calculation of pressure as a function of the coordinate and time included the variations occurring during the compression process and pore water flow in the volume of entrapped air was carried out.

The obtained results differ qualitatively from the solution of a similar linear analysis.

It was demonstrated that the characteristic features inherent in consolidation of a three-phase soil can be determined only by solving the nonlinear problem.

### Autors' address:

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



Wojciech HYB

Katedra Zastosowań Matematyki SGGW  
Department of Applied Mathematics

## Matematyczne aspekty wyznaczania parametrów hydraulicznie najkorzystniejszego koryta o przekroju parabolicznym i trapezowym

### Mathematical aspects of determination of the parameters of the best hydraulic channel shape for parabolic and trapezoidal sections

Wyznaczenie parametrów poprzecznego przekroju koryta, spełniającego warunek maksymalnego natężenia przepływu w ruchu ustalonym przy danym kształcie i polu powierzchni tego przekroju, jest zadaniem często rozwiązywanym w praktyce. Teoretyczne sformułowanie problemu sprowadza się do poszukiwania minimum funkcji określającej długość obwodu zwilżonego przekroju. W artykule przedstawiono metodykę obliczania parametrów hydraulicznie najkorzystniejszego koryta o przekroju parabolicznym i trapezowym.

#### Hydraulicznie najkorzystniejszy przekrój paraboliczny

Rozważmy przekrój poprzeczny koryta o danym polu powierzchni  $F$

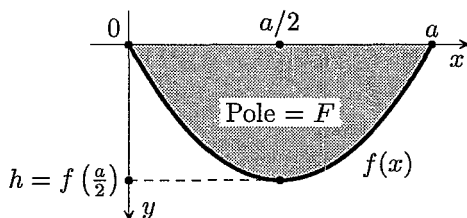
i obwodzie zwilżonym w kształcie paraboli. W układzie współrzędnych pokazanych na rysunku 1 obwód zwilżony danego przekroju opisuje funkcja

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{4h}{a^2} x(a-x) \\ &= \frac{4h}{a^2} (ax - x^2), \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

$a$  – szerokość przekroju koryta,

$h$  – maksymalna głębokość koryta.



Rys. 1. Paraboliczny przekrój koryta

Fig. 1. Parabolic section of the channel

Wyznaczenie parametrów hydraulicznie najkorzystniejszego koryta parabolicznego polega na wyznaczeniu wartości dodatnich  $a$  i  $h$  tak, aby

1° pole ograniczone wykresem funkcji  $f$  dla  $x \in [0, a]$  i osią  $0X$  wynosiło

$$F \text{ tzn. } \int_0^a f(x) dx = \frac{2}{3} ah = F,$$

2° długość wykresu funkcji  $f$  dla  $x \in [0, a]$  była możliwie najmniejsza, co sprowadza się do wyznaczenia najmniejszej wartości funkcji określającej długość krzywej (Janowski 1970)

$$L = L(f, a) = \int_0^a \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx.$$

Jeśli podstawić teraz  $A = \frac{4h}{a}$ , to  $A > 0$  i na mocy 1° oraz wzoru (1) otrzymujemy

$$f(x) = \frac{A}{a} x(a - x)$$

oraz

$$F = \frac{Aa^2}{6}.$$

Zatem

$$a = \sqrt{6F/A} \quad (2)$$

Wyznamy teraz wartość  $L(f, a)$  dla danej funkcji  $f$  (wzór (1)) oraz  $a$  określonego wzorem (2) (patrz warunek 2°). Obliczamy kolejno:

$$f'(x) = \frac{A}{a}(a - 2x),$$

$$L(f, a) = \int_0^a \sqrt{1 + \frac{A^2}{a^2}(a - 2x)^2} dx.$$

W ostatniej całce podstawiamy  $u = \frac{A}{a}(a - 2x)$ , co przeprowadza przedział całkowania  $[0, a]$  na przedział  $[-A, A]$  dla zmiennej  $u$ . Ponieważ  $x = (-\frac{1}{2})(\frac{a}{A}u - a)$ , to  $dx = -\frac{1}{2}\frac{a}{A}du$ . Zatem długość obwodu zwilżonego przekroju

$$L(f, a) = \int_{-A}^A \sqrt{1 + u^2} \frac{a}{2A} du = \frac{a}{A} \int_0^A \sqrt{1 + u^2} du$$

na mocy parzystości funkcji podcałkowej. Ponieważ

$$\begin{aligned} \int \sqrt{1 + u^2} du &= \\ &= \frac{1}{2} \left[ u\sqrt{1 + u^2} + \ln(u + \sqrt{1 + u^2}) \right] + C, \end{aligned} \quad (3)$$

to

$$\begin{aligned} L(f, a) &= \frac{a}{2A} \left[ u\sqrt{1 + u^2} + \ln(u + \sqrt{1 + u^2}) \right] \Big|_0^A = \\ &= \frac{a}{2A} \left[ A\sqrt{1 + A^2} + \ln(A + \sqrt{1 + A^2}) \right]. \end{aligned}$$

Stosując wzór (2) otrzymujemy:

$$\begin{aligned} L(f, a) &= \\ &= \frac{\sqrt{6F}}{2A^{3/2}} \left[ A\sqrt{1 + A^2} + \ln(A + \sqrt{1 + A^2}) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Ponieważ  $\frac{\sqrt{6F}}{2}$  jest liczbą stałą, to

warunek 2° sprowadza się do znalezienia najmniejszej wartości funkcji:

$$g(A) = \frac{1}{A^{3/2}} \left[ A\sqrt{1+A^2} + \ln \left( A + \sqrt{1+A^2} \right) \right] \quad (5)$$

określonej dla  $A > 0$  i różniczkowanej. Obliczamy jej pochodną.

$$g'(A) = -\frac{3}{2A^{5/2}} \left[ A\sqrt{1+A^2} + \ln \left( A + \sqrt{1+A^2} \right) \right] + \frac{1}{A^{3/2}} \cdot 2\sqrt{1+A^2}$$

(wzór (3)). Zatem

$$\begin{aligned} g'(A) &= \frac{1}{2A^{5/2}} \left[ -3A\sqrt{1+A^2} - 3 \ln \left( A + \sqrt{1+A^2} \right) + 4A\sqrt{1+A^2} \right] = \\ &= \frac{1}{2A^{5/2}} \left[ A\sqrt{1+A^2} - 3 \ln \left( A + \sqrt{1+A^2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Niech

$$h(A) = A\sqrt{1+A^2} - 3 \ln \left( A + \sqrt{1+A^2} \right) \quad (6)$$

dla  $A \geq 0$ .

Zatem  $h(0) = 0$  oraz

$$h'(A) = \sqrt{1+A^2} + \frac{A^2}{\sqrt{1+A^2}} - \frac{3}{\sqrt{1+A^2}} =$$

$$= \frac{1+A^2+A^2-3}{\sqrt{1+A^2}} = \frac{2(A^2-1)}{\sqrt{1+A^2}}.$$

Stąd wynika, że  $h'(A) < 0$  dla  $A \in (0, 1)$  oraz  $h'(A) > 0$  dla  $A > 1$ . To pokazuje, że dla  $A = 1$  funkcja  $h$  osiąga wartość minimalną, która wynosi  $h(1) = \sqrt{2} - 3 \ln(1 + \sqrt{2}) \approx -1,23$ . Ponieważ dla  $A > 1$  funkcja  $h$  jest rosnąca oraz  $h(5) \approx 18,56 > 0$ , to dla  $A > 0$  funkcja  $h$  ma dokładnie jedno miejsce zerowe  $A_0$ , ponadto  $A_0 > 1$ . Zatem  $h(A) < 0$  dla  $A \in (0, A_0)$  oraz  $h(A) > 0$  dla  $A > A_0$ . Stąd wynika, że  $g'(A) < 0$  dla  $A \in (0, A_0)$  oraz  $g'(A) > 0$  dla  $A > A_0$ . Zatem w punkcie  $A_0$  funkcja  $g$  ma minimum i ponieważ jest to jedyne ekstremum funkcji  $g$ , to dla  $A = A_0$  funkcja  $g$  przyjmuje wartość najmniejszą. Na podstawie wzoru (6) liczba  $A_0$  spełnia równanie:

$$A_0 \sqrt{1+A_0^2} = 3 \ln \left( A_0 + \sqrt{1+A_0^2} \right).$$

Wyznaczenie  $A_0$  metodą przybliżoną daje wynik  $A_0 \approx 1,946$ . Wówczas na podstawie wzorów (2) i (4) otrzymujemy:

$$a = \sqrt{6F/A_0} \approx 1,75592\sqrt{F}.$$

$$\begin{aligned} L(f, a) &= \frac{a}{2A_0} \left[ A_0 \sqrt{1+A_0^2} + \ln \left( A_0 + \sqrt{1+A_0^2} \right) \right] \approx \\ &\approx 2,5612\sqrt{F}, \end{aligned}$$

a funkcja  $f$  ma postać (wzór (1))

$$f(x) = \frac{A_0}{a}x(a-x) \approx \\ \approx \frac{1,10825x}{\sqrt{F}}(1,75592\sqrt{F} - x).$$

Maksymalna głębokość parabolicznego przekroju koryta

$$h = f\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{A_0 a}{4} \approx 0,85425\sqrt{F}.$$

Na podstawie przeprowadzonych analiz dla koryta o przekroju parabolicznym, szerokości  $a$  i maksymalnej głębokości  $h$ , można podać następujące równania i zależności:

1° równanie krawędzi koryta ma postać  $f(x) = \frac{4h}{a^2}x(a-x)$ ,  $x \in [0, a]$ ;

2° podstawiając  $A = \frac{4h}{a}$  otrzymujemy:

pole przekroju poprzecznego koryta  $F = \frac{Aa^2}{6} = \frac{2}{3}ah$ ,  
obwód zwilżony

$$O_z = L(f, a) = \\ = \frac{a}{2A} \left[ A\sqrt{1+A^2} + \right. \\ \left. + \ln \left( A + \sqrt{1+A^2} \right) \right],$$

promień hydrauliczny

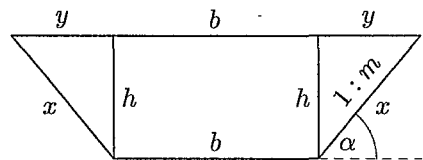
$$R_h = \frac{F}{O_z} = \\ = \frac{4}{3} \cdot \frac{A}{A\sqrt{1+A^2} + \ln(A + \sqrt{1+A^2})} \cdot h; \quad (7)$$

3° dla hydraulicznie najkorzystniejszego koryta o przekroju parabolicznym i danym polu przekroju  $F$  ( $A = A_0 \approx 1,946$ ) otrzymuje się następujące parametry przekroju:  $a \approx 1,75592\sqrt{F}$ ;  $h \approx 0,85425\sqrt{F}$ ;

$$O_z = L \approx 2,5612\sqrt{F}; \quad R_h \approx 0,39044\sqrt{F} \approx 0,45706h.$$

## Hydraulicznie najkorzystniejszy przekrój trapezowy

Rozważmy teraz koryto, którego przekrój poprzeczny ma kształt trapezu równoramiennego o danym polu powierzchni  $F$ . Niech  $b$  oznacza szerokość dna koryta,  $h$  jego głębokość i  $m$  nachylenie skarp koryta (rys. 2).



Rys. 2. Trapezowy przekrój koryta

Fig. 2. Trapezoidal section of the channel

Na podstawie zależności trygonometrycznej  $m = \text{ctg } \alpha$ . Ponadto  $y = mh$ ,  $x = \sqrt{h^2 + y^2} = h\sqrt{1+m^2}$ , pole powierzchni przekroju  $F = (b + y)h = (b + mh)h$ . Z ostatniej równości obliczamy  $\frac{F}{h} = b + mh$ , stąd

$$b = \frac{F}{h} - mh \quad (8)$$

Obwód zwilżony wynosi  $L = 2x + b$ . Podstawiamy wyznaczone  $b$  oraz  $x$  do wzoru na  $L$  i otrzymujemy

$$L = \frac{F}{h} - mh + 2h\sqrt{1+m^2} = \\ = \frac{F}{h} + h(2\sqrt{1+m^2} - m). \quad (9)$$

Rozwiązanie problemu polega na wyznaczeniu najmniejszej wartości funkcji  $L$  określonej wzorem (9) i zależnej od zmiennych  $h$  oraz  $m$ . Ze względu na definicję  $m$  mamy  $m \geq 0$ .

Ponadto  $h > 0$  oraz  $b > 0$ . Zatem na podstawie wzoru (8) jest  $h < \sqrt{\frac{F}{m}}$  dla  $m > 0$ . Jeśli dla  $m = 0$  przyjąć wartość  $\sqrt{\frac{F}{m}} = \infty$ , to otrzymamy zbiór określoności funkcji  $L$  w postaci

$$\left\{ (m, h) \in \mathbb{R}^2 : \right. \\ \left. : 0 < h < \sqrt{\frac{F}{m}}, m \geq 0 \right\} \quad (10)$$

Wyznamy minimum globalne funkcji  $L$  w sposób nietypowy. Dla ustalonego  $m \geq 0$  niech  $a = 2 \cdot \sqrt{1 + m^2} - m$ . Łatwo zauważyć, że  $a > m$ . Wówczas ze wzoru (9) wynika, że

$$L = f(h) = \frac{F}{h} + ha, \\ h \in \left( 0, \sqrt{\frac{F}{m}} \right) \quad (11)$$

skąd  $f'(h) = -\frac{F}{h^2} + a$ . Zatem  $f'(h) = 0 \Leftrightarrow h = \pm \sqrt{\frac{F}{a}}$  i ze względu na warunek dla  $h$  otrzymujemy  $h_0 = \sqrt{\frac{F}{a}}$ . Ponieważ  $a > m$ , to  $h_0 = \sqrt{\frac{F}{a}} < \sqrt{\frac{F}{m}}$ , a zatem  $h_0$  należy do dziedziny funkcji  $f$ . Obliczamy drugą pochodną:  $f''(h) = \frac{2F}{h^3}$ . Stąd wynika, że  $f''(h_0) > 0$  a zatem dla  $h = h_0$  jest minimum funkcji  $f$ . Ponieważ w rozpatrywanym przedziale dla  $h$  funkcja  $f$  ma tylko jedno ekstremum minimum, to dla  $h = h_0$  funkcja  $f$  przyjmuje wartość najmniejszą. Na podstawie wzoru (11)

$$L_0 = f(h_0) = \frac{F + h_0^2 a}{h_0} = \\ = \frac{2F}{\sqrt{\frac{F}{a}}} = 2\sqrt{Fa} = \\ = 2\sqrt{F(2\sqrt{1 + m^2} - m)}. \quad (12)$$

Wartość  $L_0$  jest najmniejszą wartością funkcji  $L$  określonej wzorem (9) przy ustalonym  $m \geq 0$ . Wyznamy teraz najmniejszą wartość funkcji  $L_0$  określonej wzorem (12) dla  $m \geq 0$ . Jest to równoznaczne z wyznaczeniem najmniejszej wartości funkcji różniczkowalnej:

$$a(m) = 2\sqrt{1 + m^2} - m, \\ \text{dla } m \geq 0 \quad (13)$$

Stąd wynika, że

$$a'(m) = \frac{2m}{\sqrt{1 + m^2}} - 1 = \\ = \frac{2m - \sqrt{1 + m^2}}{\sqrt{1 + m^2}} = \\ = \frac{4m^2 - (1 + m^2)}{\sqrt{1 + m^2}(2m + \sqrt{1 + m^2})} = \\ = \frac{3m^2 - 1}{\sqrt{1 + m^2}(2m + \sqrt{1 + m^2})}.$$

Zatem  $a'(m) = 0 \Leftrightarrow m = \pm \frac{1}{\sqrt{3}} = \pm \frac{\sqrt{3}}{3}$  i ponieważ  $m \geq 0$ , to  $m_0 = \frac{\sqrt{3}}{3}$  jest jedynym punktem, w którym może być ekstremum funkcji  $a$ . Ponieważ mianownik  $a'(m)$  jest stale dodatni, to  $a'(m) > 0$  ( $a'(m) < 0$ )  $\Leftrightarrow 3m^2 - 1 > 0$  ( $3m^2 - 1 < 0$ ). Stąd łatwo sprawdzić, że dla  $m \in [0, \frac{\sqrt{3}}{3})$  jest

$a'(m) < 0$ , a dla  $m \in (\frac{\sqrt{3}}{3}, \infty)$  jest  $a'(m) > 0$ . Zatem w punkcie  $m_0 = \frac{\sqrt{3}}{3}$  jest minimum funkcji  $a$  i ponieważ jest to jedyne ekstremum funkcji  $a$  dla  $m \geq 0$ , to w  $m = m_0$  funkcja  $a$  przyjmuje wartość najmniejszą. Wówczas  $a = 2\sqrt{1 + \frac{3}{9}} - \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{4\sqrt{3}}{3} - \frac{\sqrt{3}}{3} = \sqrt{3}$  oraz  $h = \sqrt{\frac{F}{a}} = \sqrt{\frac{F}{\sqrt{3}}}$ .

Z przedstawionych wyżej rozważań wynika natychmiast, że najmniejsza wartość  $L$  jest dla  $m = \frac{\sqrt{3}}{3}$  i  $h = \sqrt{\frac{F}{\sqrt{3}}}$ . Zatem  $b = \frac{F}{h} - mh = \sqrt{\frac{4F}{3\sqrt{3}}}$ ,  $x = \sqrt{\frac{F}{\sqrt{3}}} \sqrt{1 + \frac{3}{9}} = \sqrt{\frac{4F}{3\sqrt{3}}}$ ,  $L = \frac{F}{h} + ah = 2\sqrt{Fa} = 2\sqrt{\sqrt{3}F}$ , a górna podstawa trapezu  $b + 2mh = 4\sqrt{\frac{F}{3\sqrt{3}}} = 2b$ . Wówczas  $\text{ctg } \alpha = m = \frac{\sqrt{3}}{3}$ , a więc  $\alpha = 60^\circ$ .

Taki sposób rozwiązywania zadania ma dwie zalety. Pokazuje łatwo, że w danym punkcie jest najmniejsza wartość funkcji  $L$ . Ponadto daje możliwość wyznaczenia minimum funkcji  $L$  przy ustalonej wartości parametru  $m$  (tzn. przy ustalonym nachyleniu skarp kanału). Przy ustalonym  $m$  i wartości  $L_0$  obliczonej wzorem (12) promień hydrauliczny

$$R_h = \frac{F}{L_0} = \frac{F}{2\sqrt{Fa}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{a}} = \frac{1}{2} h_0.$$

Jeśli ustalić  $h > 0$  i poszukać najmniejszej wartości  $L$  w zależności od  $m$ , to zadanie sprowadza się do wyznaczenia minimalnej wartości funkcji  $a(m)$  określonej wzorem (13) (por.

wzór. 9). Stąd łatwo otrzymamy wartość  $m = \frac{\sqrt{3}}{3}$ , a więc na podstawie wzoru (10) mamy  $h < \sqrt{F\sqrt{3}}$ . Jeśli zatem  $h$  nie spełnia ostatniej nierówności, to  $L$  jest malejącą funkcją zmiennej  $m$  i osiągnie wartość najmniejszą dla takiej wartości  $m$ , dla której  $b = 0$ .

## Summary

**Mathematical aspects of determination of the parameters of the best hydraulic channel shape for parabolic and trapezoidal sections.** Let us fix the hydraulic slope, roughness coefficient and cross-sectional area of the channel. Then, by Chezy's formula, the discharge is a decreasing function of the wetted perimeter. In the present paper we determine the parameters of the parabolic and trapezoidal sections of these channel for which the wetted perimeter is minimal. We show that the considered functions attain lower bound at the determined points and we give formulas for practical calculations.

## Literatura

- JANOWSKI W. 1970: *Matematyka*, t. 2, PWN.  
SKIBIŃSKI J. 1969: *Hydraulika*, PWN  
SZUSTER A. i UTRYSKO B. 1992: *Hydraulika i podstawy hydromechaniki*, Wyd.PW

## Author's address

W. Hyb  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Edward WIENCLAW**

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

## **Sytuacja hydrogeologiczna Skarpy Ursynowskiej** **Hydrogeological situation of Ursynów Scarp**

### **Wstęp**

Skarpa Ursynowska jest fragmentem Skarpy Warszawskiej. Odcinek Skarpy od Powsina do Dolinki Służewieckiej stanowi północno-wschodnią granicę gminy Warszawa-Ursynów. W obrębie Skarpy i terenów przyskarpowych występują cenne zabytki kultury, wartościowe obiekty przyrodnicze oraz tereny wyróżniające się w skali całego miasta wyjątkowymi walorami krajobrazowymi (Wolski 1997).

Od momentu powstania zespołu urbanistycznego Ursynów-Natolin, na terenach Skarpy i terenach przyskarpowych obserwuje się postępującą degradację środowiska i krajobrazu. Podstawą do działań mających na celu ograniczenie dalszej degradacji Skarpy było ustanowienie w ubiegłym roku terenów Skarpy rezerwatem przyrody oraz przyjęcie w marcu 1997 r. przez Radę Gminy Warszawa-Ursynów uchwały dotyczącej opracowania programu ochrony Skarpy Ursynowskiej (65 sesja Rady Gminy).

Przedmiotem pracy jest prezentacja sytuacji hydrogeologicznej ursynowskiego odcinka Skarpy Warszawskiej oraz wstępna ocena zmian warunków hydrogeologicznych terenów przyległych do Skarpy pod wpływem urbanizacji.

Podstawowy materiał do opracowania stanowią profile sond i otworów penetracyjnych wykonanych w rejonie Skarpy Ursynowskiej w ramach realizacji ćwiczeń terenowych z hydrogeologii ze studentami Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW, profile wierceń geotechnicznych zebrane w pracy Badziaka i Sternickiego (1985) i w pracach Mroza i Smagały (1995a, 1995b) oraz profile otworów studziennych ujęcia wód podziemnych udostępnione przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji Miejskich SGGW.

### **Położenie i wysokości względne Skarpy**

Skarpa Warszawska ciągnie się po lewej stronie Wisły od okolic Czerska po Żoliborz. Jest to strome, ostro zarysowa-

ne w morfologii terenu zbocze, stanowiące krawędź wysoczyzny polodowcowej. Według ogólnej rejonizacji fizycznogeograficznej (Kondracki 1977), Skarpa Warszawska stanowi granicę dwóch mezoregionów: Równiny Warszawskiej (wysoczyzny lodowcowej) i doliny środkowej Wisły, wchodzących w skład Niziny Środkowomazowieckiej. Kolago i Chrzanowski (1975) w swej pracy *Przejawy wód podziemnych w strefie Skarpy Warszawskiej* piszą, że przebiega ona pomiędzy doliną a wysoczyzną, a określenie, że dzieli ona te dwie jednostki geomorfologiczne nie jest bardziej uzasadnione niż to, które mówi, że je łączy.

Na odcinku od Powsina do Dolinki Służewieckiej Skarpa zachowuje w swoim biegu ogólnie przebieg dość wyrównany, zbliżony do prostoliniowego, o kierunku SE – NW (rys. 1). Odległości od omawianego odcinka Skarpy do rzeki Wisły wynoszą około 5 km. Skarpa Ursynowska wznosi się nad dolinę od około 10 m do 15 m. Przeciętne pochylenie zbocza wynosi  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$ , ale niekiedy przekracza  $45^{\circ}$ , nie licząc fragmentów o typie obrywów, co można obserwować zwłaszcza w Wolicy. Szerokości pasa skarpowego, rozumiane jako odległości poziome pomiędzy krawędzią górną i dolną Skarpy, wynoszą od około 50 m do ponad 100 m. Urozmaicają Skarpę wąwozy, wcinające się w wysoczyznę na odległość od 50 do 200 m. Na skutek procesów zboczowych u podnóża Skarpy utworzyły się podstokowe deluwia w kształcie połączonych stożków o nachyleniu  $3^{\circ}$ – $5^{\circ}$  i wysokości 3–4 m. Tworzą one pod Skarpą rodzaj przypory (Mróz i

Smagała 1995), tak że w efekcie stroma Skarpa ma wysokość mniejszą (10–12 m).

Wysoczyzna polodowcowa przedstawia się jako dość monotonna powierzchnia, której wysokości wynoszą od 24 do ponad 29 m nad „0” Wisły. Jej ostateczna morfologia jest efektem procesów zachodzących w czasie deglacjacji arealnej zlodowacenia Warty (młodsze gołkowskiego, Lindner 1992), późniejszej erozji i denudacji.

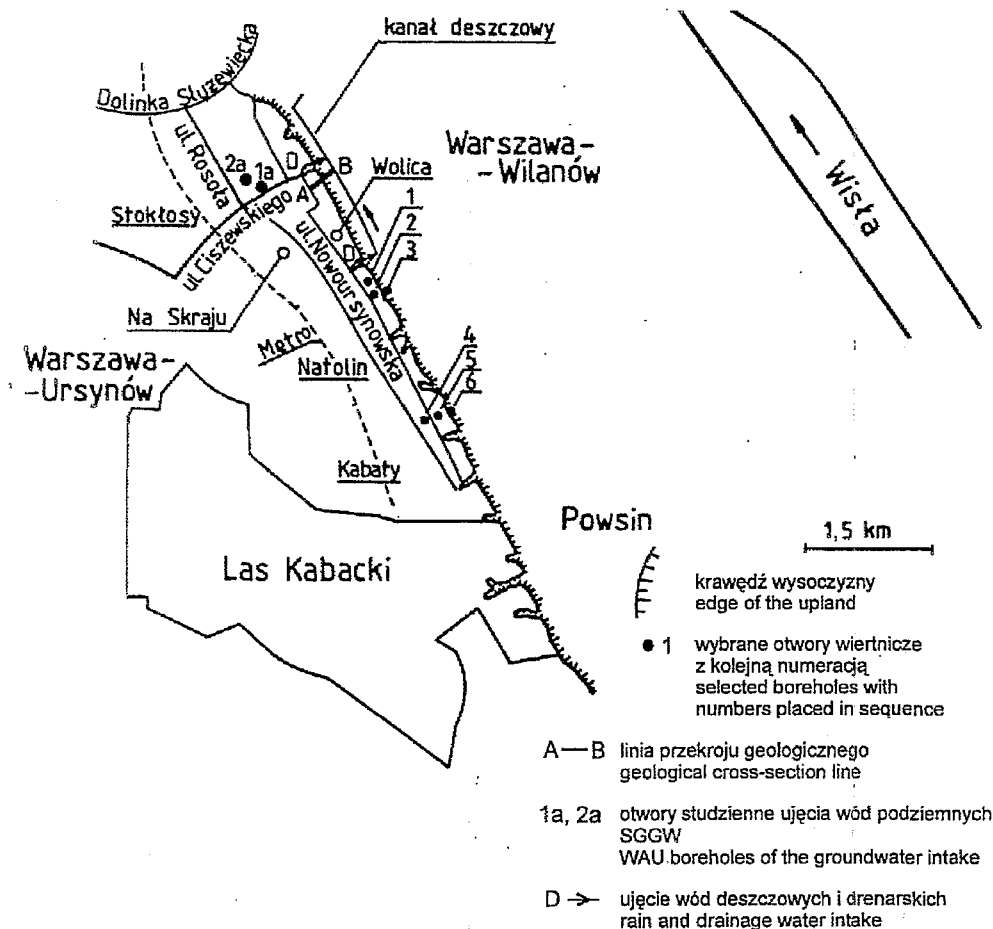
Przyległy do wysoczyzny taras nadzalewowy doliny Wisły powstał w czasie zlodowacenia Wisły (bałtyckiego). Powierzchnia tarasu leży na wysokości około 10 m nad „0” Wisły. Na powierzchni terenu zachowały się ślady przepływu wód Wisły w postaci podłużnych obniżień.

Znacznych zmian dokonał i dokonuje w rzeźbie Skarpy i przyległych fragmentach wysoczyzny i doliny człowiek, np. w miejscu lokalizacji starych zabudowań i nowo powstających teren jest sztucznie wymodelowany, co przejawia się w nadbudowie zbocza, złagodzeniem stromizna zbocza w występowaniu sztucznych stopni i wykopów, wąwóz w Wolicy od lat stanowi „dzikie” składowisko odpadów budowlanych i komunalnych, a w dolinie, w odległości około 150–200 m od Skarpy, przebiega obwałowany kanał deszczowy.

## Zarys budowy geologicznej

Dość powszechnie uważa się, że Skarpa Warszawska powstała w wyniku erozyjnej działalności Wisły. Tak między innymi uważają cytowani wcześniej Ko-





Rys. 1. Szkic lokalizacyjny Skarpy Ursynowskiej  
Fig. 1. Location sketch of the Ursynów Scarp

lago i Chrzanowski (1975), którzy piszą: „Wytworzona została ona przez działalność erozyjną Wisły w dłuższym okresie czasu, do chwili obecnej”. Podobne stanowisko odnośnie genezy Skarpy można znaleźć w młodszych opracowaniach wspominających o pochodzeniu Skarpy. Na przykład Mróz i Smagała (1995a i

1995b) w pracach dotyczących oceny warunków geologicznych i hydrogeologicznych dla planu zagospodarowania przestrzennego Natolina i Wolicy podają, że równocześnie z akumulacją serii tarasowej w wyniku erozji bocznej Wisły powstała Skarpa.

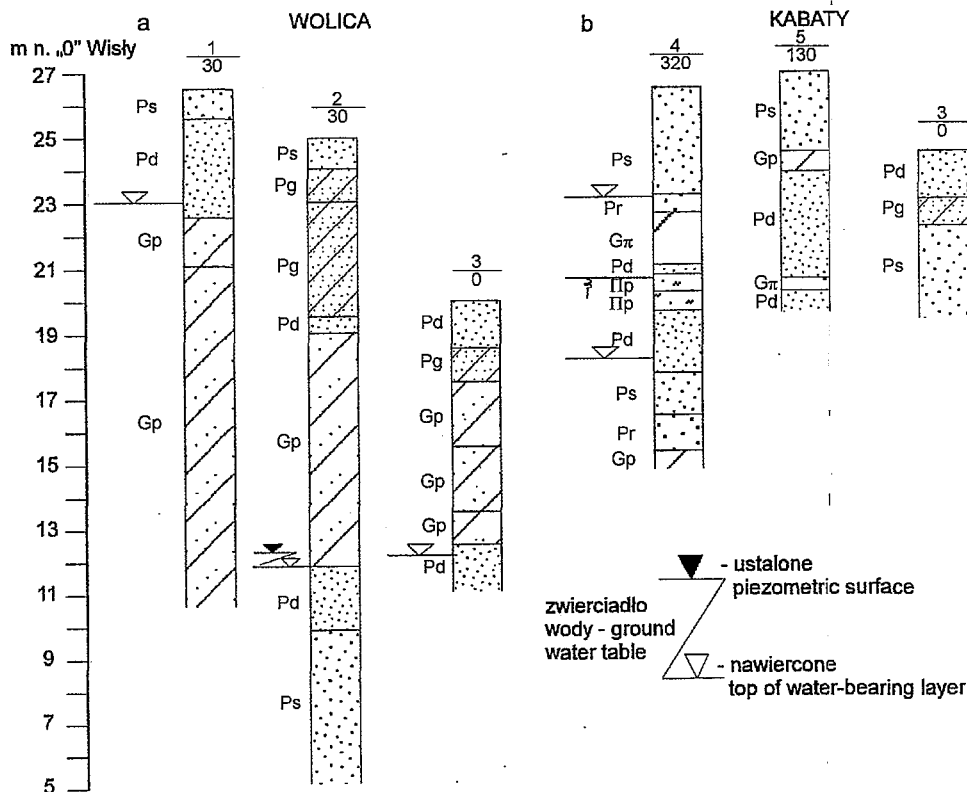
Opierając się między innymi na pracach Brykczyńskiego (1982), Falkowskiego (1982, 1984 i inne), Laskowskiego (1992) i Lindnera (1992), dotyczących genezy i budowy geologicznej doliny Wisły mazowieckiej, należy przyjąć, że Skarpa nie jest wyłącznie dziełem rzeki Wisły. Skarpa Warszawska jest formą poligeniczną. Pierwotnie dolina była modelowana przez wody płynące w miękkim podłożu trzeciorzędowym zbudowanym z iłów pstrych. Modyfikacje w przebiegu doliny Prawisły wniosły lodowce, kilkakrotnie pokrywające dolinę i przyległe wysoczyzny w plejstocenie. Jęzory lodowcowe nasuwających się czasz łodolodu poszerzały dolinę i spiętrzały znacznie jej skarpy. Wody lodowcowe, którym dolina z martwym lodem służyła za trasę przepływu, również erodowały i rzeźbiły wcześniej uformowaną dolinę oraz osadzały w niej materiał piaszczysto-żwirowy. Według Falkowskiego Wisła mazowiecka zaadaptowała na trasę swojego przepływu już istniejącą dolinę glacialną, a rzeczywista rola Wisły w historii geologicznej ograniczała się do obniżania dna doliny lub jego podwyższania, dzięki czemu uformowały się w jej granicach tarasy.

Omawiany obszar znajduje się w Niece Mazowieckiej, rozległej depresji powstałej w trzeciorzędzie (Stupnicka 1981). Kredowe dno niecki stanowią margle, opoki i gezy, których strop leży na głębokości 240–220 m poniżej „0” Wisły. Struktura ta wypełniona jest detrytycznymi osadami trzeciorzędowymi o ogólnej miąższości ponad 200 m. Górną część profilu trzeciorzędu stanowią osady plioceńskie, które reprezentowane są przez kompleks iłów

pstrych z soczewami i warstwami do kilkunastu metrów piasków i pyłów. Miąższość iłów plioceńskich jest zmienna i wynosi około 50 m w dolinie Wisły (na południe od Powsina), ponad 100 m na terenie SGGW (w pobliżu skrzyżowania ulic Rosoła i Ciszewskiego) i 130 m w strefie krawędziowej wysoczyzny. Powierzchnia stropowa utworów plioceńskich, kształtowana pod wpływem procesów glacictonicznych, jak i działalności erozyjnej wód interglacialnych, znajduje się na różnych wysokościach: od 90 m poniżej „0” Wisły w miejscach rozcięć erozyjnych do kilku metrów poniżej „0” Wisły na obszarze wyniesień.

Zróznicowaną powierzchnię stropową iłów plioceńskich przykrywa kompleks osadów czwartorzędowych o zmiennej miąższości, od kilkunastu, a być może kilku metrów wzdłuż wypiętrzenia iłów plioceńskich w strefie krawędziowej wysoczyzny do ponad 100 m w strefie dolin kopalnych (Sarnacka 1976 i 1980). Podstawowe zespoły osadowe wiążą się z akumulacją lodowcową i wodnolodowcową w obrębie wysoczyzny morenowej oraz z akumulacją lodowcową, wodnolodowcową i rzeczno-ą w granicach obecnego systemu dolinnego Wisły.

Sytuację geologiczną Skarpy Ursynowskiej dokumentują wybrane profile litologiczne otworów penetracyjnych, wykonanych na terenie Kabat i Wolicy (rys. 2), przekrój geologiczny przez osady czwartorzędowe, zlokalizowany w pobliżu ul. Ciszewskiego (rys. 3), i szczegółowy przekrój geologiczny przez osady deluwialne (rys. 4) oraz profile geologiczne otworów wiertniczych ujęcia wód podziemnych SGGW w Ursynowie (rys. 5).

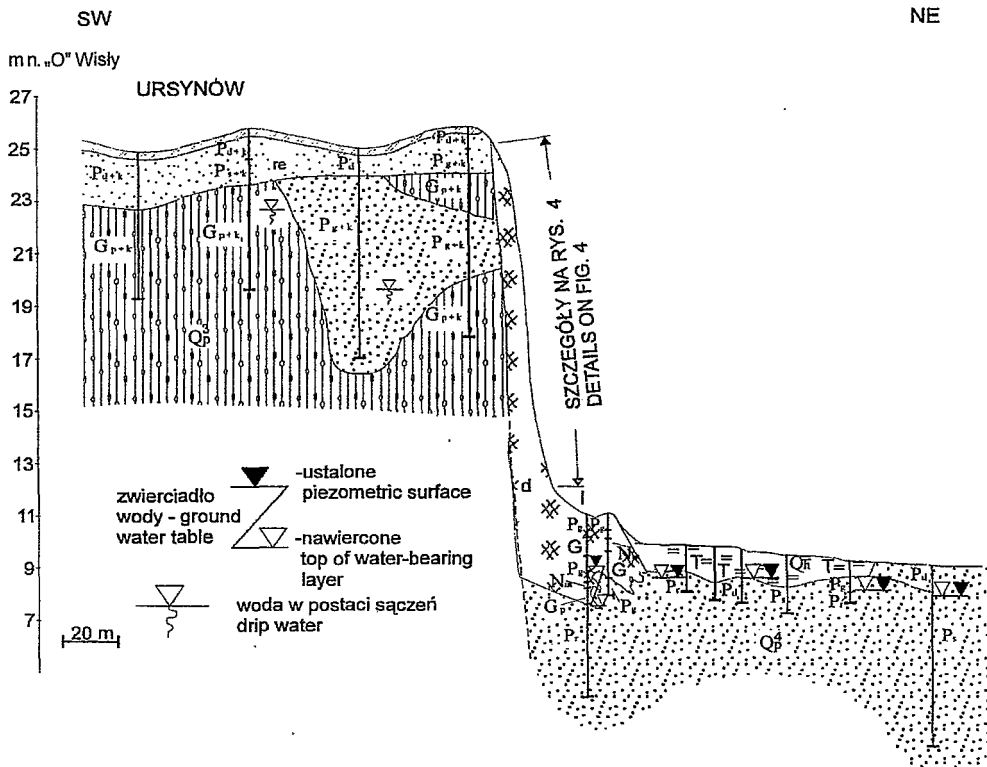


Rys. 2. Profile litologiczne czwartorzędu Skarpy Ursynowskiej; Pd – piasek drobnoziarnisty, Pg – piasek gliniasty, Po – pospółka, Pr – piasek gruboziarnisty, Ps – piasek średnioziarnisty, Ilp – pył piaszczysty, Ż – żwir, Gp – glina piaszczysta, Grp – glina pylasta (wybrano z prac Mroza i Smagały 1995a i 1995b; nad profilem znajduje się jego numer, poniżej numeru odległość w jakiej jest on położony od górnej krawędzi zbocza)

Fig. 2. Litological profiles of Quaternary deposits at Ursynów Scarp; Pd – fine sand, Pg – clayey sand, Po – sandy gravel, Pr – coarse sand, Ps – medium sand, Ilp – sandy silt, Ż – gravel, Gp – sandy clay, Grp – silty clay (Mroz and Smagała 1995a and 1995b; above each profile are shown number and distance from the crest of the scarp)

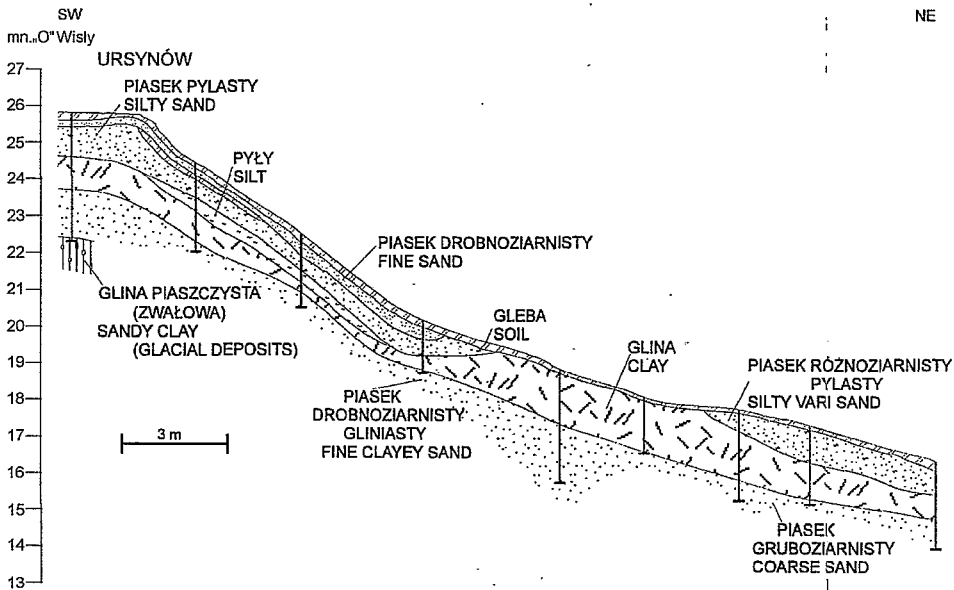
Budowa geologiczna terenu wyso-  
czyzny przedstawia się następująco: na  
pstrych iłach pliocenu lub lokalnie na  
zastoiskowych iłach pylastych megagla-  
cjału południowopolskiego leżą osady  
interglacjału mazowieckiego. Wykształ-  
cone są one w postaci przekątnie war-  
stwowanych piasków średnio- i drobno-  
ziarnistych w stanie zagęszczonym i

średnio zagęszczonym. Podrzednie wy-  
stępują w nich piaski gruboziarniste, py-  
laste i pospółki. W części stropowej prze-  
warstwione są pyłami piaszczystymi i  
pyłami. Tworzą one jednolitą i grubą  
warstwę o ciągłym rozprzestrzenieniu.  
Miąższość tych utworów w rejonie skar-  
py wynosi przeważnie 15–25 m. Strop  
osadów interglacjału mazowieckiego



Rys. 3. Przekrój geologiczny przez osady czwartorzędowe Skarpy Ursynowskiej; Pd – piasek drobnoziarnisty, Pd + k – piasek drobnoziarnisty z otoczkami, Pg – piasek gliniasty, Pg + k – piasek gliniasty z otoczkami, Pr – piasek gruboziarnisty, Ps – piasek średnioziarnisty, Nm – mułki, G – glina, Gp – glina piaszczysta, Gp + k – glina piaszczysta z otoczkami, d – deluwia, re – rezydwa gliny zwałowej, Q<sub>p</sub><sup>3</sup> – zlodowacenie Warty, Q<sub>p</sub><sup>4</sup> – zlodowacenie Wisły, Q<sub>h</sub> – holocen (wykonano na podstawie wyników terenowych prac hydrogeologicznych studentów Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW oraz pracy Badziaka i Sternickiego 1985)

Fig. 3. Geologic section in Quaternary sediments of the Ursynów Scarp; Pd – fine sand, Pd + k – fine sand with pebbles, Pg – clayey sand, Pg + k – clayey sand with pebbles, Pr – coarse sand, Ps – medium sand, Nm – mud (silts), G – silty clay, Gp – sandy clay, Gp + k – sandy clay with pebbles, d – deluvial mud, re – residual deposits, Q<sub>p</sub><sup>3</sup> – Warta Glaciation, Q<sub>p</sub><sup>4</sup> – Wisła Glaciation, Q<sub>h</sub> – Holocene (the profiles had been prepared on the basis of field works executed by students of the Faculty of Land Reclamation and Environmental Engineering, Warsaw Agricultural University, and works reported by Badziak and Sternicki 1985)



Rys. 4. Szczegółowy przekrój geologiczny przez osady deluwialne Skarpy Ursynowskiej  
 Fig. 4. Detailed geologic section in deluvial mud of the Ursynów Scarp

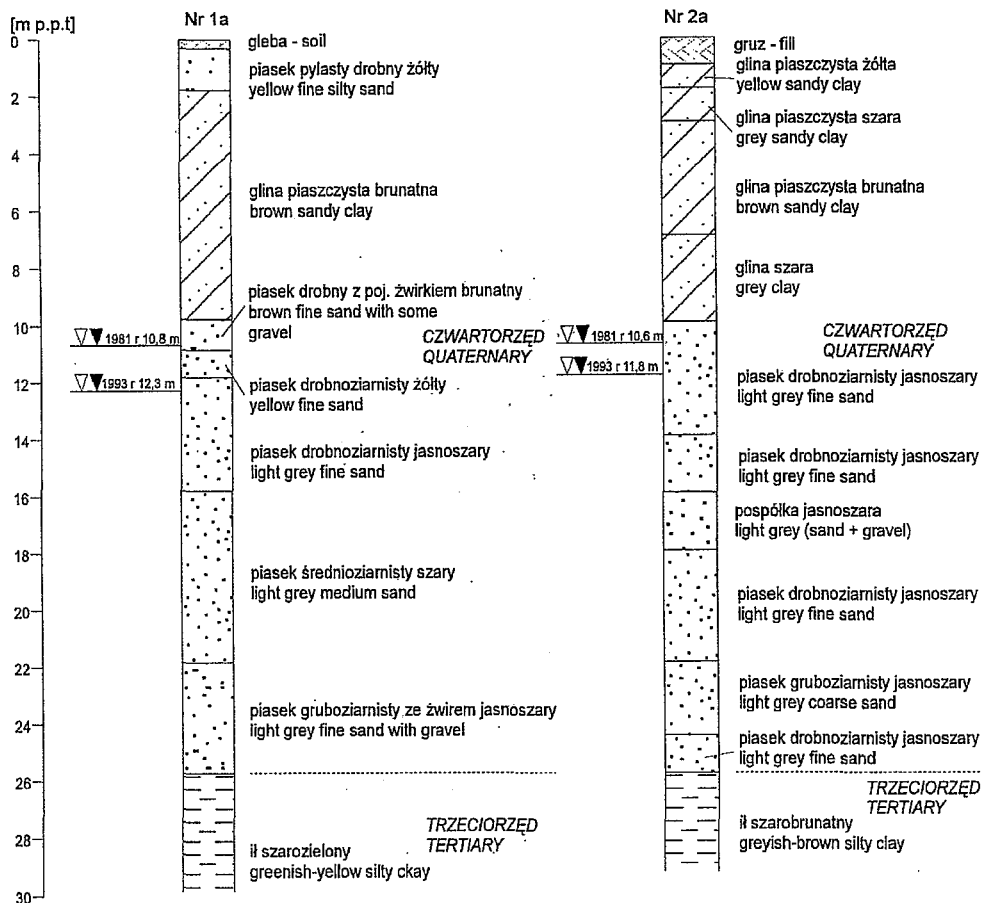
jest, w wyniku procesów erozji i glaciektoniki, morfologicznie zróżnicowany i występuje na głębokości od ponad 20 m do około 10 m poniżej powierzchni terenu.

Na terenie Ursynowa Południowego i Wolicy, na utworach interglacjału mazowieckiego występują silnie zaburzone glaciektonicznie gliny zwałowe megaglacjału środkowopolskiego. Wyniki badań uziarnienia pozwoliły sklasyfikować gliny zwałowe jako gliny, gliny piaszczyste i gliny pylaste z otoczkami skał pochodzenia północnego. Są to grunty o konsystencji w stanie zwartym i półzwarłym. W obrębie gliny zwałowej, w formie przewarstwień i soczew, występują lodowcowe piaski gliniaste. Na terenie Ursynowa Południowego od powierzchni terenu do głębokości 1–1,5 m, a na terenie Wolicy do głębokości 4 m nie są to

typowe skały polodowcowe, lecz rezydualne gliny zwałowej, reprezentowane przez piaski ze żwirami i głazami. Towarzyszą im piaszczyste osady rzeczne (w spągu wodnolodowcowe) i kemów.

Nieco inna sytuacja geologiczna występuje na wysoczyźnie w rejonie środkowej części Kabat, gdzie istnieje uformowane w glinie zwałowej nieckowate obniżenie o genezie wytopiskowej (Mróz i Smagała 1995a). Obniżenie wypełniają osady wodnolodowcowe (piaski różnych frakcji, miejscami ze żwirem), zastoiskowe (mułki, ły i piaski pylaste) oraz gliny zwałowe i soliflukcyjne (spływowe). Wymienione osady nie tworzą ciągłych warstw, lecz pakiety o ograniczonym rozprzestrzenieniu, zmiennej miąższości i zróżnicowanej wzajemnej konfiguracji.

Na zboczu wysoczyzny (często w postaci stożków usypiskowych zamasko-



Rys. 5. Profile geologiczne otworów wiertniczych ujęcia wód podziemnych SGGW z Ursynowa  
Fig. 5. Borehole geological profiles of the Warsaw Agricultural University groundwater intake wells at Ursynów

wanych roślinnością) i u jej podnóża za-  
legają utwory deluwialne wieku plejsto-  
cen-holocen (por. rys. 2 i 3). Są to war-  
stewki piasku gliniastego, gliny piasz-  
czystej, gliny, namułó w piasku i pyłu  
oraz gleby, swoim ułożeniem nawiązują-  
ce do powierzchni zbocza. Ich łączna  
mąższkość wynosi od kilkunastu centy-  
metrów, w górnej części krawędzi zbo-  
cza do ponad trzech metrów u podnóża

Skarpy, w kontakcie z utworami rzeczny-  
mi doliny Wisły. W wąwozie, obok pała-  
cu w Ursynowie, otworem o głębokości  
6 m nie przewiercono deluwialnych pia-  
skó w pylastych i pyłó w piaszczystych  
oraz wymieszanych z nimi gruntó w na-  
sypowych. Wierzchnie warstewki utwo-  
ró w deluwialnych można zaliczyć do ho-  
locenu, natomiast dolne (zwłaszcza w

strefie doliny) osadziły się wcześniej, w plejstocenie.

Aluwia wiślane przylegające do Skarpy mają zmienną miąższość, od paru do ponad 10,0 m. Zalegają one na glaci-tektonicznie zaburzonych ilach pstrych pliocenu, glinach zwałowych lub piaskach i żwirach rzek lodowcowych (Falkowski 1982, Laskowski 1992, Sarnacka 1976 i 1980).

Taras budują głównie utwory korytowe, reprezentowane przez piaski drobnoziarniste i średnioziarniste, równowiekowe zlodowaceni Wisły. Na utworach korytowych występują płyty holocen-skich utworów powodziowych o miąższości 0,5–2,0 m, wykształcone jako pyły, gliny piaszczyste i piaski gliniaste. Starorzeczka i lokalne obniżenia bezodpływowe wypełnione są namułami torfiasnymi i torfem o miąższości około 1,0 m.

## **Występowanie wód podziemnych w osadach czwartorzędowych**

Na terenie wysoczyzny praktycznie występuje jeden poziom wodonośny, związany głównie z osadami interglacjału mazowieckiego. Wartości współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów tej serii określone na podstawie próbnych pompowań wynoszą:  $k = 5 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-4}$  m/s. Przeważnie swobodne zwierciadło wody podziemnej położone jest na wysokości od 11 do 13 m nad „0” Wisły (od 10 do 12 m poniżej powierzchni terenu). Lokalnie, tam gdzie spąg glin zwałowych występuje głębiej (por. rys. 2),

interglacialny poziom wodonośny może charakteryzować się zwierciadłem napiętym.

Wody podziemne interglacialnego poziomu wodonośnego ujmowane są studniami wierconymi z przeznaczeniem tych wód do picia lub do celów gospodarczych. Mimo jeszcze stosunkowo wysokiej jakości, nie spełniają one wymagań stawianych wodzie do picia i na potrzeby gospodarcze. Są więc uzdatniane (Wiencław i in. 1995). Wykazują one intensywniejszą barwę w stosunku do wartości dopuszczalnej 20 mg Pt/dm<sup>3</sup>. Ponadto zawartość żelaza kilkakrotnie przekracza dopuszczalną wartość 0,5 mg Fe/dm<sup>3</sup>, a stężenie jonów manganu w ujmowanych wodach jest dużo wyższe od dopuszczalnego 0,1 mg Mn/dm<sup>3</sup>.

Zalegające na osadach interglacjału mazowieckiego gliny zwałowe charakteryzują się dobrze wykształconym systemem spękań, przez który może zachodzić infiltracja wód opadowych (Paczyński 1987, Perek 1987). W opisywanej sytuacji hydrogeologicznej Skarpy Ursynowskiej gliny zwałowe stanowią ośrodek słabo przepuszczalny o znacznej pojemności wodnej, w którym dominuje pionowy kierunek przepływu (przesączania). Zawodnienie glin i osadów piaszczystych występujących w obrębie glin, a także osadów piaszczystych zalegających na glinach związane jest przede wszystkim z opadami atmosferycznymi: w czasie roztopów wiosennych i po silnych długotrwałych opadach ich zawodnienie wzrasta, w okresie suszy niemal zanika.

Na zboczu nie obserwuje się przejawów wód podziemnych na powierzchni

terenu – Skarpa jest „sucha”. Okresowo wawozami odbywa się spływ wód opadowych i roztopowych z wysoczyzny.

W dolinie występowanie przypowierzchniowych wód podziemnych związane jest głównie z piaskami tarasu nadzalewowego. Współczynnik wodoprzepuszczalności tych utworów, określony na podstawie badań wzniosu wody w studni, oszacowano na około  $k = 2 \times 10^{-4}$  m/s. Wody podziemne w dolinie mają zwierciadło swobodne. Tylko w strefie przykrawędziowej wysoczyzny wody w dolinie mogą charakteryzować się zwierciadłem napiętym (por. rys. 3). Zwierciadło wody występuje płytko pod powierzchnią terenu, przeważnie na głębokości od 1 m w obniżeniach terenu (przy stanach wysokich woda często stagnuje na powierzchni) do 2 m w wyższych partiach terenu doliny. Wahania zwierciadła wody zawierają się w przedziale około 1 m.

Wody podziemne aluwiiów są ujmowane do celów gospodarczych przez tujejszych mieszkańców i działkowiczów studniami wierconymi („abisynkami”). Pawłat i Wanke badając jakość tych wód w czerwcu 1995 r. stwierdzili znaczne przekroczenie dopuszczalnych dla celów pitnych i gospodarczych wartości kilku wskaźników, m.in.: amoniaku i siarkowodoru.

Mróz i Smagała (1995) w ocenie warunków geologicznych i hydrogeologicznych dla planu zagospodarowania przestrzennego Kabat i Wolicy podają, że wody podziemne wysoczyzny i doliny Wisły pozostają we wzajemnym kontakcie oraz, że podziemny przepływ wód z

wysoczyzny do doliny odbywa się na poziomie poniżej podstawy Skarpy.

Dolina Wisły mazowieckiej niewątpliwie stanowi strefę drenażu wód podziemnych występujących w przyległej do doliny części wysoczyzny połodowcowej. Należy jednakże w tym miejscu silnie podkreślić (za Falkowskim 1980), że najczęściej nie istnieje praktycznie pełny i bezpośredni kontakt hydrauliczny między wodami w aluwiiach i wodami gruntowymi wysoczyzn na Niżu Polskim, a drenaż wysoczyzny odbywa się w sposób złożony. Dotychczas, zdaniem autora niniejszej pracy, zagadnienie współzależności wód podziemnych doliny i wód podziemnych wysoczyzny dla strefy przyległej do Skarpy Ursynowskiej, nie zostało ściśle opracowane. Zmusza to do stosowania wielkiej ostrożności przy opracowywaniu warunków hydrogeologicznych rejonu Skarpy, a szczególnie w prognozowaniu zmian warunków hydrogeologicznych.

### **Wstępna ocena zmian warunków hydrogeologicznych wywołanych urbanizacją**

W ostatnim 20-leciu, w rejonie Skarpy Ursynowskiej na wysoczyźnie powstały nowe osiedla mieszkaniowe: Kabaty, Natolin, Wolica, Na Skraju i Stokłosy. Wybudowano metro, przebiegające w odległości 1–1,5 km od Skarpy. Na terenach SGGW, pomiędzy ulicami Nowoursynowską i Rosoła powstały m.in. nowe budynki Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska, Wydziału Ogrodni-



czego i Wydziału Weterynarii oraz domy studenckie. W ten sposób znaczne obszary wysoczyzny pozbawiono możliwości infiltracji wód opadowych do gruntu. Te z wód opadowych, które przedostają się do gruntu (do glin, piasków występujących w obrębie glin i piasków zalegających na glinach), są z kolei częściowo lub całkowicie likwidowane przez odwodnienia drenażowe zabudowań oraz głęboką kanalizację.

Przekształcenie warunków zasilania i drenażu przypowierzchniowych wód podziemnych terenu wysoczyzny nie pozostaje bez wpływu na dynamikę wód podziemnych użytkowego poziomu interglacialnego i na jego zasoby oraz na przejawy wód podziemnych na zboczu wysoczyzny.

Oceniając tendencję zmian w dynamice wód podziemnych poziomu interglacialnego i tendencję zmian zasobów wód podziemnych tego poziomu, przez ocenę zmian położenia zwierciadła wód w studniach ujęcia SGGW (por. rys. 5), należy wskazać na obniżanie się zwierciadła wód i towarzyszące temu procesowi ubożenie zasobów wód podziemnych w rejonie Skarpy. W otworze nr 1a, w roku 1981, zwierciadło wody nawiercone i ustalone znajdowało się na głębokości 10,8 m, a w roku 1993 już na głębokości 12,3 m. W otworze nr 2a, w roku 1981 zwierciadło wody nawiercone i ustalone znajdowało się na głębokości 10,6 m, natomiast w roku 1993 na głębokości 11,8 m. Łatwo można zauważyć, jak bardzo obniżył się poziom wód podziemnych w rozpatrywanym okresie: w studni nr 1a o 1,5 m, a w studni nr 2a o 1,2 m. Takiej wielkości obniżenia zwier-

ciadła wód podziemnych poziomu interglacialnego odpowiada zmniejszenie zasobów statycznych o około 10%.

Cały odcinek podskarpowy był dawniej bogaty w wsięki i źródła (Kolago i Chrzanowski 1975). Obecnie nie obserwuje się przejawów wód podziemnych na powierzchni zbocza wysoczyzny. Jeszcze na początku lat osiemdziesiątych, w pobliżu Dolinki Służewieckiej u podnóża Skarpy, poniżej jednego z najstarszych kościołów warszawskich – kościoła św. Katarzyny, znajdował się mały wyciek ze studzienką (wcześniej wypływ był obfitszy). W tym samym czasie w Wolicy, w centralnej części stoku, czynna była studnia kopana, z której okoliczni gospodarze zaopatrywali się w wodę – od kilku lat studnia jest „sucha”.

Wpływ rozbudowującego się ciągle zespołu urbanistycznego Ursynów-Natolin, przejawia się także w zmianie jakości wód czwartorzędowego piętra wodonośnego na wysoczyźnie. Zając (1996) oraz Reczek i Siwiec (1997), porównując jakość wód pobieranych przez ujęcie SGGW w ciągu lat, stwierdzają wzrost zawartości węglanów, żelaza, manganu i amoniaku. Według Zajęcia, w ciągu ostatnich piętnastu lat (od 1981 r. do 1996 r.) zawartość węglanów wzrosła z 16–18 mg do 25–27 mg  $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$ . Znacznie zwiększyła się zawartość żelaza, z 1,0–2,0 mg do 3,8–4,0 mg  $\text{Fe}/\text{dm}^3$  (wpłynęło to na zwiększenie mętności i barwy wody). Ilość manganu wzrosła z około 0,2 do około 0,3 mg  $\text{Mn}/\text{dm}^3$ . Zawartość amoniaku wzrosła z 0,14–0,2 do 0,32–0,36 mg  $\text{NH}_3/\text{dm}^3$ , natomiast zawartość azotanów, mimo okresowych wahań, ogólnie utrzymuje się na dość ni-

skim poziomie, poniżej  $0,1 \text{ mg NO}_3/\text{dm}^3$ .

Należy liczyć się z możliwością dalszego pogorszenia jakości wód podziemnych, występujących w osadach czwartorzędowych wysoczyzny w rejonie Skarpy Ursynowskiej. Obecnie niemal na całym obszarze Warszawy ze starszą zabudową wody podziemne występujące w utworach czwartorzędowych wykazują znaczne pogorszenie jakości i podwyższoną mineralizację (Paczyński 1987). Dotyczy to zwłaszcza Śródmieścia i obniżenia służewieckiego, gdzie mineralizacja od  $800 \text{ mg}/\text{dm}^3$  do ponad  $1000 \text{ mg}/\text{dm}^3$ , zawartość jonu chlorkowego ok.  $180 \text{ mg}/\text{dm}^3$  oraz jonu siarczanowego do  $280 \text{ mg}/\text{dm}^3$  wskazują na zanieczyszczenia powierzchniowe.

Dynamika wód podziemnych doliny w rejonie Skarpy Ursynowskiej jest kształtowana w znacznym stopniu przepływem w kanale deszczowym (por. rys. 1) i przez towarzyszącą kanałowi sieć melioracyjną. Kanał deszczowy przebiega od Potoku Służewieckiego do wylotu kolektora z ul. Płaskowickiej w Natolinie. Kanał o głębokości  $1,4\text{--}1,7 \text{ m}$  w stosunku do powierzchni terenu ma przekrój dwudzielny. Koryto dolne prowadzi przepływ niski, na który składają się wody melioracyjne (dopływ  $Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ), wody infiltracyjne i wody deszczowe. Koryto duże prowadzi przepływy maksymalne, na które to składają się wody deszczowe z terenu Natolina (dopływ  $Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i Ursynowa Południowego (dopływ  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Pawłat i Wolski 1993). W okresie intensywnych opadów deszczu i w czasie roztopów kanał zasila wody podziemne doliny, w okresie suszy

jest obiektem drenującym wody podziemne. Kanał deszczowy, poza ściekami opadowymi, prowadzi także – co wielokrotnie obserwowano – różnego rodzaju ścieki przemysłowe. Należy stwierdzić, że kanał deszczowy stanowi poważne źródło zanieczyszczeń wód podziemnych doliny.

## Wnioski

1. W okresie ostatniego 20-lecia, od momentu powstania zespołu urbanistycznego Ursynów-Natolin, na terenach Skarpy Ursynowskiej obserwuje się postępującą degradację środowiska wód podziemnych.

2. Na terenie wysoczyzny degradacja środowiska wód podziemnych przejawia się w następujących formach: w obniżeniu poziomu przypowierzchniowych wód podziemnych lub wręcz ich zaniku; w obniżeniu zwierciadła interglacialnego użytkowego poziomu wodonośnego o  $1,2\text{--}1,5 \text{ m}$ , co odpowiada zmniejszeniu zasobów statycznych o około 10%; w pogorszeniu jakości wód interglacialnego użytkowego poziomu wodonośnego (wzrost zawartości węglanów, żelaza, manganu i amoniaku).

3. Na terenie doliny Wisły degradacja środowiska wód podziemnych przejawia się głównie w pogorszeniu ich jakości – przekroczenie dopuszczalnych dla celów pitnych i gospodarczych wartości kilku wskaźników, m.in.: amoniaku i siarkowodoru.

## Literatura

- BADZIAK B., STERNICKI W. 1985: *Dokumentacja techniczna badań podłoża gruntowego. Osiedle Ursynów Południowy B III*, Warszawa-Ursynów.
- BRYKCYŃSKI M. 1982: *Glacitektonika krańdźiowa w Kotlinie Warszawskiej i Kotlinie Płockiej*. Prace Muzeum Ziemi, nr 35.
- FALKOWSKI E. 1980: *Zasady ustalania schematycznego przekroju geologicznego dolinnych jednostek geomorfologicznych dla celów inżyniersko-geologicznych i hydrogeologicznych*. Przegląd Geologiczny nr 9.
- FALKOWSKIE E. 1982: *Wista Mazowiecka*. W: A. Piskozub (red.): *Wista. Monografia rzeki* 137–150. Wydaw. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- FALKOWSKI E. 1984: *Geologiczne warunki kształtowania się odcinka Wisły warszawskiej*. Sympozjum pn. „Problemy zaopatrzenia w wodę Warszawy, Warszawa.
- KOLAGO C., CHRZANOWSKI A. 1975: *Przejawy wód podziemnych w strefie skarpy warszawskiej. Stan aktualny i tendencje zmian oraz możliwości wykorzystania*. Prace i Materiały Techniczno-Ekonomicznej Rady Naukowej przy Urzędzie Miasta Warszawy.
- KONDRACKI J. 1977: *Regiony fizycznogeograficzne Polski*. Wydaw. UW, Warszawa.
- LASKOWSKI K. 1992: *Serie litogenetyczne doliny Wisły* UW, Warszawa (maszynopis).
- LINDNER L. (red.) 1992: *Czwartorzęd, osady, metody badań, stratygrafia*. Wydaw. PAE, Warszawa.
- Materiały archiwalne otworów studziennych. Zakład Wodociągów i Kanalizacji Wiejskich SGGW, Warszawa.
- MRÓZ W.J., SMAGAŁAS. 1995a: *Ocena warunków geologicznych i hydrogeologicznych do planu zagospodarowania przestrzennego osiedla Kabaty*. Pracownia Ekofizjografii, sp. cywil. Warszawa (maszynopis).
- MRÓZ W.J., SMAGAŁA S. 1995b: *Ocena warunków geologicznych i hydrogeologicznych do planu zagospodarowania przestrzennego Wolicy*. Pracownia Ekofizjografii, sp. cywil. Warszawa, (maszynopis).
- PACZYŃSKI B. 1987: *Warunki hydrogeologiczne na trasie I linii metra w Warszawie*. Przegląd Geologiczny nr 2 (406).
- PAWŁAT H., WANKE A. 1995: *Charakterystyka warunków gruntowo-wodnych fragmentu tarasu doliny Wisły, obejmującego łąki SGGW i tereny osiedla przy ulicy Rządkiwki SGGW*, Warszawa, (maszynopis).
- PAWŁAT H., WOLSKI P. 1993: *Ocena możliwości zagospodarowania terenów osiedla przy ulicy Rządkiwki w Warszawie*. Biuro Konsultacyjne Inżynieria Środowiska, sp. cywil., Warszawa, (maszynopis).
- PEREK M. 1987: *Geologiczno-inżynierski przekrój wzdłuż I linii metra w Warszawie*. Przegląd Geologiczny nr 2 (406).
- RECZEK L., SIWIEC T. 1997: *Analiza zmian jakości wody z utworów trzecio- i czwartorzędowych na przykładzie wód pochodzących ze studni SGGW*. Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- SARNACKA Z. 1974: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski – Piaseczno*. Wydaw. Geolog., Warszawa.
- SARNACKA Z. 1980: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski – Warszawa Wschód*. Wydaw. Geolog., Warszawa.
- STUPNICKA E. 1989: *Geologia regionalna Polski*. Wydaw. Geolog., Warszawa.
- WIENCŁAW E., SIWIEC T., GRUNWALD P., MORAWSKI D. 1996: *Jakość wód podziemnych ujmowanych w Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej SGGW w Ursynowie*. Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ., Zeszyt 6. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- WOLSKI P. 1997: *Zarys programu ochrony Skarpy Ursynowskiej* (maszynopis). SGGW Warszawa.
- Wyniki terenowych prac hydrogeologicznych studentów Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW. Warszawa (ostatnie dziesięciolecie 1988–1998)
- ZAJĄC M., 1996: *Strefy ochronne ujęć wód podziemnych*. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW (praca inżynierska wykonana pod kierunkiem E. Wiencława), Warszawa

## Summary

**Hydrological situation of Ursynów Scarp.** During last two decades after starting urban development of the Ursynów – Natolin district, progressive degradation of undergro-

und waters environment in surroundings of the Ursynów Scarp is observed. At the Pleistocene upland (called Warsaw Plain) deterioration is distinguished in the following form: – lowering or even disappearance of the shallow ground water table, – the permanent lowering of the table of deep ground water (Masovian Interglacial water-bearing layer) by 1.2 to 1.5 m. It is equivalent to decreasing the ground water resources by 10%. In interglacial aquifer the level of carbonate, iron, manganese and ammonia contents is increasing. At the Vistula Valley the environ-

mental degradation is mainly observed as water quality deterioration – concentration of several components (e.g. ammonia and sulphur hydrogen) exceeding permissible level for drinking water.

**Author's address:**

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

**Hanna ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK**

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

## **Ocena zanieczyszczenia wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów „Radzymin”**

### **Assesment of groundwater pollution in the area of the waste landfill „Radzymin”**

#### **Wstęp**

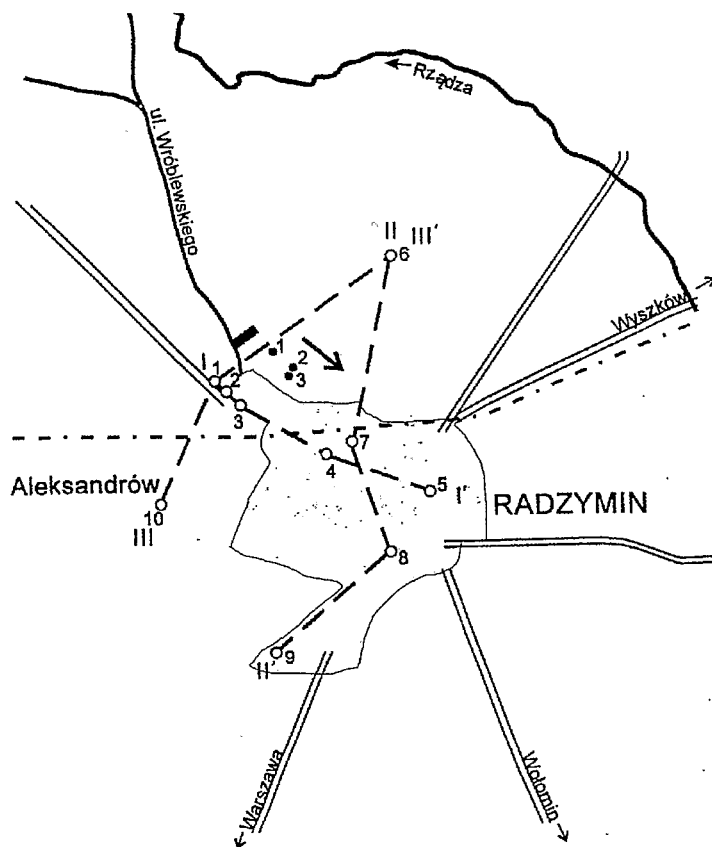
Stare (nieczynne) składowiska odpadów komunalnych nie mające zabezpieczeń technicznych w podłożu oraz uszczelnień powierzchni stanowią realne źródło zagrożenia dla środowiska wodno-gruntowego. Dlatego też wydaje się celowe badanie wpływu starych składowisk na jakość wód podziemnych w różnych warunkach hydrogeologicznych w celu podejmowania zabiegów odizolowania zazwyczaj, zanieczyszczonego pierwszego poziomu wodonośnego od niżej leżącego, eksploatowanego poziomu wodonośnego.

W artykule przedstawiono ocenę jakości wód podziemnych w rejonie nieczynnego składowiska odpadów „Radzymin”. Obiekt zlokalizowany jest na północny-zachód od centrum Radzymi na przy ulicy Wróblewskiego, w wyrobisku po piasku wydмовym (rys.1). Składowisko zajmuje powierzchnię około

3500 m<sup>2</sup>. Jego korpus wznosi się od 3,5 do 4,0 m n.p.t. Składowisko „Radzymin” od końca lat siedemdziesiątych do początku lat dziewięćdziesiątych użytkowane było jako dzikie wysypisko przez urząd miasta i gminy. Spełniało rolę wysypiska i wylewiska dla odpadów komunalnych i przemysłowych. Obecnie składowisko jest nieczynne, przykryte cienką warstwą ziemi. Wokół obiektu przebiega zarośnięty, zaśmiecony rów opaskowy, w którym w okresie wiosennym zbierają się odcieki o wyraźnej ciemnobrunatnej barwie. Odbiornikiem tych odcieków jest rów melioracyjny przebiegający wzdłuż ulicy Wróblewskiego.

#### **Ukształtowanie powierzchni i hydrografia rejonu badań**

Analizowany obszar leży w północnej części Kotliny Warszawskiej na tarasie radzyminskim. Zasadniczym elementem morfologicznym jest tu równina za-



Rys. 1. Lokalizacja punktów badawczych  
Fig. 1. Location of the test points

- I — I' linia przekroju hydrogeologicznego,  
line of hydrogeological cross-section,
- 10 wiercenie archiwalne PIG,  
archival drilling,
- 1 punkt poboru wody do analizy,  
point of water sampling,
- lokalny kierunek przepływu wód podziemnych pierwszego  
poziomu wodonośnego,  
local direction of groundwater flow of first aquifer,
- Składowisko Radzymin  
waste landfill Radzymin

Rys. 1. Lokalizacja punktów badawczych  
Fig. 1. Location of the test points

stoiskowa związana z okresem transgresji lądolodu północnopolskiego (Wisły), w który wcięta jest dolina Wisły (Sarnacka 1979). Taras radzyński zbudowany jest z ilów warwowych zastoiska warszawskiego o miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do kilkunastu metrów, średnio 6–10 m, występujących na powierzchni terenu lub pod niewielkim (maksymalnie 5 m) nadkładem osadów rzecznych i eolicznych.

Jest to stosunkowo płaski obszar, miejscami nadbudowany wydrami, łagodnie nachylony w kierunku północno-zachodnim. Powierzchnia tarasu leży na wysokości 85–90 m n.p.m. Taras radzyński w omawianym rejonie odwadniany jest za pośrednictwem drobnych strug (np. Beniaminówka) i rowów melioracyjnych przez rzekę Rządę. Ten niewielki ciek płynie w szerokiej i podmokłej dolinie, w odległości 3,5 km od składowiska, ku zachodowi z niewielkim odchyleniem ku północy i uchodzi do Zalewu Zegrzyńskiego. Analizowany obszar należy uznać za nadmiernie uwilgotniony, czego przyczyną jest płytkie zaleganie ilów warwowych i niewielki spływ powierzchniowy spowodowany małymi spadkami terenu.

## **Warunki hydrogeologiczne w rejonie składowiska**

Na podstawie materiałów archiwalnych Państwowego Instytutu Geologicznego i publikowanych (Sarnacka 1979, Malinowski 1991) wyróżnić można w rejonie Radzymina dwa piętra wodonośne: trzeciorzędowe oraz czwartorzędo-

we. Z punktu widzenia wpływu składowiska na wody podziemne najistotniejsza jest charakterystyka utworów czwartorzędowych i związanych z nimi poziomów wodonośnych. Piętro to izolowane jest od niżej leżących wód podziemnych, występujących w osadach trzeciorzędowych (oligocenских) około 60-metrowym kompleksem pliocenских utworów ilastych i kilkumetrową warstwą gliny zwałowej z okresu zlodowaceń południowopolskich. Spąg utworów czwartorzędowych leży na wysokości około 25 m n.p.m., a ich miąższość wynosi średnio 70 m.

W piętrze czwartorzędowym występują dwa poziomy wodonośne. Pierwszy poziom wodonośny (wód gruntowych) zbudowany jest z drobnoziarnistych piasków rzecznych z okresu zlodowacenia Wisły i eolicznych o grubości od 2,0 do 5,0 m. Zwierciadło wody ma charakter swobodny i leży na głębokości średnio od 1 do 2,5 m w zależności od ukształtowania terenu. W listopadzie 1996 roku występowało na głębokości 1,85 m w studni 1 tj. na rzędnej 86,75 m n.p.m., w studni 2 na głębokości 2,5 m, tj. rzędnej 84,50 m n.p.m. W czerwcu 1997 roku zwierciadło wody leżało w studni 1 na głębokości 2,25 m (86,35 m n.p.m.), w studni 2 na głębokości 2,55 m (85,05 m n.p.m.). Omawiany poziom zasilany jest bezpośrednio przez infiltrację opadów atmosferycznych. Dolina rzeki Rządzy wraz z siecią rowów stanowi naturalną strefę drenażu pierwszego poziomu wodonośnego. Lokalny kierunek przepływu wód podziemnych jest z północnego-zachodu na południowy-wschód (rys. 1). Zagrożenie jakości tych płytkich wód

gruntowych jest wysokie, co związane jest z brakiem izolacji od powierzchni terenu oraz niewielką miąższością strefy aeracji. Obecnie poziom ten jest eksploatowany tylko lokalnie do celów gospodarczych ze względu na złą jakość wody.

Poniżej pierwszego poziomu wodonośnego występują ility warwowe miąższości od 1 m do 15 m, średnio 6–10 m (rys. 2, 3). Przeprowadzone badania własności fizyczno-mechanicznych iłów warwowych w analizowanym rejonie (Frankowski, Lencewicz 1988) pozwoliły na stwierdzenie, że ogólny charakter badanych iłów na różnych głębokościach jest następujący: w górnej strefie o miąższości do 2,5 m są to gliny pylaste i gliny pylaste związane z zawartości frakcji iłowej od 17 do 26% i frakcji piaskowej od 12 do 32%. Poniżej 2,5 m są to ility lub ility pylaste o zawartości frakcji iłowej od 50 do 70% i piaskowej od 1 do 5%. Według klasyfikacji (*Katalog wybranych wskaźników...*, 1994) przepuszczalności skał jako barier izolujących wody podziemne przy wsiąkaniu pionowym, ility i ility pylaste zaliczono do klasy skał dobrze izolujących, natomiast glinę pylastą do bardzo słabo izolujących.

Drugi poziom wodonośny budują piaszczyste i piaszczysto-żwirowe osady interglacjału mazowieckiego, utwory fluwioglacjalne i rzeczne z okresu zlodowaceń środkowopolskich oraz interglacjału eemskiego. Występuje on na głębokości od 3,5 m (rejon Aleksandrowa) do 15,0 m p.p.t., a jego miąższość wynosi średnio 40 m, miejscami dochodzi do 50 m (rys. 2, 3). Utwory budujące drugi poziom wodonośny (wód głębszych) charakteryzują się wartościami współczynnika wodoprzepuszczalności  $k$  od 1,4 ·

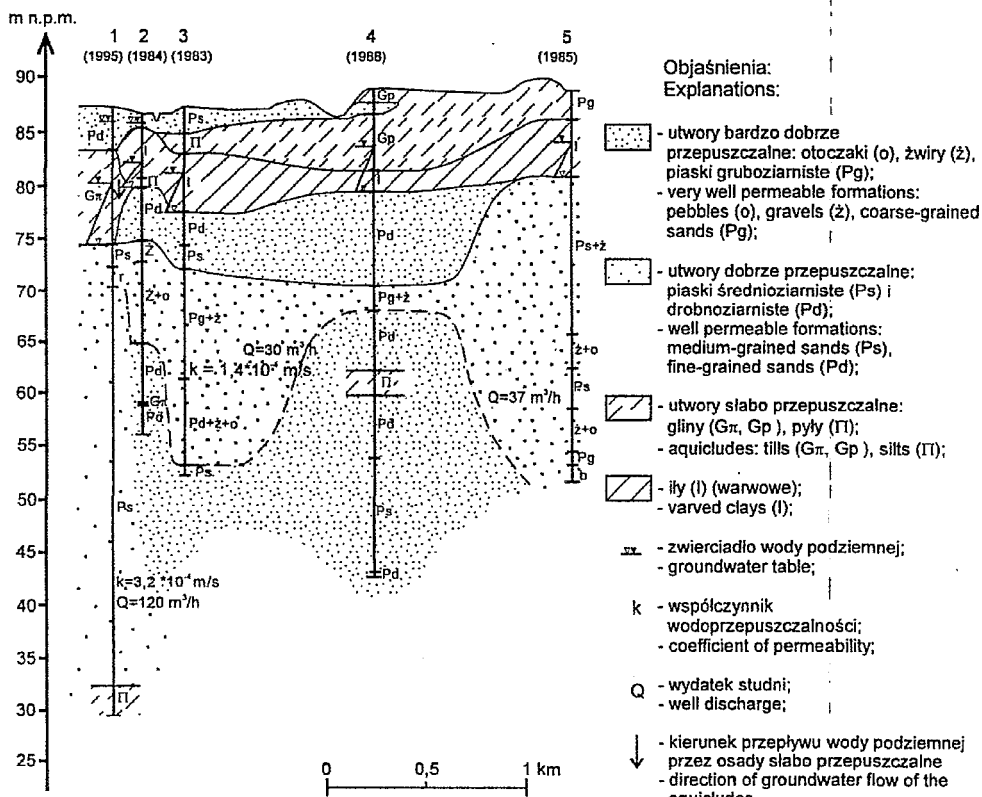
·  $10^{-4}$  do  $3,2 \cdot 10^{-4}$  m/s. Wydatek pojedynczych otworów eksploatacyjnych waha się od 30,0 do 120,0 m<sup>3</sup>/h, wydatki jednostkowe kształtują się od 4 do 32 m<sup>3</sup>/h/1m depresji w studni. Zwierciadło wody wykazuje niewielkie napięcie i stabilizuje się na głębokości od 4,0 do 7,0 m p.p.t. Przepływ wód podziemnych odbywa się z południowego-wschodu w kierunku północno-zachodnim. W obszarach, gdzie w nadkładzie drugiego poziomu wodonośnego występuje tylko glina pylasta (wiercenia: 1, 9, 10) istnieje jego współzależność z pierwszym poziomem (wód gruntowych). Polega ona na przesączaniu się wody w dół przez osady słabo przepuszczalne i zasilaniu drugiego poziomu wodonośnego wodami gruntowymi. Lokalnie zwierciadło wód głębszych jest swobodne i leży na głębokości 5,2–5,7 m p.p.t. (rejon Aleksandrowa).

Ze względu na korzystne parametry ilościowe (wodoprzewodność, wydajność potencjalna) drugi poziom wodonośny zakwalifikowany został jako główny użytkowy poziom wodonośny oraz uznany za jeden z kilkuset głównych zbiorników wód podziemnych wymagających ochrony (Paczyński i in. 1995).

## **Jakość wód podziemnych w rejonie składowiska**

W rozpatrywanym obiekcie odpady kontaktują się bezpośrednio z piaszczystym podłożem. Ponieważ składowisko leży w strefie wahań zwierciadła wody gruntowej, odpady ulegają procesom rozpuszczania i wymywania, wywierając wpływ na otoczenie.



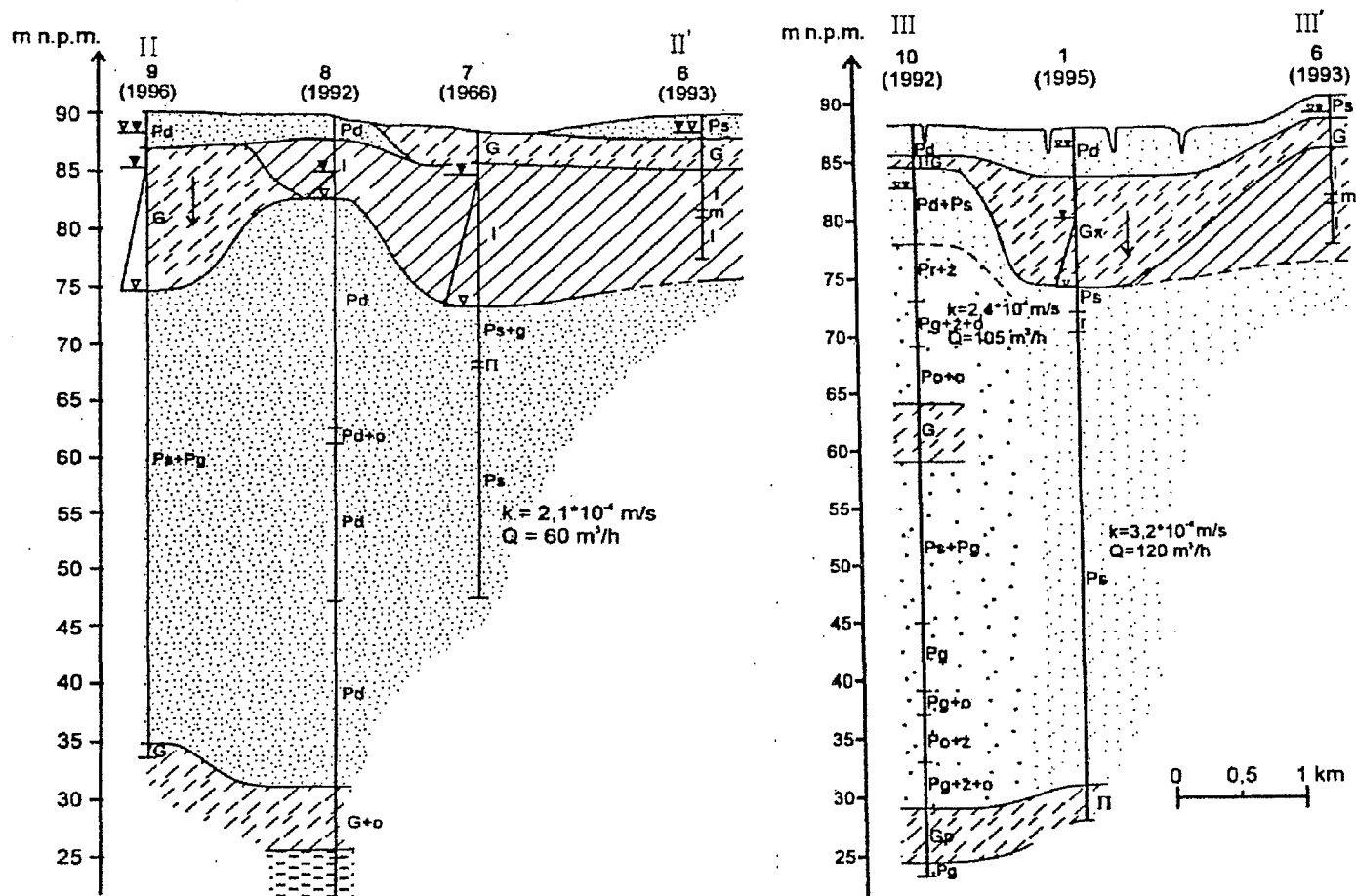


Rys. 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny I – I' przez taras radzyński  
 Fig. 2. Simplified hydrogeological cross-section I – I' through Radzymin Terrace

Rozpoznanie własności fizykochemicznych wód podziemnych jest niezbędne w celu określenia w jakim stopniu interesujące nas czwartorzędowe piętro wodonośne jest zanieczyszczone. Najważniejszymi cechami świadczącymi o zanieczyszczeniu wód jest podwyższona mineralizacja, twardość, utlenialność oraz podniesiona zawartość jonów  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ , związków azotu, żelaza, substancji organicznej i inne (Macioszczyk 1987).

Na podstawie analizy materiałów archiwalnych oraz badań wykonanych przez autorkę podjęto próbę oceny zanieczyszczenia wód podziemnych w rejonie składowiska „Radzymin”. Do badań chemicznych pobrano w listopadzie 1996 roku próbki wody z dwóch studni kopanych ujmujących wodę z pierwszego poziomu wodonośnego:

- studni nr 1 zlokalizowanej w odległości 200 m od składowiska, z której woda jest obecnie użytkowana do celów pitnych i gospodarczych,



Rys. 3. Schematyczne przekroje hydrogeologiczne II – II', III – III' przez taras radzyński (objaśnienia jak na rys. 2)

Fig. 3. Simplified hydrogeological cross-sections II – II', III – III' through Radzyński Terrace (explanations as in Fig. 2)

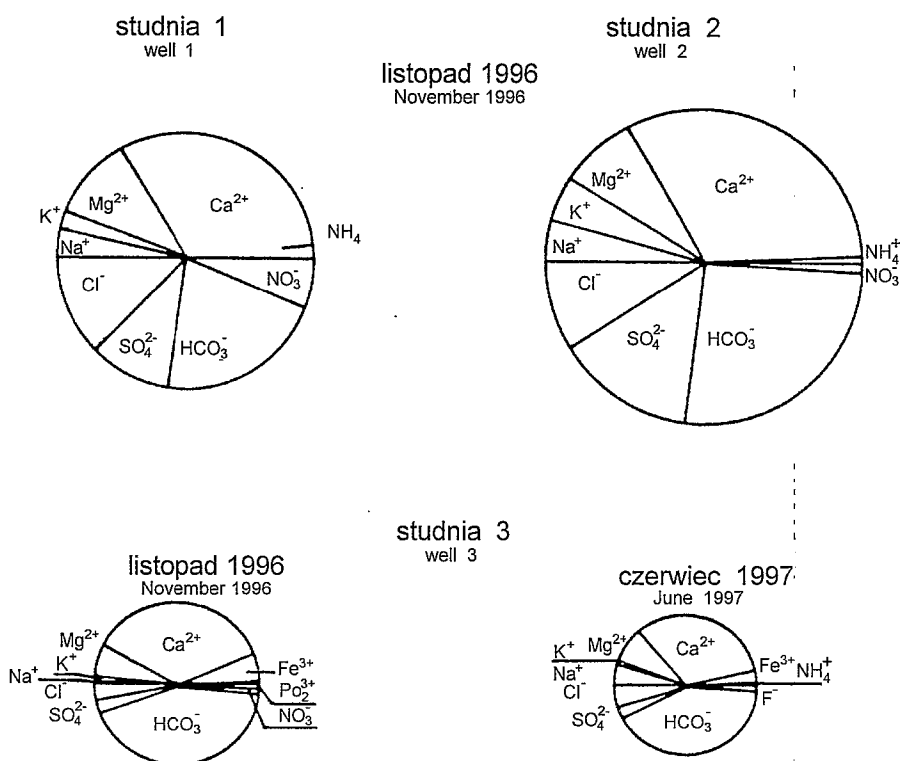
- studni nr 2 znajdującej się w odległości 450 m, z której woda jest użytkowana okresowo do celów gospodarczych oraz pobrano dwukrotnie próbki wody (listopad 1996, czerwiec 1997) ze studni wierconej nr 3, ujmującej wodę z drugiego poziomu wodonośnego, z głębokości 24 m, zlokalizowanej w odległości 450 m od składowiska (rys. 1).

Badania wykonano w laboratorium Zakładu Wodociągów i Kanalizacji

SGGW według obowiązujących norm i przepisów, a ich wyniki przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 4.

W próbkach wody pobranych z pierwszego poziomu wodonośnego (studnia 1 i 2) głównym kationem jest jon wapniowy, który stanowi 66% wszystkich kationów występujących w badanej wodzie. Kation magnezu występuje w ilości 22,5% w studni 1 i 15,5% w studni 2.

Znacznie mniejszy jest udział jonów sodu (7–8%) oraz potasu (4–10%). Żela-



Rys. 4. Skład chemiczny wód podziemnych w rejonie Radzymina (powierzchnia koła odpowiada ogólnej mineralizacji w relacji  $1 \text{ mm}^2 = 1 \text{ mg/dm}^3$ , a powierzchnie poszczególnych jonów odpowiadają procentowemu udziałowi gramorównoważników kationów i anionów)

Fig. 4. Chemical composition of groundwater in Radzymin (circle area denotes general mineralization in relation  $1 \text{ mm}^2 = 1 \text{ mg/dm}^3$ , the ion areas refer to the percentage of gram-equivalents of cations and anions)

TABELA 1. Wartości wskaźników fizykochemicznych czwartorzędowego piętra wodonośnego

TABLE 1. Physico-chemical indices of the quaternary multiaquifer formation

| Wskaźnik – Index                                        | Jednostka – Unit                      | Wartość – Value   |                   |                   |                   | Wartość dopuszczalna     |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
|                                                         |                                       | Studnia 1         | Studnia 2         | Studnia 3         | Well 3<br>VI 1997 | Threshold limit<br>value |
|                                                         |                                       | Well 1<br>XI 1996 | Well 2<br>XI 1996 | Well 3<br>XI 1996 |                   |                          |
| Wskaźniki fizyczno-chemiczne – Physico-chemical indices |                                       |                   |                   |                   |                   |                          |
| Barwa – Colour                                          | mg Pt/dm <sup>3</sup>                 | 4                 | 20                | 179               | 304               | 20                       |
| Mętność – Turbidity                                     | mg/dm <sup>3</sup>                    | 2                 | 6                 | 37                | 60                | 5                        |
| Odczyn – Reaction                                       | pH                                    | 7,7               | 8                 | 7,7               | 7                 | 6,5–8,5                  |
| Twardość ogólna – Total hardness                        | mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup> | 555,6             | 1099              | 277,4             | 243,4             | 500                      |
| Utlenialność – Oxidizability                            | mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>    | 5,09              | 6,8               | 3,7               | 4,2               | n.n.                     |
| Przewodność właściw. – Conductivity                     | µs/cm                                 | 1257              | 1989              | 549               | 410               | n.n.                     |
| Wskaźniki chemiczne – Chemical indices                  |                                       |                   |                   |                   |                   |                          |
| Wapń – Calcium                                          | mg Ca/dm <sup>3</sup>                 | 166,43            | 277,86            | 90,71             | 82,86             | n.n.                     |
| Żelazo ogólne – Iron                                    | mg Fe/dm <sup>3</sup>                 | 0,21              | 0,24              | 12,7              | 5,76              | 0,5                      |
| Mangan – Manganese                                      | mg Mn/dm <sup>3</sup>                 | 0,06              | –                 | 0,35              | 0,15              | 0,1                      |
| Amoniak – Ammonia                                       | mg N/dm <sup>3</sup>                  | 0,23              | 0,44              | 1,1               | 0,54              | 0,5                      |
| Sód – Sodium                                            | mg Na/dm <sup>3</sup>                 | 20                | 40                | 3                 | 15,1              | 200                      |
| Potas – Potassium                                       | mg K/dm <sup>3</sup>                  | 19,9              | 78,96             | 3,73              | 3,03              | n.n.                     |
| Magnez – Magnesium                                      | mg Mg/dm <sup>3</sup>                 | 34,28             | 39,86             | 9,86              | 12,43             | n.n.                     |
| Azotany – Nitrates                                      | mg N/dm <sup>3</sup>                  | 18,6              | 4,17              | 0,67              | 0,43              | 10,0                     |
| Azotyny – Nitrites                                      | mg N/dm <sup>3</sup>                  | 0,09              | 0,18              | –                 | 0,018             | 0,0                      |
| Wodorowęglany –<br>– Hydrogen carbonate                 | mg HCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>  | 329,5             | 683,4             | 347,8             | 311,2             | n.n.                     |
| Chlorki – Chlorides                                     | mg Cl/dm <sup>3</sup>                 | 105,6             | 124,8             | 11,52             | 18                | 300                      |
| Siarczany – Sulphates                                   | mg SO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>   | 120               | 280               | 16                | 19                | 200                      |
| Fosforany – Phosphates                                  | mg PO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>   | 4                 | 0,78              | 0,82              | 0,74              | n.n.                     |
| Sucha pozostałość – Dry residue                         | mg/dm <sup>3</sup>                    | 920               | 1442              | 380               | 270               | 800                      |

n.n. wskaźnik nienormowany

zo, amoniak i mangan stanowią łącznie 0,25% wszystkich kationów stwierdzonych w analizowanej wodzie. Głównym anionem badanej wody jest jon wodorowęglanowy, który stanowi: 43% w studni 1 i 53% w studni 2 wszystkich anionów. Jony siarczanowe występują w ilości 20–28%, chlorkowe w ilości 17,5–25,0%. W studni 1 stwierdzono znaczną ilość azotanów, która stanowi ponad 10% wszystkich anionów występujących w omawianej wodzie.

Głównym kationem wchodzącym w skład wody pobranej z drugiego poziomu wodonośnego (studnia 3) jest jon wapniowy, stanowiący 66–71% wszystkich kationów badanych próbek. Poza nim występują kationy: magnezu (13–16%), żelaza (5–10%), sodu (2–10%), potasu w ilości 1%. Amoniak występuje w ilości 0,54–1,1 mg N/dm<sup>3</sup>. Głównym anionem analizowanej wody jest jon wodorowęglanowy, który stanowi ponad 80% wszystkich anionów. W małych ilościach, kilku procent, występują jony chlorkowe i siarczanowe. Pozostałe aniony (fluorki, azotany, azotyny i fosforany) stanowią niecały procent wszystkich anionów występujących w danej wodzie.

Analizując wyniki badań jakości wody gruntowej pod względem jej przydatności do celów pitnych i na potrzeby gospodarcze (Rozporządzenie ministra zdrowia z 1990 r. ...) stwierdzono, że:

- w studni nr 1 została przekroczona norma dotycząca ogólnej mineralizacji (800 mg/dm<sup>3</sup>), twardości ogólnej (500 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>). Zawartość azotanów jest 1,8-krotnie wyższa od wartości dopuszczalnej 10 mg

N/dm<sup>3</sup>. Podwyższona jest ilość siarczanów i azotynów. Wysoki wskaźnik przewodności właściwej (1257 μs/cm) i duża zawartość fosforanów (4 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>) klasyfikuje badaną wodę do III klasy jakości wody (*Klasyfikacja wód* ..., 1993),

- w studni nr 2 przekroczona została norma dotycząca ogólnej mineralizacji (1,8-krotnie), twardości ogólnej (2-krotnie) i mętności. Zawartość siarczanów przekracza 1,4-krotnie wartość dopuszczalną. Występuje duża ilość wodorowęglanów i azotynów. Wartość przewodności właściwej (1989 μs) osiągnęła poziom znacznie przekraczający wartości dopuszczalnej (1000 μm/s) dla III (niskiej) klasy jakości.

Należy podkreślić, że przed rozpoczęciem eksploatacji składowiska wody gruntowej były źródłem zaopatrzenia dla miejscowej ludności. Oceniając wodę drugiego poziomu wodonośnego (użytkowego) pod względem jej przydatności do celów pitnych i na potrzeby gospodarcze stwierdzono przekroczenie wartości dopuszczalnych wskaźników fizyczno-chemicznych: barwy (8-krotnie: XI 1996 i 15-krotnie: VI 1997) oraz mętności (7-krotnie: 1996 i 12-krotnie 1997). Zawartość żelaza w badanej wodzie przekracza 25-krotnie wartość dopuszczalną (0,5 mg Fe/dm<sup>3</sup>). Ilość manganu jest 3,5-krotnie wyższa od dopuszczalnej, a amoniaku 2-krotnie. Analiza wskaźników chemicznych współczesnego tła hydrochemicznego badanego poziomu skłania do wniosku, że w danej wodzie są wyraźnie podwyższone generalnie wszystkie wskaźniki, co wskazuje na jej zmia-

ny antropogeniczne (tab. 2). Należy zaznaczyć, że współczesne tło hydrochemiczne ustalone zostało na podstawie wyników analiz wód wykonanych w latach osiemdziesiątych (Kiełkiewicz 1992).

## Podsumowanie

W rejonie składowiska odpadów „Radzimin” od powierzchni terenu zalegają utwory przepuszczalne. Stanowią one drogę przepływu zanieczyszczeń w płytkim systemie krążenia lokalnego na podłożu słabo przepuszczalnym.

Wody po czasowym zretencjonowaniu częściowo są drenowane przez rzekę Rządę, częściowo przesączają się do drugiego poziomu wodonośnego (użytkowego). Przeprowadzone analizy chemiczne wykazały, że wody drugiego (użytkowego) poziomu wodonośnego zawierają składniki w ilościach świadczących o ich antropogenicznym zanie-

czyszczeniu. Z rozpoznania warunków hydrogeologicznych badanego rejonu wynika, że ility zastoiskowe nie tworzą ciągłego o jednakowej miąższości kompleksu. Występują w nim przewarstwienia piaszczyste, które umożliwiają kontakt hydrauliczny pomiędzy wodami pierwszego i drugiego poziomu wodonośnego, a tym samym stwarzają możliwości przenikania zanieczyszczeń. Wydaje się, że nie tyle grubość nadkładu izolującego, ale jego ciągłość jest bardziej istotna przy ustalaniu odpowiedniej lokalizacji dla składowisk. Jest rzeczą szczególnie ważną, aby badać i oceniać wpływ starych składowisk odpadów na środowisko w celu podjęcia środków zaradczych i zabezpieczających, które obejmowałyby zarówno odizolowanie zanieczyszczonych wód podziemnych, jak i uszczelnienie powierzchni składowisk.

TABELA 2. Charakterystyka współczesnego tła hydrochemicznego drugiego poziomu wodonośnego  
TABLE 2. Characteristic of the present hydrochemical background for the second aquifer

| Wskaźnik – Index                                       | Tło hydrochemiczne (mg/dm <sup>3</sup> )<br>Hydrochemical background | Wyniki analiz<br>Analysis results |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Wapń (Ca <sup>2+</sup> ) – Calcium                     | 36–84                                                                | 82,86–90,71                       |
| Żelazo (Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> ) – Iron   | 0,04–4,5                                                             | 5,76–12,7                         |
| Amoniak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) – Ammonia      | 0,48–0,97                                                            | 0,7–1,42                          |
| Sód (Na <sup>+</sup> ) – Sodium                        | 3,5–15,5                                                             | 3–15,1                            |
| Potas (K <sup>+</sup> ) – Potassium                    | 0,5–2,5                                                              | 3,03–3,73                         |
| Magnez (Mg <sup>2+</sup> ) – Magnesium                 | 4,1–12,41                                                            | 9,86–12,43                        |
| Chlorki (Cl <sup>-</sup> ) – Chlorides                 | 0,7–20,7                                                             | 11,52–18                          |
| Siarczany (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) – Sulphates | 8,8–69                                                               | 16–19                             |
| Azotany (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) – Nitrates     | 0,0–0,5                                                              | 1,91–3                            |
| Azotyny (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) – Nitrites     | 0,0–0,0007                                                           | 0,0–0,06                          |
| Sucha pozostałość – Dry residue                        | 225–360                                                              | 270–380                           |

## Literatura

- FRANKOWSKI Z., LEWKOWICZ A. 1988: *Stan gruntów spoistych i mało spoistych, określany metodami polowymi i laboratoryjnymi*. Archiwum PIG, Warszawa.
- Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*. Tom 1 1994, Biblioteka Monitoringu Środowiska Warszawa.
- KIEŁKIEWICZ B. 1992: *Mapa zagrożenia i ochrony wód podziemnych czwartorzędowego poziomu użytkowego województwa warszawskiego, Rejon Radzymina*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu*. 1993, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- MACIOSZCZYK A. 1987: *Hydrogeochemia*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- MALINOWSKI J. i inni 1991: *Budowa geologiczna Polski. T. VII Hydrogeologia*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- PACZYŃSKI B. i inni 1995: *Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000 Cz. II. Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 4.05.1990 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarki.
- SARNACKA Z. 1979: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz Warszawa-Wschód z*

*objaśnieniami*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.

## Summary

**Assesment of groundwater pollution in the area of the waste landfill „Radzymin”.** Hydrogeological conditions and groundwater quality in the area of the waste landfill at Radzymin was analysed. The movement of leachate from a waste disposal site without technical protections is governed by the ground-water environment. The waste is in contact with the groundwater in a permeable sands aquifer underlain by confining beds of relatively impermeable varve clays. Groundwater tests, performed for the first aquifer, prove unsafe for drinking characteristics. The relative impermeability of the overburden (varved clays) prevents significant infiltration of the contaminants to the second aquifer horizon. However the physico-chemical analysis performed for the second aquifer displayed an anthropogenical contamination.

### **Autor's address:**

H. Złotoszewska-Niedziałek  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Władysław ROGIŃSKI, Piotr WICHOWSKI**

Katedra Budownictwa Wiejskiego

Department of Rural Architecture

**Ewa JASIŃSKA**

Zakład Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska

Department of Sanitary Engineering and Environmental Protection

## **Badania procesów biologicznych zachodzących podczas kompostowania bioodpadów i osadów ściekowych**

### **Research on biological processes during composting of biological waste and sewage sludge**

#### **Wstęp**

Nieodłącznym produktem, powstającym w procesie oczyszczania ścieków są osady ściekowe. Są one odpadem procesu oczyszczania, a ich przeróbka i unieszkodliwianie stanowi część procesową każdej oczyszczalni. Niestety, gospodarka osadowa w wielu oczyszczalniach nie jest prowadzona właściwie i często sprowadza się do wywożenia osadów na wysypisko. Tymczasem osady ściekowe są substancją, która może być wykorzystywana do nawożenia gleb. Decyduje o tym zawartość w osadach: substancji organicznych, substancji nawozowych, metali ciężkich, szkodliwych i toksycznych związków organicznych, organizmów chorobotwórczych (Bernacka, Pawłowska 1994).

Osady ściekowe zawierają w porównaniu z innymi nawozami organicznymi znacznie więcej azotu i fosforu, natomiast zawartość potasu jest w nich wyraźnie mniejsza. Osady ściekowe mogą zawierać różne ilości metali ciężkich. Ich stężenie w osadzie jest ważnym czynnikiem przy rolniczym wykorzystaniu, stanowi bowiem potencjalne zagrożenie dla upraw. Niektóre z metali zawarte w osadach mogą stanowić mikroelementy niezbędne do życia roślin i zwierząt, zwłaszcza przy wykorzystywaniu osadów na glebach o małej zawartości metali. Z tych powodów dodaje się niekiedy osadów do nawozów nieorganicznych. W wyniku wielokrotnego nawożenia gleby osadem ściekowym lub kompostem zawierającym nadmierne stężenia składników toksycznych może nastąpić przekroczenie naturalnej zdolności asymila-



cyjnej roślin i oprócz kumulacji tych związków w roślinach następuje stopniowa kumulacja ich w glebie. W konsekwencji substancje te oddziałują hamująco na rozwój roślin, a także na procesy biochemicznego rozkładu związków zawartych w glebie. Należy przy tym liczyć się z ciągłym wzrostem tych ilości w związku z narastającym uprzedmiotowieniem kraju.

Obecne w ściekach wirusy, bakterie, pierwotniaki, grzyby i jaja helminatów w znacznym stopniu przechodzą do osadów. Z tej liczby organizmów tylko nieznaczny procent stanowią organizmy chorobotwórcze. Zniszczenie lub zmniejszenie ich liczebności może być oszacowane na podstawie zmniejszenia liczby organizmów wskaźnikowych (np. bakterii *Coli* typu kałowego). Jednak takie organizmy jak helminy nie są w dostatecznym stopniu redukowane podczas przeróbki najczęściej stosowanymi metodami (Bernacka, Pawłowska 1994).

Technologią, która może doprowadzić do przetworzenia osadu w materiał bezpieczny dla środowiska jest kompostowanie. Jest to metoda właściwa dla osadów o małej koncentracji metali ciężkich, gdyż nie wpływa ona znacząco na ich redukcję. Jako materiał strukturalny w złożu można wykorzystać bioodpady. Do badań przedstawionych w tym artykule użyto słomy, która jest często spotykanym bioodpadem w warunkach wiejskich.

Substancje organiczne zawarte w słomie (tab. 1) ulegają wolnemu rozkładowi biochemicznemu w czasie kompostowania. Procesy te są kontynuowane

TABELA 1. Skład chemiczny (%) słomy *Poradnik Papiernika*

TABLE 1. Chemical composition (%) of straw according *Poradnik papiernika*

| Składnik<br>Constituent                                                                         | Zawartość<br>w słomie (%)<br>Contents<br>in straw (%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Celuloza<br>Cellulose                                                                           | 48                                                    |
| Pozostałe węglowodany<br>i substancje pektynowe<br>Other carbohydrates<br>and pectin substances | 28,7                                                  |
| Substancje białkowe<br>i zawierające azot<br>Albumen substances<br>and containing nitrogen      | 2,0                                                   |
| Tłuszcze i woski<br>Greases and waxes                                                           | 1,5                                                   |
| Popiół<br>Ash                                                                                   | 5,5                                                   |

po zastosowaniu kompostu do gleby, przyczyniając się w znacznym stopniu do powstawania próchnicy glebowej (Kempa 1983). W warunkach naturalnych w słomie występują śladowe ilości mikroelementów (mg/kg s.m.): kadm 0,05; arsen 0,1; nikiel 0,5; bor 2; ołów 2; fluor 9; cynk 30; mangan 50; żelazo 100. Charakteryzuje się też dużą chłonnością wodną, która zależnie od rozdrobnienia waha się 200–290%.

O wartości nawozowej substancji organicznej decyduje stosunek C/N, który w słomie wynosi 80:1. Bezpośrednie nawożenie słomą jest niekorzystne ze względu na dużą zawartość w niej węglowodanów, które stają się pożywką dla mikroorganizmów glebowych zabierających azot i składniki mineralne roślinom wyższemu.

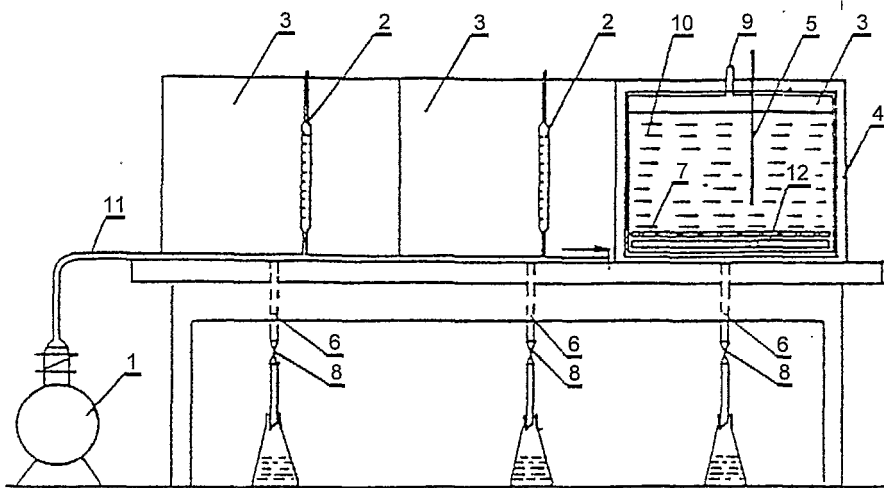
## Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone w laboratorium Zakładu Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska Politechniki Warszawskiej w Płocku na stanowisku badawczym, przedstawionym na rysunku 1. Użyto do tego celu komór zamkniętych, tzw. bioboksów z wymuszonym przewietrzaniem i pełną kontrolą powietrza odbieranego z komory (Rogiński, Jasińska 1995). Przewietrzanie odbywało się przez perforowany ruszt podtrzymujący.

Badania prowadzono na osadzie przefermentowanym, pobranym z Oczyszczalni Ścieków w Maszewie koło Płocka.

Osad nieodwodniony pochodził ze zbiornika uśredniającego, znajdującego się bezpośrednio po wydzielonych komorach fermentacyjnych. Posiadał on płynną konsystencję z niewielką ilością części stałych o wielkości od 0,5 do 5,0 mm. Osad odwodniony uzyskano przy pomocy wirówki szwedzkiej firmy ALFA-LAVAL. Charakteryzował się on jednolitą, ciastowatą konsystencją.

Słoma użyta do badań była materiałem najbardziej dostępnym, co spowodowało użycie właśnie tego materiału. Była ona dobrze wysuszona i pocięta na odcinki długości od 1 do 3 cm w celu zwiększenia powierzchni kontaktu z osadem. Pochodziła z gospodarstwa rolnego znajdu-



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do badań wieloetapowych: 1 – sprężarka, 2 – rotametr, 3 – zamknięta komora kompostowa  $V = 40 \text{ dm}^3$ , 4 – izolacja termiczna, 5 – termometr, 6 – odpływ cieku, 7 – ruszt, 8 – zawór odcinający, 9 – odpowietrzenie, 10 – zagęszczona masa kompostowa, 11 – przewód doprowadzający powietrze, 12 – przewód napowietrzający komorę kompostową

Fig. 1. Outline of the research stand for multistage research: 1 – compressor, 2 – rotameter, 3 – closed composting chamber  $V = 40 \text{ dm}^3$ , 4 – thermal insulation, 5 – thermometer, 6 – outflow, 7 – grate, 8 – check-valve, 9 – venting, 10 – condensed composting mass, 11 – main aeration, 12 – main aeration composting chamber

jącego się w pobliżu oczyszczalni ścieków. Osad nie odwodniony i odwodniony oraz słoma użyta do kolejnych serii badań była pobierana z tych samych miejsc.

Przygotowanie masy kompostowej oraz proces kompostowania osadu nie odwodnionego i odwodnionego ze słomą przebiegały w trzech etapach:

**Etap I.** Osad nie odwodniony w poszczególnych próbach mieszano ze słomą w ilości 15 litrów na 5 kg słomy (15 kg osadu odwodnionego na 5 kg słomy). Następnie masę kompostową przenoszono do komory zamkniętej, zagęszczano i zakrywano komorę. Po zainicjowaniu procesu termicznego masę kompostową równomiernie napowietrzano. W przypadku kompostowania osadu nie odwodnionego nadmiar osadu nie wchłonięty przez słomę odprowadzany był z komory do zlewki. Po zakończeniu procesów termicznych w komorze odciek wykorzystywany był do utrzymania odpowiedniej wilgotności masy kompostowej. Etap ten kończył się w momencie, gdy temperatura w pryzmie obniżała się do około 25–30°C i trwał średnio 11 dni (w przypadku osadu odwodnionego średnio 7 dni).

**Etap II.** Masę kompostową wyjmowano ze zbiornika w celu obniżenia jej temperatury do temperatury otoczenia. Następnie dodawano 6 litrów osadu nie odwodnionego (6 kg osadu odwodnionego), mieszano, przerzucano do komory, zagęszczano i zamykano komorę. Po zainicjowaniu procesu termicznego masę kompostową równomiernie napowietrzano. Po zakończeniu procesów termicznych w komorze odciek wykorzystywany był do utrzymania odpowiedniej

wilgotności masy kompostowej. Podobnie jak pierwszy, etap drugi kończył się w chwili obniżenia temperatury do około 25–30°C i trwał średnio 7 dni (w przypadku osadu odwodnionego średnio 11 dni).

**Etap III.** Czynności w tym etapie wykonywane były podobnie jak w poprzednich etapach. Do masy kompostowej dodawano 5 litrów osadu nie odwodnionego (5 kg osadu odwodnionego). Etap ten trwał średnio 9 dni w obydwu przypadkach. Cały proces wieloetapowego kompostowania nie odwodnionych i odwodnionych osadów ściekowych z sieczką ze słomy pszennej trwał średnio 27 dni.

## Wyniki badań

Przeprowadzone badania nad przydatnością nie odwodnionych i odwodnionych osadów ściekowych do kompostowania wspólnie z sieczką ze słomy pozwoliły na określenie optymalnych warunków prowadzenia procesu, z jednocześnie uzyskaniem jak najlepszych wartości nawozowych kompostu. Wyniki analizy fizykochemicznej substratów użytych do kompostowania przedstawiono w tabelach 2, 3.

Wyniki badań wieloetapowego kompostowania odwodnionych i nieodwodnionych osadów z sieczką przedstawiają tabele 4, 5. W wyniku przeprowadzonych badań wieloetapowego kompostowania nieodwodnionych osadów ściekowych z sieczką ze słomy pszennej maksymalna temperatura w pryzmie kom-

TABELA 2. Parametry substratów użytych do kompostowania słomy z nieodwodnionym osadem ściekowym  
TABLE 2. Parameters of substrates used in composting of straw with non-dehydrated sewage sludge

| Seria badań<br>Research serie | Skład<br>Composition |                | Charakterystyka masy kompostowej<br>Composting substance characteristics |                     |                            |                            |                                                       |                                           |     |                                | Słoma<br>Straw      |  |
|-------------------------------|----------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----|--------------------------------|---------------------|--|
|                               | osad<br>Sludge       | słoma<br>Straw | Nie odwodniony osad ściekowy<br>Non-dehydrated sewage sludge             |                     |                            |                            |                                                       |                                           |     |                                |                     |  |
|                               | dm <sup>3</sup>      | kg             | Wilgotn.<br>% H <sub>2</sub> O                                           | s.m. org.<br>% s.m. | K <sub>2</sub> O %<br>s.m. | C <sub>org</sub><br>% s.m. | BZT <sub>5</sub><br>MgO <sub>2</sub> /dm <sub>3</sub> | ChZT<br>mgO <sub>2</sub> /dm <sub>3</sub> | pH  | Wilgotn.<br>% H <sub>2</sub> O | s.m. org.<br>% s.m. |  |
| Seria nr-1<br>23.11–19.12.96  | 25                   | 5              | 96,7                                                                     | 98,7                | 0,15                       | 1,61                       | 11 990                                                | 14 120                                    | 6,9 | 8,3                            | 94,1                |  |
| Seria nr-2<br>27.01–24.02.97  | 25                   | 5              | 96,7                                                                     | 98,6                | 0,15                       | 1,61                       | 11 990                                                | 14 120                                    | 6,9 | 8,3                            | 94,1                |  |
| Seria nr-3<br>24.02–22.03.97  | 25                   | 5              | 96,7                                                                     | 98,6                | 0,15                       | 1,61                       | 11 990                                                | 14 120                                    | 6,9 | 8,3                            | 94,1                |  |
| Seria nr-4<br>25.03–21.04.97  | 25                   | 5              | 95,6                                                                     | 97,9                | 0,18                       | 2,26                       | 12 576                                                | 15 534                                    | 6,8 | 7,8                            | 94,6                |  |
| Seria nr-5<br>27.04–25.05.97  | 25                   | 5              | 95,2                                                                     | 97,9                | 0,18                       | 2,26                       | 12 576                                                | 15 534                                    | 6,8 | 7,8                            | 94,6                |  |

TABELA 3. Parametry substratów użytych do kompostowania słomy z odwodnionym osadem ściekowym  
TABLE 3. Parameters of substrates used in composting of straw with dehydrated sewage sludge

| Seria badań<br>Research serie | Skład<br>Composition |                | Charakterystyka masy kompostowej<br>Composting substance characteristics |                     |                            |                            |                                                       |                                           |     |                                |                     |
|-------------------------------|----------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----|--------------------------------|---------------------|
|                               | osad<br>sludge       | słoma<br>straw | odwodniony osad ściekowy<br>dehydrated sewage sludge                     |                     |                            |                            |                                                       |                                           |     | słoma<br>straw                 |                     |
|                               | dm <sup>3</sup>      | kg             | Wilgotn.<br>% H <sub>2</sub> O                                           | s.m. org.<br>% s.m. | K <sub>2</sub> O %<br>s.m. | C <sub>org</sub><br>% s.m. | BZT <sub>5</sub><br>MgO <sub>2</sub> /dm <sub>3</sub> | ChZT<br>mgO <sub>2</sub> /dm <sub>3</sub> | pH  | Wilgotn.<br>% H <sub>2</sub> O | s.m. org.<br>% s.m. |
| Seria nr-1<br>23.11–19.12.96  | 25                   | 5              | 77,5                                                                     | 90,2                | 0,22                       | 4,55                       | 13 240                                                | 16 960                                    | 6,8 | 8,3                            | 94,1                |
| Seria nr-2<br>27.01–24.02.97  | 25                   | 5              | 77,5                                                                     | 90,2                | 0,22                       | 4,55                       | 13 240                                                | 16 960                                    | 6,8 | 8,3                            | 94,1                |
| Seria nr-3<br>24.02–22.03.97  | 25                   | 5              | 77,5                                                                     | 90,2                | 0,22                       | 4,55                       | 13 240                                                | 16 960                                    | 6,8 | 8,3                            | 94,1                |
| Seria nr-4<br>25.03–21.04.97  | 25                   | 5              | 75,8                                                                     | 89,7                | 0,2                        | 4,83                       | 14 400                                                | 18 130                                    | 7,0 | 7,8                            | 94,6                |
| Seria nr-5<br>27.04–25.05.97  | 25                   | 5              | 75,8                                                                     | 89,7                | 0,2                        | 4,83                       | 14 400                                                | 18 130                                    | 7,0 | 7,8                            | 94,6                |

TABELA 4. Przebieg wieloetapowego kompostowania słomy z nieodwodnionym osadem ściekowym (między 3 a 6 dniem każdego etapu)

| Składnik<br>Constituent                                       | Etap<br>Stage | Czas trwania procesu<br>Timing of                |                                     |                                                  |                                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                               |               | Seria nr-1<br>23.11.–19.12.96                    |                                     | Seria nr-2<br>27.01.–24.02.97                    |                                     |
|                                                               |               | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results |
| pH                                                            | I             | 7,4–7,5                                          | 7,4                                 | 7,4–7,5                                          | 7,4                                 |
|                                                               | II            | 7,4–7,8                                          | 7,5                                 | 7,4–7,8                                          | 7,5                                 |
|                                                               | III           | 7,4–7,9                                          | 7,5                                 | 7,4–7,9                                          | 7,5                                 |
| Temperatura<br>Temperature [°C]                               | I             | 15–59                                            | 55                                  | 15–64                                            | 61                                  |
|                                                               | II            | 28–52                                            | 50                                  | 29–56                                            | 51                                  |
|                                                               | III           | 15–51                                            | 44                                  | 15–57                                            | 48                                  |
| Wilgotność<br>Humidity [%]                                    | I             | 68,8–75,7                                        | 71,4                                | 68,8–75,7                                        | 71,8                                |
|                                                               | II            | 72,2–79,4                                        | 76,4                                | 72,2–79,4                                        | 76,7                                |
|                                                               | III           | 75,1–79,8                                        | 77,2                                | 75,1–79,8                                        | 77,1                                |
| Ilość powietrza<br>Air quantity<br>[dm <sup>3</sup> g s.m.*d] | I             | 0,145–0,154                                      | 0,15                                | 0,145–0,154                                      | 0,15                                |
|                                                               | II            | 0,149–0,153                                      | 0,15                                | 0,149–0,153                                      | 0,15                                |
|                                                               | III           | 0,145–0,156                                      | 0,15                                | 0,145–0,156                                      | 0,15                                |
| Sucha m. org.<br>Dry organic subst.<br>[% s.m.]               | I             | 55–70                                            | 62                                  | 54–69                                            | 57                                  |
|                                                               | II            | 51–59                                            | 57                                  | 50–58                                            | 54                                  |
|                                                               | III           | 46–51                                            | 48                                  | 45–50                                            | 47                                  |
| Temp. otoczenia<br>Outside temperature<br>[°C]                | I             | 10–13                                            | 12                                  | 10–13                                            | 12                                  |
|                                                               | II            | 11–14                                            | 12                                  | 11–14                                            | 12                                  |
|                                                               | III           | 11–13                                            | 12                                  | 11–13                                            | 12                                  |

postowej wynosiła 64°C w etapie pierwszym, 56°C w etapie drugim i 57°C w etapie trzecim, a z odwodnionymi osadami temperatura w przyłomie kompostowej wynosiła 66°C w etapie pierwszym, 64°C w etapie drugim i 54°C w etapie trzecim.

Wilgotność masy kompostowej z nieodwodnionym osadem wynosiła odpowiednio: 65,8–76,5% w etapie pierwszym, 65,8–79,4% w etapie drugim oraz 71,2–80,1% w etapie trzecim, a z osadem odwodnionym wahała się odpo-

wiednio: 46,2–62,4% w etapie pierwszym, 46,2–68,9% w etapie drugim oraz 48,8–64,8% w etapie trzecim.

W trakcie procesu obniżeniu uległa zawartość suchej masy organicznej w przyłomie kompostowej z osadem nieodwodnionym z średniej wartości początkowej 70% s.m. do średnio 61% s.m. w etapie pierwszym, 54% s.m. w etapie drugim i 47% s.m. w etapie trzecim, a z osadem odwodnionym z średniej wartości początkowej 68% s.m. do średnio 62% s.m. w etapie pierwszym, 54% s.m. w etapie drugim i 44% s.m. w etapie trzecim.

TABLE 4. The course of multistage composting of straw with non-dehydrated sewage sludge (between 3<sup>rd</sup> and 6<sup>th</sup> day of each stage)

| Seria nr-3<br>24.02–22.03.97                     |                                     | Seria nr-4<br>25.03.–21.04.97                    |                                     | Seria nr-5<br>27.04.–25.05.97                    |                                     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results |
| 7,4–7,5                                          | 7,4                                 | 7,4–7,5                                          | 7,4                                 | 7,4–7,5                                          | 7,4                                 |
| 7,4–7,8                                          | 7,5                                 | 7,4–7,8                                          | 7,5                                 | 7,4–7,8                                          | 7,5                                 |
| 7,4–7,9                                          | 7,5                                 | 7,4–7,9                                          | 7,5                                 | 7,4–7,9                                          | 7,5                                 |
| 17–53                                            | 51                                  | 16–56                                            | 55                                  | 22–64                                            | 61                                  |
| 28–51                                            | 48                                  | 25–53                                            | 51                                  | 32–55                                            | 51                                  |
| 19–50                                            | 45                                  | 15–52                                            | 48                                  | 18–52                                            | 47                                  |
| 68,8–75,7                                        | 71,3                                | 68,8–75,7                                        | 71,9                                | 68,8–75,7                                        | 71,3                                |
| 72,2–79,4                                        | 76,4                                | 72,2–79,4                                        | 76,5                                | 72,2–79,4                                        | 76,2                                |
| 75,1–79,8                                        | 77,0                                | 75,1–79,8                                        | 77,1                                | 75,1–79,8                                        | 77,5                                |
| 0,145–0,154                                      | 0,15                                | 0,145–0,154                                      | 0,15                                | 0,145–0,154                                      | 0,15                                |
| 0,149–0,153                                      | 0,15                                | 0,149–0,153                                      | 0,15                                | 0,149–0,153                                      | 0,15                                |
| 0,145–0,156                                      | 0,15                                | 0,145–0,156                                      | 0,15                                | 0,145–0,156                                      | 0,15                                |
| 56–71                                            | 59                                  | 56–72                                            | 62                                  | 55–69                                            | 61                                  |
| 52–56                                            | 53                                  | 51–58                                            | 56                                  | 50–57                                            | 52                                  |
| 45–49                                            | 47                                  | 45–48                                            | 47                                  | 45–49                                            | 48                                  |
| 10–17                                            | 15                                  | 10–16                                            | 15                                  | 14–18                                            | 18                                  |
| 11–16                                            | 15                                  | 11–16                                            | 15                                  | 11–16                                            | 18                                  |
| 11–18                                            | 15                                  | 11–18                                            | 15                                  | 11–18                                            | 18                                  |

Odczyn pH był zasadowy dla masy z osadem nie odwodnionym jak i odwodnionym i wahał się od 7,4 do 7,9, dzięki czemu zostały zapewnione właściwe warunki dla rozwoju mikroorganizmów oraz zabezpieczone częściowo przed stratą azotu.

Podczas kompostowania osadu nie odwodnionego ze słomą, osad, który nie został wchłonięty przez sieczkę, odciekł z przyzmy i posłużył jako materiał do jej polewania.

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania kompostowania nie odwodnionych i odwodnionych osadów ściekowych z sieczką ze słomy pozwoliły na zapoznanie się z efektywnością i dynamiką procesu kompostowania, jak i ze zjawiskiem termicznego odkażenia masy kompostowej. Dzięki badaniom powstała możliwość określenia optymalnych warunków i parametrów prowadzenia procesu oraz odpo-

TABELA 5. Przebieg wieloetapowego kompostowania słomy z odwodnionym osadem ściekowym (między 3 a 6 dniem każdego etapu)

| Składnik<br>Constituent                                       | Etap<br>Stage | Czas trwania procesu<br>Timing of                |                                     |                                                  |                                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                               |               | Seria nr-1<br>23.11.–19.12.96                    |                                     | Seria nr-2<br>27.01.–24.02.97                    |                                     |
|                                                               |               | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results |
| pH                                                            | I             | 7,8–7,6                                          | 7,7                                 | 7,8–7,6                                          | 7,7                                 |
|                                                               | II            | 7,6–7,8                                          | 7,7                                 | 7,6–7,8                                          | 7,7                                 |
|                                                               | III           | 7,5–7,7                                          | 7,6                                 | 7,5–7,7                                          | 7,6                                 |
| Temperatura<br>Temperature [°C]                               | I             | 28–63                                            | 61                                  | 31–65                                            | 63                                  |
|                                                               | II            | 44–64                                            | 60                                  | 50–56                                            | 55                                  |
|                                                               | III           | 27–54                                            | 51                                  | 30–51                                            | 50                                  |
| Wilgotność<br>Humidity [%]                                    | I             | 55,4–46,2                                        | 52,4                                | 55,4–46,2                                        | 52,4                                |
|                                                               | II            | 48,8–67,7                                        | 62,5                                | 48,8–67,7                                        | 62,5                                |
|                                                               | III           | 54,2–61,4                                        | 59,4                                | 54,2–61,4                                        | 59,4                                |
| Ilość powietrza<br>Air quantity<br>[dm <sup>3</sup> g s.m.*d] | I             | 0,142–0,151                                      | 0,15                                | 0,142–0,151                                      | 0,15                                |
|                                                               | II            | 0,139–0,162                                      | 0,15                                | 0,139–0,162                                      | 0,15                                |
|                                                               | III           | 0,1446–0,153                                     | 0,15                                | 0,1446–0,153                                     | 0,15                                |
| Sucha m. org.<br>Dry organic subst.<br>[mg/dm <sup>3</sup> ]  | I             | 54–69                                            | 63                                  | 56–68                                            | 66                                  |
|                                                               | II            | 54–60                                            | 56                                  | 53–61                                            | 54                                  |
|                                                               | III           | 49–51                                            | 50                                  | 41–46                                            | 44                                  |
| Temp. otoczenia<br>Outside temperat.<br>[°C]                  | I             | 11–14                                            | 12                                  | 11–14                                            | 12                                  |
|                                                               | II            | 12–13                                            | 12                                  | 12–13                                            | 12                                  |
|                                                               | III           | 13–15                                            | 14                                  | 13–15                                            | 14                                  |

wiedniego składu mieszanki kompostowej.

W warunkach wiejskich zaleca się kompostowanie nie odwodnionych osadów ściekowych. Mechaniczne odwodnienie osadów jest ekonomicznie nie uzasadnione. W warunkach miejskich wskazane jest odwadnianie osadu przed procesem kompostowania. Analizując przebieg rozkładu temperatury w poszczególnych etapach stwierdzono, że już po pierwszym etapie dochodzi do termicznego odkażenia. Złoże może wówczas dojrzewać na pryzmach poza

oczyszczalnią, wymaga to jednak dużego terenu. Trzyetapowe kompostowanie celowe jest wówczas, gdy powstały kompost jest przeznaczony do celów handlowych i gdy brak jest rozległych terenów. Trzyetapowe kompostowanie wiąże się jednak z wyższymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia można sformułować następujące wnioski:

1. Nie odwodnione i odwodnione osady ściekowe można kompostować wspólnie z sieczką ze słomy, w wyniku

TABLE 5. The course of multistage composting of straw with dehydrated sewage sludge ( between 3<sup>rd</sup> and 6<sup>th</sup> day of each stage)

| Seria nr -3<br>24.02.–22.03.97                   |                                     | Seria nr-4<br>25.03.–21.04.97                    |                                     | Seria nr-5<br>27.04.–25.05.97                    |                                     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results | zakres<br>zmienności<br>Range of<br>fluctuations | wartości<br>średnie<br>Mean results |
| 7,8–7,6                                          | 7,7                                 | 7,8–7,6                                          | 7,7                                 | 7,8–7,6                                          | 7,7                                 |
| 7,6–7,8                                          | 7,7                                 | 7,6–7,8                                          | 7,7                                 | 7,6–7,8                                          | 7,7                                 |
| 7,5–7,7                                          | 7,6                                 | 7,5–7,7                                          | 7,6                                 | 7,5–7,7                                          | 7,6                                 |
| 47–59                                            | 58                                  | 45–62                                            | 60                                  | 45–66                                            | 62                                  |
| 52–58                                            | 56                                  | 41–59                                            | 56                                  | 48–56                                            | 55                                  |
| 44–52                                            | 50                                  | 38–51                                            | 50                                  | 39–54                                            | 52                                  |
| 55,4–46,2                                        | 52,4                                | 55,4–46,2                                        | 52,4                                | 55,4–46,2                                        | 52,4                                |
| 48,8–67,7                                        | 62,5                                | 48,8–67,7                                        | 62,5                                | 48,8–67,7                                        | 62,5                                |
| 54,2–61,4                                        | 59,4                                | 54,2–61,4                                        | 59,4                                | 54,2–61,4                                        | 59,4                                |
| 0,142–0,151                                      | 0,15                                | 0,142–0,151                                      | 0,15                                | 0,142–0,151                                      | 0,15                                |
| 0,139–0,162                                      | 0,15                                | 0,139–0,162                                      | 0,15                                | 0,139–0,162                                      | 0,15                                |
| 0,1446–0,153                                     | 0,15                                | 0,1446–0,153                                     | 0,15                                | 0,1446–0,153                                     | 0,15                                |
| 57–62                                            | 60                                  | 55–61                                            | 60                                  | 57–61                                            | 59                                  |
| 54–57                                            | 55                                  | 53–57                                            | 54                                  | 56–53                                            | 54                                  |
| 43–48                                            | 46                                  | 43–48                                            | 46                                  | 42–49                                            | 47                                  |
| 11–19                                            | 15                                  | 11–17                                            | 15                                  | 11–18                                            | 15                                  |
| 12–16                                            | 15                                  | 12–19                                            | 15                                  | 12–17                                            | 15                                  |
| 13–17                                            | 15                                  | 13–18                                            | 15                                  | 13–16                                            | 15                                  |

czego otrzymuje się wyjałowienie masy kompostowej.

2. Aby uzyskać optymalne prowadzenie procesu wstępnego kompostowania potrzebne jest zagęszczenie mieszanki kompostowej z osadem nie odwodnionym, jak i odwodnionym do około 400 kg/m<sup>3</sup>, co spowoduje małe straty ciepła i szybki wzrost temperatury w pryzmie.

3. Kompostowanie odwodnionych osadów ściekowych jest celowe w dużych oczyszczalniach. Zaleca się prowa-

dzenie trzyetapowego kompostowania ze względu na deficyt terenu.

4. W warunkach wiejskich korzystniejsze jest jednoetapowe kompostowanie nieodwodnionych osadów i dojrzewanie złoży na otwartym terenie.

## Literatura

BERNACKA J., PAWŁOWSKA L. 1994: *Zagospodarowanie i wykorzystanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*. Wydaw. IOŚ, Warszawa.



- KEMPA E., 1983: *Przyszłościowa gospodarka osadami*. Materiały z Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej, Częstochowa, 15.
- ROGIŃSKI W., JASIŃSKA E. 1995: *Badania procesów biologicznych przetwarzania bioodpadów w systemie wielokrotnionego kompostowania*. Przegląd Naukowy Wydz. Mel. i Inżyn. Środ., Warszawa

## Summary

**Research on biological processes during composting of biological waste and sewage sludge.** The amount of sludge in

sewage-treatment plants constantly increases. The solution of rising problems is composting sludge. The investigation which were made showed that the compost received from sludge is suitable for use as manure in agriculture, if it does not contain excessive amount of heavy metals.

### Authors' address

W. Rogiński, P. Wichowski  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 166  
E. Jasińska  
Warsaw Technical University  
(Department in Płock)  
Poland

**Andrzej CIEPIEŁOWSKI,**

Pracownia Środowiskowych Systemów Informacyjnych

Katedra Budownictwa Wodnego

Enviromental Information Systems Laboratory Department of Hydraulic Structures

**Teresa WAWRZONIAK**

Instytut Badawczy Leśnictwa

Forest Research Institute

## **Zmiana jakości wód gruntowych w wyniku deszczowania ściekami lasu i plantacji drzew**

## **Changes of ground water quality as a result of sewage watering in forest and tree plantation**

### **Wstęp**

W roku 1984 w Smolnikach k. Iławy uruchomiono prototypową w skali kraju, Leśną Oczyszczalnię Ścieków. Na jej terenie oczyszczane i utylizowane są w środowisku lekkich gleb leśnych, ścieki ziemniaczane z Zakładów Przemysłu Ziemniaczanego „Iława” w Iławie.

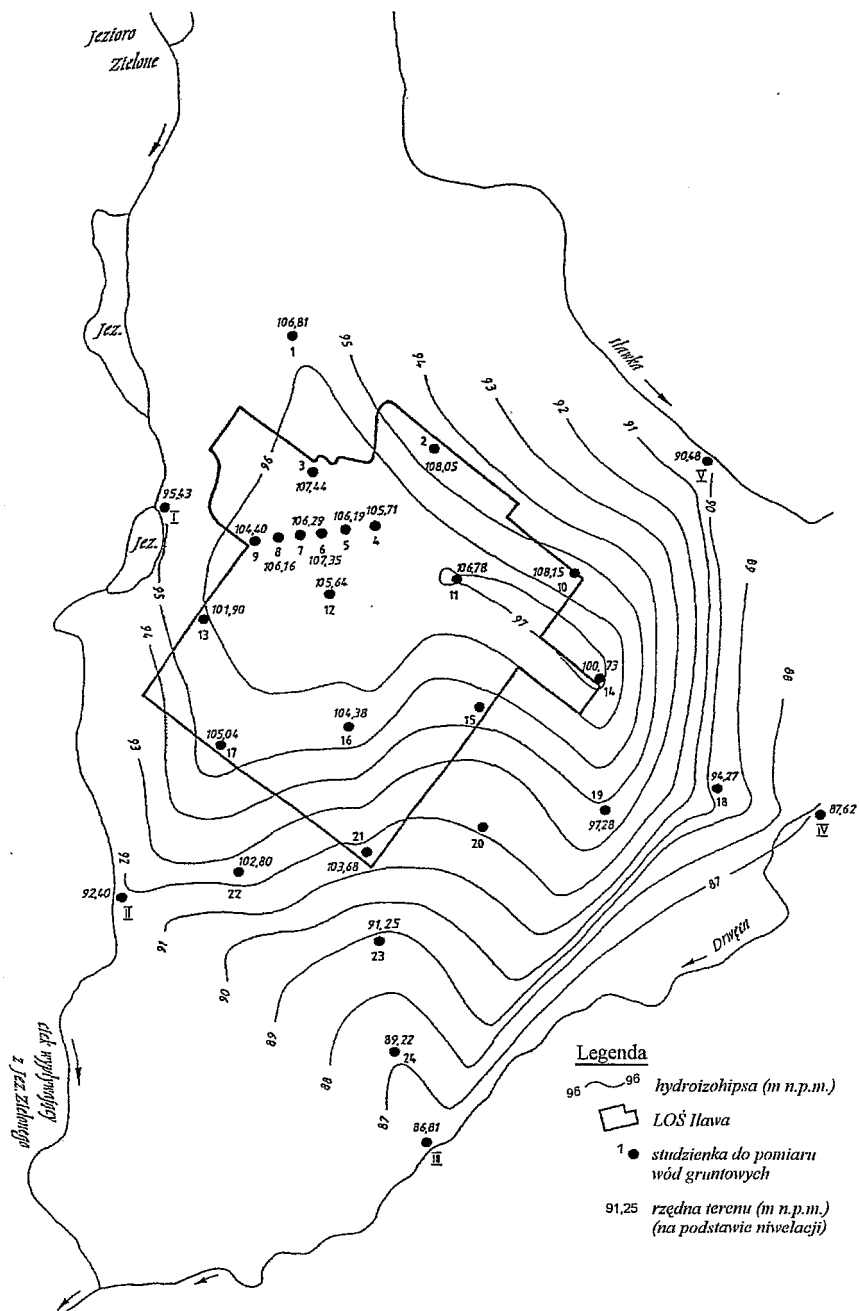
Zakład Gospodarki Wodnej IBL zobowiązał się do oceny wpływu stosowanych nawodnień ściekami na środowisko, prowadzenia badań nad wytypowaniem drzew leśnych do ewentualnej przebudowy drzewostanów sosnowych oraz oceny ich produkcyjności. Niniejsza praca poświęcona jest jednemu z wielu aspektów zagadnienia wpływu nawodnień ściekami na środowisko leśne – zmianom

jakościowym wód gruntowych na terenie oczyszczalni.

Ścieki z Zakładów kierowane są na oczyszczalnię podziemnym rurociągiem długości około 7 km do zbiornika wyrównawczego o pojemności 11 tys. m<sup>3</sup>, stąd pompami rozprowadzane po terenie za pomocą stałych rurociągów podziemnych i nadziemnych oraz zraszaczy. W obrębie oczyszczalni wyodrębniono część doświadczalną i gospodarczą.

Część doświadczalna, w której stosuje się różne warianty nawodnień stanowią:

- plantacja 16 gatunków drzew założona w latach 1982–1983, o powierzchni około 6,0 ha,
- plantacja 5 gatunków drzew założona w 1992 r. o powierzchni około 6,0 ha,
- 28 drzewostanowych powierzchni rozmieszczonych w różnych oddzia-



Rys. 1. Mapa hydroizohips średnich poziomów wód gruntowych na terenie LOŚ (1995 r.)  
 Fig. 1. Map of average ground water levels in the Forest Sewage Treatment (1995)

łach o łącznej powierzchni 5,6 ha (rys. 1).

W przypadku nawadniania ściekami ziemniaczanymi dawka jednorazowa wynosi 30 mm (czas nawadniania 2 godz. 15 min). Przy nawadnianiu wodą pobieraną z jeziora w okresie wegetacyjnym (maj–sierpień) dawka jednorazowa wynosi 20 mm (czas nawadniania 1 godz. 30 min). Stosowano 5 wariantów nawodnień.

W części lasu gospodarczego przyjęto wariant „1” – dawka podstawowa + 300 mm wody, na plantacjach warianty 0-1,5, a w drzewostanie sosnowym 0-2.

Dawkę podstawową (łącną) w danym roku otrzymywano w wyniku pomnożenia liczby nawodnień wykonywanych w czasie kampanii trwającej około 100 dni (wrzesień-grudzień) przez wielkość jednorazowego polewu (dawki).

Dawki roczne równają się wielokrotności nawodnień w kampanii produkcyjnej (wrzesień-grudzień).

## Charakterystyka wód podziemnych

Leśna Oczyszczalnia Ścieków „Iława” usytuowana jest między rzeką Ił-

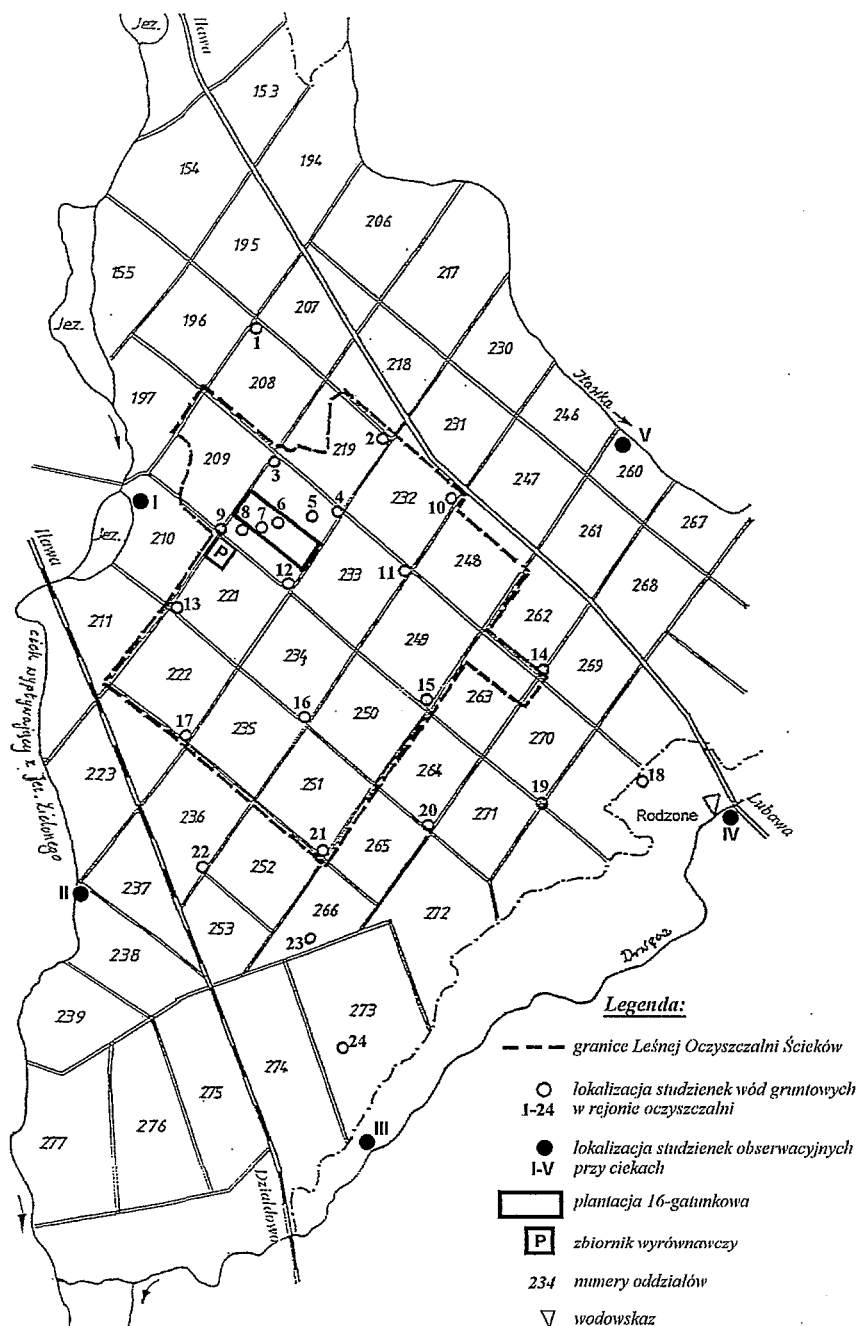
wką (od pñ. wschodu), rzeką Drwęcą (od pñd. wschodu) i ciekim biegnącym z jeziora Zielone do Drwęcą (od zachodu). Granicę oczyszczalni określają studzienki do kontroli wód gruntowych nr 10-2-9-17-21-15-14-10.

Ogółem w rejonie oczyszczalni zainstalowano sieć 27 studzienek, w których kontrolowano 1 lub 2 razy w miesiącu poziom wód gruntowych. Średni poziom wody gruntowej z okresu 1985–1995 kształtował się na terenie oczyszczalni w granicach od 91,45 m n.p.m. do 97,00, a średnia głębokość występowania wody gruntowej układała się w granicach 3,73–12,23 m ppt, przeciętnie jednak wynosiła ponad 8 m.

Najmniejsze amplitudy wahań wody gruntowej zanotowano w studziencie usytuowanej na północnym skraju oczyszczalni (0,91 m–studz. 18) oraz przy jeziorze bez nazwy (0,57 m–studz. I). Natomiast największe amplitudy wynosiły 2,61 m (studz. 4)–2,74 m (studz. 11). Z przebiegu hydroizohips średnich poziomów wód gruntowych na początku okresu badań w 1985 i końca 1995 r. (rys. 2) wynika, że rzeka Drweca drenuje teren oczyszczalni. Z porównania hipsometrii terenu z hydroizohipsami sãdzić można, że przez teren LOŚ przechodzi

TABELA 1. Warianty nawodnień (Białkiewicz 1989)

| Symbol wariantu | Rodzaj wariantu                              | Liczba polewów ściekami | Dawka polewowa ścieków [mm] | Łączna dawka ścieków [mm] |
|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 0               | Kontrola bez nawożeń i nawodnień             | –                       | –                           | –                         |
| 0,5             | 0,5 dawki podstawowej ścieków + 300 mm wody  | 10                      | 15                          | 150                       |
| 1,0             | Dawka podstawowa ścieków + 300 mm wody       | 10                      | 30                          | 300                       |
| 1,5             | 1,5 x dawka podstawowa ścieków + 300 mm wody | 10                      | 45                          | 450                       |
| 2,0             | 2,0 x dawka podstawowa ścieków + 300 mm wody | 10                      | 60                          | 600                       |



Rys. 2. Plan sytuacyjny Leśnej Oczyszczalni Ścieków  
Fig. 2. Scheme of the Forest Sewage Treatment location

wododział zlewni powierzchniowej, a granica tej zlewni nie pokrywa się ze zlewnią wód podziemnych.

Na terenie oczyszczalni w okresie 1984–1995 kontrolowano chemizm wód gruntowych w 14 studzienkach (3, 4, 6–8, 12, 16, 23 oraz I–VI). Pobór wody do analiz następował z częstotliwością 3–5 razy w roku.

Wykonywano następujące oznaczenia: azot (met. Kjeldahla), azot amonowy, azot organiczny, azot azotanowy, fosfor, potas, magnez, wapń, sód, siarczany, chlorki, BZT<sub>5</sub> oraz pH. Część z tych oznaczeń nie była wykonywana przez cały okres badań. Azot organiczny i amonowy oznaczano w latach 1991–1995, azot azotanowy 1993–1995, siarczany i chlorki 1984–1989. Łącznie przeanalizowano 730 prób wód gruntowych (463 ze studzienek z terenu oczyszczalni i 267 przy ciekach).

We wszystkich studzienkach, niezależnie od ich położenia i głębokości, stwierdzono w latach 1984–1995 podobne średnie zawartości azotu amonowego, azotu organicznego, azotu ogólnego, fosforu, a także średnie wartości BZT<sub>5</sub>, chociaż w ciągu lat zawartość tych składników ulegała wahaniom. Woda pozostawała przeciętnie w I–III klasie czystości (rys. 3, rys. 4).

Jakkolwiek woda gruntowa pod oczyszczalnią zawierała małe i niezmiennie zawartości azotu amonowego i organicznego, to jednak azot w wodzie gruntowej występował głównie w formie azotanowej, który to czynnik powodował pozanormalną klasę czystości.

W wyniku nawodnień wodą jeziorową i ściekami ziemniaczanymi, w wo-

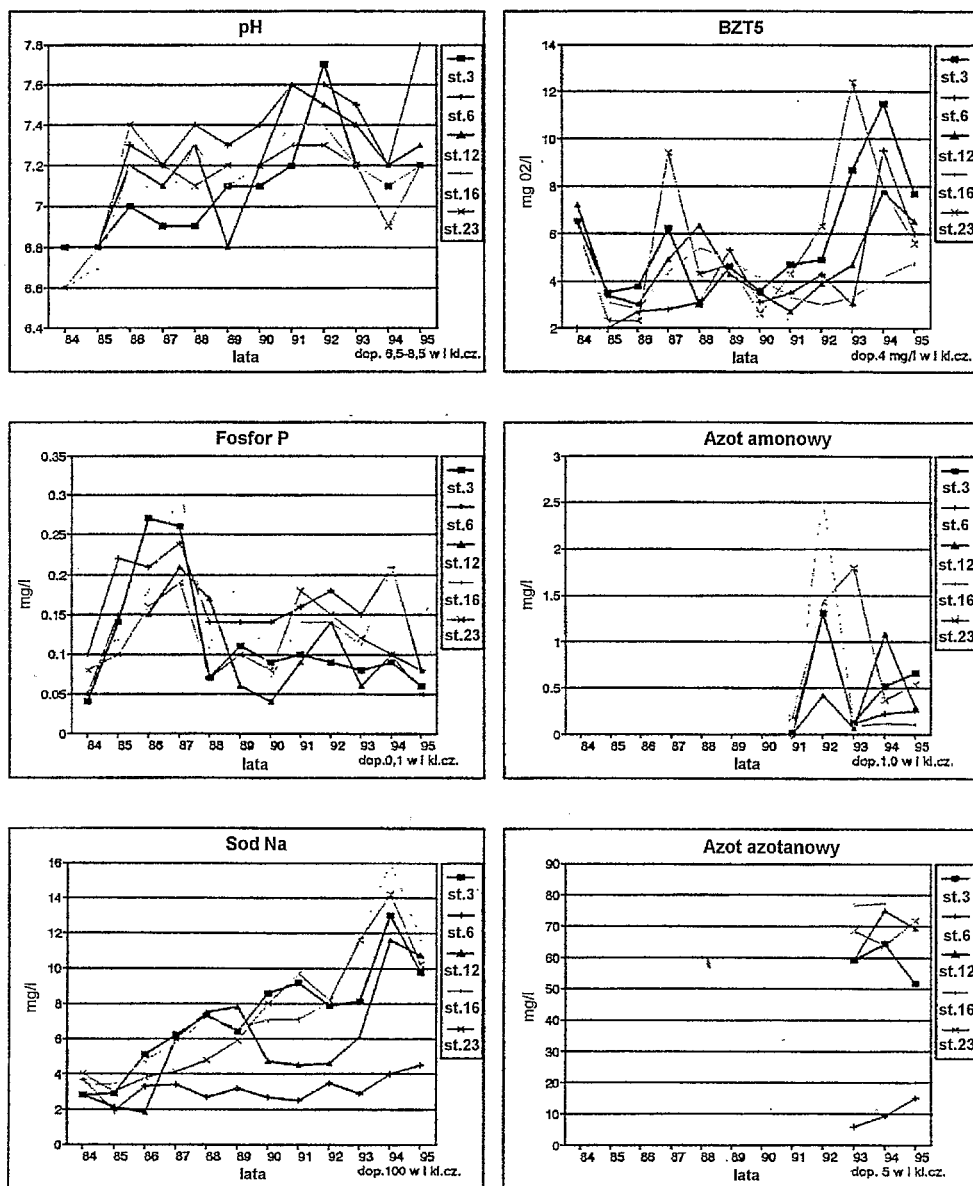
dach gruntowych pod terenem oczyszczalni oraz poza oczyszczalnią, ale na drodze przepływu z oczyszczalni do Drwęcy, wzrosła zawartość wapnia (Ca), magnezu (Mg) i sodu (Na), co stwierdzono na podstawie badań w przeważającej liczbie studzienek. Średnia zawartość siarczanów w wodzie gruntowej wyniosła 39 mg/dm<sup>3</sup>, a chlorków 17 mg/dm<sup>3</sup>. Są to ilości odpowiadające wodom I klasy czystości. Średnie wartości pH wody w poszczególnych studzienkach mieściły się w granicach 6,9–7,3.

Nieco niższe pH miały wody gruntowe w dwóch pierwszych latach działalności oczyszczalni. Na wzrost pH mogły wpłynąć nawodnienia wodą jeziorową, gdzie pH było wyższe aniżeli ścieków.

## Podsumowanie

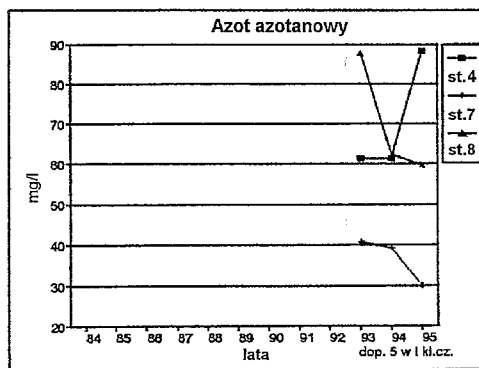
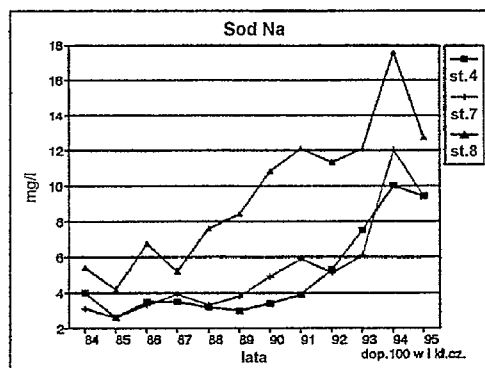
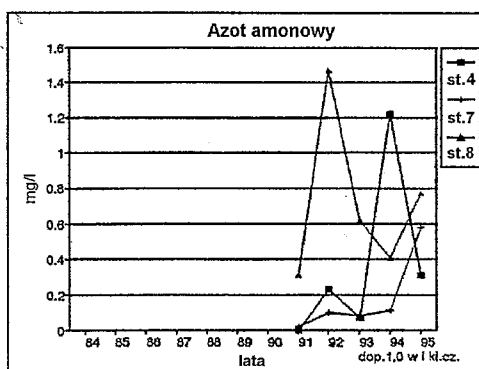
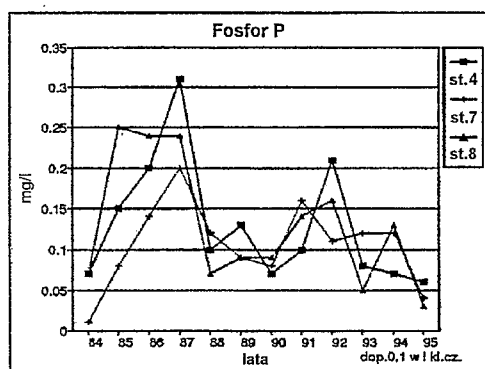
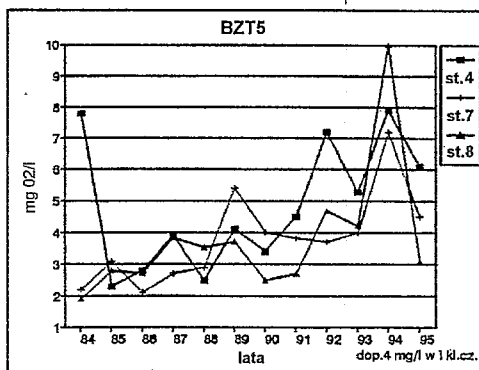
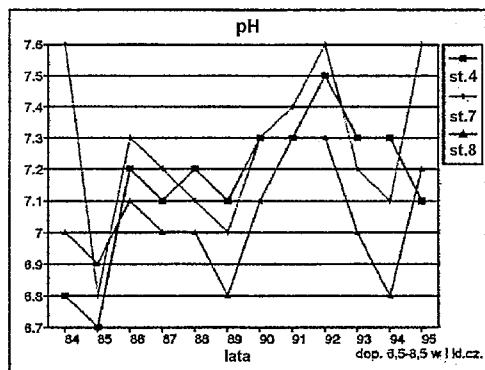
1. W wyniku 12-letnich badań stwierdza się, że w okresie pracy oczyszczalni nastąpił największy wzrost poziomu wód gruntowych pod terenem oczyszczalni. Na podniesienie poziomu wody gruntowej w danym roku miały wpływ duże ilości wody dostarczone w czasie kampanii produkcyjnej i z opadów deszczu. Rozprowadzane ścieki kumulują się głównie w wierzchniej 20–30 cm warstwie gleby przy poziomie wody gruntowej na terenie oczyszczalni na głębokości 3,7–12,2 m ppt.

2. Nawodnienia ściekami ziemniaczanymi i wodą jeziorową stosowane na terenie oczyszczalni nie spowodowały wzrostu zawartości azotu amonowego i organicznego oraz fosforu, natomiast spowodowały nieznaczny wzrost BZT<sub>5</sub>



Rys. 3. Charakterystyka chemiczna wód gruntowych w rejonie Leśnej Oczyszczalni Ścieków wg transektu PN-PS

Fig. 3. Chemical properties of ground water in the Forest Sewage Treatment according to PN-PS transect



Rys. 4. Charakterystyka chemiczna wód gruntowych w rejonie Leśnej Oczyszczalni Ścieków w oddz. 220  
 Fig. 4. Chemical properties of ground water in the Forest Sewage Treatment in comp. 220



oraz ciągły wzrost zawartości wapnia, magnezu i sodu, występowanie dużych zawartości azotanów, a w niektórych studzienkach pomiarowych w ostatnich latach także większych ilości potasu. Nawodnienia wpłynęły także na nieznaczne podniesienie pH wody gruntowej. Wartości sodu mieszczą się w granicach wielkości dopuszczalnych dla I klasy czystości, wapnia i magnezu nie są normowane. Wzrost potasu kwalifikuje wody w 3 studzienkach do pozanormatywnych. Procesy amonifikacji i nityfikacji zachodzące w glebie z drzewostanem sosnowym, na skutek stosowania zabiegów nawodnieniowo-nawożeniowych ściekami ziemniaczanymi, charakteryzującymi się bardzo dużą zawartością substancji organicznej i NPK, powodują także zanieczyszczenie wód gruntowych azotanami. Ich zawartość powoduje, że wody są pozaklasowe (NON).

Nie zauważono wpływu działalności oczyszczalni ZPZ „Łława” w Smolnikach na chemizm wód rzeki Drwęcy i Łławki oraz cieku płynącego z Jeziora Zielonego do Drwęcy.

## Wnioski

1. Stan czystości wód gruntowych pogorszył się, o czym świadczy stały choć nieznaczny wzrost wartości BZT<sub>5</sub>. Na początku obserwacji w 1984 roku stężenie tlenu BZT<sub>5</sub> odpowiadało przeciętnie I klasie czystości wód powierzchniowych, a w 1995 – II i III klasie.

2. Przekroczone zostały zawartości azotu azotanowego (lata 1993–1995) i często potasu, co klasyfikuje wody gruntowe do pozanormatywnych.

3. Dotychczasowe wyniki nawodnień ściekami drzewostanów sosnowych nie wskazują na konieczność natychmiastowej przebudowy drzewostanu. Jednak powinny być podjęte działania w celu stopniowej przebudowy zgodnie z zasadami hodowli i urządzania lasu.

## Literatura

- BIĄŁKIEWICZ F. 1989: *Oczyszczanie i wykorzystanie ścieków ziemniaczanych w glebie piaszczystej pod uprawą roślin drzewiastych na podstawie doświadczeń lizymetrycznych, plantacji roślin drzewiastych oraz drzewostanów sosnowych*. IBL, Warszawa (dokumentacja IBL).
- BIĄŁKIEWICZ F., MIŚKIEWICZ N., HARMACIŃSKI W. 1991: *Koncepcja rozwiązania gospodarki ściekowej przemysłu ziemniaczanego na przykładzie glebowo-roślinnej oczyszczalni ścieków ZPZ Łława*. Prace IBL, nr 709.
- BIĄŁKIEWICZ F., HARMACIŃSKI W., KUKIELSKA C. 1991: *Możliwość oczyszczania i produkcyjnego wykorzystania ścieków ziemniaczanych ZPZ Łława w uprawach drzew*. Prace IBL, nr 706.
- CIEPIEŁOWSKI A. (red.) 1996: *Oczyszczanie i utylizacja ścieków ziemniaczanych w środowisku glebowym pod uprawą roślin drzewiastych*. Dokumentacja IBL.
- HARMACIŃSKI W. 1992: *Rozwiązanie gospodarki wodnościekowej w Zakładach Przemysłu Ziemniaczanego Łława*. Prace IBL, seria „B”, nr specjalny „Gospodarka wodna w lasach”, Warszawa.
- KUTERA J. 1978: *Wykorzystanie ścieków w rolnictwie*. PWRiL, Warszawa.

## Summary

**Changes of ground water quality as a result of sewage watering in forest and tree plantation.** The Forest Sewage Treatment Plant in Ilawa is the place where research is conducted on the effects of watering forest environment with the sewage from a starch production line.

One of the aspects of the research is the evaluation of ground water pollution with sewage. It has been found that water cleanliness has deteriorated, which is indicated by the increase of BOD<sub>5</sub> and the exceeding of

nitrate nitrogen (N-NO<sub>3</sub>) and, often, of potassium contents.

### **Autors' address:**

A. Ciepielowski  
Warsaw Agricultural University -- SGGW  
02-787 Warszawa,  
Poland  
T. Wawrzoniak  
Forest Research Institute  
02-362 Warszawa,  
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3  
Poland

**Bonifacy ŁYKOWSKI**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment

## **Ocena warunków biometeorologicznych w wybranych typach pogody w rejonie Ursynowa-SGGW**

### **An evaluation of biometeorological conditions in selected weather types in the Ursynów-SGGW vicinity**

#### **Wstęp**

W biometeorologii stosowane są różne wskaźniki służące do oceny klimatu odczuwalnego przez organizm ludzki (Kozłowska-Szczęśna 1985). Wskaźnikami tymi posługujemy się zarówno przy ocenie bioklimatu z punktu widzenia lokalizacji budownictwa mieszkaniowego, rekreacyjnego i sanatoryjnego, jak też przy badaniu warunków biometeorologicznych w halach produkcyjnych lub miejscach pracy umysłowej. Konieczność stosowania wskaźników biometeorologicznych wynika z tego, że zwykle wskaźniki meteorologiczne nie odzwierciedlają w stopniu wystarczającym odczuwania klimatu przez człowieka. Na przykład odczucie ciepła przez człowieka przy tej samej temperaturze może być różne w zależności od oddziaływania innych elementów meteorologicznych, zwłaszcza promieniowania słonecznego, wiatru i wilgotności powietrza. Są to

główne czynniki meteorologiczne decydujące o kształtowaniu się bilansu ciepła człowieka. Jeżeli warunki meteorologiczne środowiska utrudniają utratę ciepła przez organizm – odczuwamy „gorąco”; jeżeli utrata ciepła jest nadmierna, odczuwamy „zimno”, natomiast w sytuacji zrównoważonego bilansu ciepłego organizmu (zysk ciepła = strata) odczuwamy komfort termiczny.

W wymianie ciepła człowiek – otoczenie dużą rolę odgrywają czynniki fizjologiczne: metabolizm (przemiana materii), termoregulacja i temperatura skóry człowieka. Metaboliczna produkcja ciepła odbywa się zarówno w wyniku przemian chemicznych (odżywianie), jak też pracy mechanicznej (aktywność fizyczna człowieka).

Organizm ludzki ma pewne możliwości termoregulacji, dostosowując się do wymiany ciepła z otoczeniem; ta właściwość pozwala na zachowanie zrównoważonego bilansu ciepła przez organizm przy zmianie temperatury wewnę-

trzej w zakresie  $37 \pm 2^\circ\text{C}$ . Temperatura skóry natomiast kształtuje się pod wpływem oddziaływania procesów fizjologicznych, zachodzących w organizmie i warunków meteorologicznych; jest więc kompleksowym wskaźnikiem odczucia ciepłego organizmu. Oddzielną sprawą jest kształtowanie optymalnej temperatury ciała ludzkiego przez zastosowanie odzieży o odpowiedniej termoizolacyjności.

## Metoda i materiał pomiarowy

Wskaźniki biometeorologiczne są to wzory empiryczne określające związek między wartościami poszczególnych elementów meteorologicznych i subiektywnym odczuwaniem ciepła u ludzi poddanych specjalnym eksperymentom w komorach klimatycznych. Wskaźniki te są często bardzo proste, oparte tylko na jednym elemencie meteorologicznym (temperatura, wilgotność powietrza), lub bardziej złożone i do ich obliczenia potrzebne są dane meteorologiczne w szerokim zakresie, niedostępne z pomiarów wykonywanych na standardowej stacji meteorologicznej (np. równanie bilansu ciepłego ciała człowieka).

Z powyższych uwag wynika, że zastosowanie do obliczeń danego wskaźnika biometeorologicznego jest uwarunkowane celem badań i możliwościami uzyskania danych meteorologicznych. Najprostsze

wskaźniki można stosować przy ocenie bioklimatu (obliczenia dotyczą dłuższych okresów), natomiast bardziej złożone wskaźniki muszą być użyte do oceny warunków biometeorologicznych, występujących w poszczególnych dniach i porze dnia.

Oddzielnym ważnym i bardzo trudnym zagadnieniem jest dobór skali oceny klimatu odczuwalnego. Ze względu na to, że odczucie termiczne u człowieka jest wynikiem zarówno oddziaływania klimatu, jak też subiektywnej wrażliwości na bodźce termiczne, związanej ze stopniem przystosowania organizmu do danego klimatu oraz warunków pracy i życia, liczbowe wskaźniki biometeorologiczne są między sobą nieporównywalne, a skale klimatu odczuwalnego są reprezentatywne tylko dla określonych warunków klimatycznych.

W niniejszej pracy posłużono się następującymi wskaźnikami biometeorologicznymi: temperatura ekwiwalentna powietrza obliczana wzorem Robitscha  $T_e$ :

$$T_e = T + \frac{1570}{p} \cdot e \quad [^\circ\text{C}]$$

Temperatura efektywna  $TE$  oraz normalna temperatura efektywna  $NTE$  obliczona wzorem Misseranda:

$$TE = T - 0,4(T - 10) \left(1 - \frac{f}{100}\right); \\ \leq 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} [^\circ\text{C}]$$

$$NTE = 37 - \frac{37 - T}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4 v^{0,75}}} - 0,29T \left(1 - \frac{f}{100}\right) [^\circ\text{C}]$$

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

Ochładzanie biometeorologiczne suche (zdolność ochładzająca powietrza)  $H_s$  obliczone wzorami Hilla [ $\text{mcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ]:

$$H_s = (0,020 + 0,40\sqrt{v}) (36,5 - tp) \quad \text{dla } v \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$H_s = (0,13 + 0,47\sqrt{v}) (36,5 - tp) \quad \text{dla } v > 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

gdzie:

$T$  – temperatura powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$e$  – ciśnienie aktualne pary wodnej zawartej w powietrzu [ $\text{mm Hg}$ ],

$p$  – ciśnienie atmosferyczne [ $\text{mm Hg}$ ],

$f$  – wilgotność względna [%],

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

Przedstawione wyżej wskaźniki wybrano ze względu na stosunkowo duże możliwości uzyskania potrzebnych danych meteorologicznych, a także z tego względu, że dla Polski jest opracowana skala klimatu odczuwalnego, dostosowana do tych wskaźników [Baranowska 1986]. Skala ta została opracowana na podstawie odczucia termicznego ludzi zdrowych, wykonujących lekką pracę fizyczną (pomiarów meteorologicznych) ubranych odpowiednio do pory roku.

W opracowaniu użyty został także wskaźnik zwany niedosytem fizjologicznym  $D$ , przydatny ze względu na swoją prostotę i stosunkowo obiektywne wyrażanie stopnia parności powietrza odczuwanego przez człowieka:

$$D = E_{37} - e \quad [\text{mmHg}]$$

gdzie  $E_{37} = 47,0 \text{ mm Hg}$  – ciśnienie maksymalne pary wodnej w powietrzu, w

temperaturze wewnętrznej ciała człowieka.

Dane meteorologiczne użyte do obliczeń wskaźników biometeorologicznych pochodzą ze stacji meteorologicznej SGGW Warszawa-Ursynów. Wybrane zostały 4 dni o różnych warunkach biometeorologicznych w celu określenia stopnia obciążenia organizmu ludzkiego w okresie niekorzystnego oddziaływania głównych bodźców klimatycznych (dzień gorący i mroźny) oraz w warunkach biometeorologicznych umiarkowanych (dzień o przeciętnej temperaturze w okresie lata).

## Wyniki opracowań

**Warunki meteorologiczne.** 26 sierpnia 1997 r. (tab. 1a) temperatura powietrza zmieniała się w czasie doby od  $15,0^{\circ}\text{C}$  o godz. 5 do  $27,0^{\circ}\text{C}$  w godzinach  $14^{00}$ – $16^{00}$ . Mimo występowania wysokiej temperatury, wilgotność względna w tym dniu była dość duża, bardzo zbliżona do wilgotności 27 sierpnia, w którym temperatura powietrza była znacznie niższa, zwłaszcza w godzinach południowych. Taki przebieg wilgotności względnej powietrza w omawianym dniu zaistniał ze względu na dość dużą zawartość pary wodnej w powietrzu jaka miała miejsce w godzinach  $9^{00}$ – $17^{00}$  (ciśnienie pary wodnej dochodziło nawet do  $21 \text{ mmHg}$ ). W godzinach  $12^{00}$ – $16^{00}$  występowała dość duża prędkość wiatru (średnia prędkość w ciągu 10 minut dochodziła do  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Ciśnienie atmosferyczne w omawianym dniu było bardzo zbliżone do średniego ciśnienia w tej porze roku i

spadało od 754,0 mmHg o godzinie 1<sup>00</sup> do 752,0 o godzinie 24<sup>00</sup> (średnie ciśnienie atmosferyczne zredukowane do poziomu morza wynosi 760 mmHg = 1013,1 hPa).

27 sierpnia 1997 r. (tab. 1b) temperatura powietrza w przebiegu dobowym zmieniała się niezbyt dużo i wynosiła o godzinie 5<sup>00</sup> 15,0°C, a o godzinie 16<sup>00</sup> 20,8°C (średnia miesięczna wieloletnia wynosi 18,0°C). Wilgotność względna powietrza była zbliżona do wilgotności 26 sierpnia, gdyż zmniejszyła się dość wyraźnie zawartość pary wodnej w powietrzu. Nieco niższa była prędkość wiatru a ciśnienie atmosferyczne w dalszym ciągu spadało (z 752,0 mmHg o godz. 1<sup>00</sup> do 750,5 mmHg o godz. 24<sup>00</sup>).

30 sierpnia 1997 r. (tab. 1c) warunki termiczne były bardzo zbliżone do występujących w dniu 27 sierpnia. Dość wyraźnie zmniejszyła się natomiast zawartość pary wodnej w związku z tym spadła także wilgotność względna powietrza. Wyraźnie zmniejszyła się też prędkość wiatru, a ciśnienie atmosferyczne w godzinach popołudniowych zaczęło wzrastać (od 745,0 do 749,4 mmHg).

27 grudnia 1996 r. (tab. 1d) został wybrany jako typowy dzień mroźny o podwyższonym ciśnieniu atmosferycznym, małej prędkości wiatru, małej zawartości pary wodnej w powietrzu i dość dużej wilgotności względnej powietrza związanej z niską temperaturą powietrza.

Wybranie do obliczeń 3 dni, wyraźnie różniących się pod względem warunków meteorologicznych, i 2 dni o podobnej pogodzie, pozwala na ocenę czułości za-

stosowanych wskaźników biometeorologicznych.

**Odczucie termiczne i suchości powietrza atmosferycznego przez człowieka.** W tabeli 1 a, b, c, d zamieszczono wartości wybranych wskaźników biometeorologicznych i ocenę odczucia ciepła i suchości przez człowieka na wolnym powietrzu, ubranego stosownie do pory roku, wykonującego lekką pracę fizyczną (marsz 3–4 km · h<sup>-1</sup>, w terenie płaskim, pomiary na stacji doświadczalnej, itp.).

27 sierpnia gdy występowała wysoka temperatura powietrza, wskaźniki odczucia termicznego „gorąco” występują już o godz. 9<sup>00</sup> i trwają do godz. 18<sup>00</sup>. Zaznaczają się pewne różnice w klasyfikacji, w zależności od rodzaju wskaźnika biometeorologicznego. Podczas dnia większą czułość wykazują wskaźniki temperatury efektywnej  $TE - NTE$  i ochładzania biometeorologicznego suchego  $H_s$ , które obliczane są wzorami bardziej rozbudowanymi, obejmującymi większą ilość parametrów, a przede wszystkim prędkość wiatru.

W godzinach nocnych, przy bardzo małej prędkości wiatru (0,3–0,5 m · s<sup>-1</sup>) największą zgodność oceny uzyskuje się między wskaźnikami  $T_e - NTE$  i  $D$  (odczucie komfortu). Na podstawie wartości  $H_s$  w godzinach nocnych można przypuszczać, że wskaźnik  $H_s$ , wykazujący ocenę o jeden stopień wyższą – „ciepło”, jest zbyt mało wrażliwy na prędkość wiatru. Należy też zwrócić uwagę, że wskaźnik  $D$ , ze względu na swoją prostotę, jest wprawdzie łatwy do zastosowania, to jednak jego czułość oceny odczucia

TABELA 1. Wartości elementów meteorologicznych, wskaźników biometeorologicznych oraz ocena klimatu odczuwalnego. Warszawa-Ursynów 1997 r.

TABLE 1. Values of meteorological elements, biometeorological indices, and an assessment of sensed climate. Warsaw-Ursynów 1997

TABELA 1a

| Data/godz.<br>Date/hour | <i>t</i> | <i>f</i> | <i>e</i> | <i>v</i> | <i>p</i> | <i>Te</i> | <i>TE</i><br>( <i>v</i> < 0,2) | <i>NTE</i><br>( <i>v</i> > 0,2) | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> < 1) | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> > 1) | <i>D</i> |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| 26.08.97                | 1        | 16,6     | 59,6     | 11,4     | 0,4      | 754,0     | 40,3 k                         | 14,7 k                          | 9,0 c                        | —                            | 35,6 k   |
|                         | 2        | 16,0     | 60,2     | 10,8     | 0,5      | 753,7     | 38,5 k                         | 13,8 k                          | 9,9 c                        | —                            | 36,2 k   |
|                         | 3        | 15,7     | 61,2     | 10,9     | 0,4      | 753,7     | 38,4 k                         | 13,9 k                          | 9,4 c                        | —                            | 36,1 k   |
|                         | 4        | 15,3     | 61,4     | 10,5     | 0,3      | 753,5     | 37,2 k                         | 14,1 k                          | 8,9 c                        | —                            | 36,5 k   |
|                         | 5        | 15,0     | 62,8     | 10,8     | 0,4      | 753,5     | 37,5 k                         | 13,3 k                          | 9,7 c                        | —                            | 36,2 k   |
|                         | 6        | 16,6     | 68,4     | 12,8     | 1,1      | 753,5     | 43,3 c                         | 12,6 k                          | —                            | 12,4 k                       | 34,2 k   |
|                         | 7        | 17,7     | 69,7     | 14,2     | 1,0      | 753,5     | 47,3 c                         | 14,0 k                          | 11,3 c                       | —                            | 32,8 p   |
|                         | 8        | 18,3     | 70,7     | 15,0     | 1,2      | 753,7     | 49,5 c                         | 14,2 k                          | —                            | 11,7 k                       | 32,0 p   |
|                         | 9        | 20,5     | 68,3     | 16,4     | 1,3      | 753,7     | 54,7 g                         | 16,2 c                          | —                            | 10,7 c                       | 30,6 p   |
|                         | 10       | 22,3     | 65,9     | 17,8     | 0,7      | 753,4     | 59,4 g                         | 19,2 c                          | 7,6 c                        | —                            | 29,2 p   |
|                         | 11       | 24,8     | 62,9     | 19,8     | 1,4      | 753,1     | 66,1 g                         | 20,4 g                          | —                            | 8,0 c                        | 27,2 p   |
|                         | 12       | 26,4     | 61,7     | 21,3     | 2,6      | 753,1     | 70,8 g                         | 21,0 g                          | —                            | 9,0 c                        | 25,7 p   |
|                         | 13       | 26,6     | 57,1     | 19,7     | 1,6      | 752,0     | 67,7 g                         | 20,9 g                          | —                            | 8,8 c                        | 27,3 p   |
|                         | 14       | 27,0     | 53,8     | 19,4     | 1,8      | 752,7     | 67,5 g                         | 21,7 g                          | —                            | 7,2 g                        | 27,6 p   |
|                         | 15       | 27,0     | 51,4     | 18,3     | 2,2      | 752,5     | 65,2 g                         | 21,3 g                          | —                            | 7,9 g                        | 28,7 p   |
|                         | 16       | 27,0     | 57,8     | 20,6     | 2,7      | 752,5     | 70,0 g                         | 21,4 g                          | —                            | 8,6 c                        | 26,4 p   |
|                         | 17       | 25,9     | 54,6     | 18,2     | 1,7      | 752,5     | 63,9 g                         | 20,7 g                          | —                            | 7,9 g                        | 28,8 p   |
|                         | 18       | 24,2     | 53,6     | 16,3     | 0,7      | 752,5     | 58,2 g                         | 20,4 g                          | 6,6 c                        | —                            | 30,7 p   |
|                         | 19       | 22,3     | 56,3     | 15,2     | 0,4      | 752,5     | 54,0 g                         | 19,6 c                          | 6,4 c                        | —                            | 31,8 p   |
|                         | 20       | 20,8     | 56,8     | 14,0     | 0,4      | 752,5     | 50,0 c                         | 18,3 c                          | 7,1 c                        | —                            | 33,0 p   |
|                         | 21       | 20,9     | 62,8     | 15,5     | 0,4      | 752,5     | 53,2 g                         | 18,6 c                          | 7,1 c                        | —                            | 31,5 p   |
|                         | 22       | 19,9     | 64,9     | 15,1     | 0,4      | 752,2     | 51,4 c                         | 17,8 c                          | 7,5 c                        | —                            | 31,9 p   |
|                         | 23       | 19,4     | 65,5     | 14,7     | 0,4      | 752,0     | 50,1 c                         | 17,4 c                          | 7,7 c                        | —                            | 32,3 p   |
|                         | 24       | 18,4     | 65,8     | 14,0     | 0,4      | 752,0     | 47,6 c                         | 16,5 c                          | 8,2 c                        | —                            | 33,0 p   |

TABELA 1b

| Data/godz.<br>Date/hour | <i>t</i> | <i>f</i> | <i>e</i> | <i>v</i> | <i>p</i> | <i>Te</i> | <i>TE</i><br>( <i>v</i> < 0,2) | <i>NTE</i><br>( <i>v</i> > 0,2) | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> < 1) | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> > 1) | <i>D</i> |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| 27.08.97                | 1        | 18,0     | 65,8     | 13,7     | 0,4      | 752,0     | 46,6 c                         | 16,1 c                          | 8,4 c                        |                              | 33,3 p   |
|                         | 2        | 17,1     | 67,4     | 13,0     | 0,4      | 751,9     | 44,2 c                         | 15,3 k                          | 8,8 c                        |                              | 34,0 p   |
|                         | 3        | 16,1     | 68,8     | 12,7     | 0,4      | 751,9     | 42,6 k                         | 14,4 k                          | 9,2 c                        |                              | 34,3 k   |
|                         | 4        | 15,5     | 69,0     | 12,1     | 0,7      | 751,8     | 40,8 k                         | 12,7 k                          | 11,2 c                       |                              | 34,9 k   |
|                         | 5        | 15,0     | 71,4     | 12,2     | 0,8      | 751,6     | 40,5 k                         | 11,8 ch                         | 12,0 c                       |                              | 34,8 k   |
|                         | 6        | 16,3     | 73,5     | 13,6     | 1,4      | 751,5     | 44,7 c                         | 11,6 ch                         | –                            | 13,9 k                       | 33,4 p   |
|                         | 7        | 18,1     | 73,0     | 15,2     | 2,3      | 751,7     | 49,8 c                         | 12,1 ch                         | –                            | 15,5 k                       | 31,8 p   |
|                         | 8        | 18,7     | 71,4     | 15,2     | 2,2      | 751,8     | 50,4 c                         | 12,9 k                          | –                            | 14,7 k                       | 31,8 p   |
|                         | 9        | 18,5     | 66,7     | 14,3     | 1,6      | 752,0     | 48,4 c                         | 13,5 k                          | –                            | 13,0 k                       | 32,7 p   |
|                         | 10       | 18,5     | 60,4     | 12,8     | 1,3      | 752,0     | 45,2 c                         | 13,9 k                          | –                            | 12,0 k                       | 34,2 k   |
|                         | 11       | 19,0     | 59,1     | 12,9     | 2,3      | 752,0     | 45,9 c                         | 13,0 k                          | –                            | 14,7 k                       | 34,1 k   |
|                         | 12       | 20,6     | 57,4     | 13,7     | 2,0      | 752,0     | 49,2 c                         | 15,0 k                          | –                            | 12,6 k                       | 33,3 p   |
|                         | 13       | 20,0     | 56,7     | 13,3     | 2,0      | 752,0     | 47,8 c                         | 14,3 k                          | –                            | 13,1 k                       | 33,7 p   |
|                         | 14       | 19,6     | 54,3     | 12,3     | 2,2      | 751,5     | 45,3 c                         | 13,6 k                          | –                            | 14,0 k                       | 34,7 k   |
|                         | 15       | 20,7     | 50,5     | 12,3     | 2,1      | 751,2     | 46,4 c                         | 14,8 k                          | –                            | 12,8 k                       | 34,7 k   |
|                         | 16       | 20,8     | 50,4     | 12,2     | 2,2      | 751,0     | 46,3 c                         | 14,8 k                          | –                            | 13,0 k                       | 34,8 k   |
|                         | 17       | 19,8     | 50,3     | 11,6     | 2,2      | 751,0     | 44,1 c                         | 13,7 k                          | –                            | 13,8 k                       | 35,4 k   |
|                         | 18       | 18,7     | 54,9     | 11,9     | 0,7      | 751,0     | 43,6 c                         | 15,4 k                          | 9,5 c                        | –                            | 35,1 k   |
|                         | 19       | 18,2     | 66,5     | 13,8     | 0,7      | 751,0     | 47,0 c                         | 15,2 k                          | 9,8 c                        | –                            | 33,2 p   |
|                         | 20       | 17,7     | 68,4     | 13,8     | 0,4      | 751,0     | 46,5 c                         | 15,9 k                          | 8,5 c                        | –                            | 33,2 p   |
|                         | 21       | 17,4     | 67,4     | 13,3     | 0,8      | 751,0     | 45,2 c                         | 14,2 k                          | 10,7 c                       | –                            | 33,7 p   |
|                         | 22       | 17,1     | 68,2     | 13,3     | 0,5      | 751,0     | 44,9 c                         | 14,9 k                          | 9,4 c                        | –                            | 33,7 p   |
|                         | 23       | 16,9     | 68,4     | 13,1     | 0,6      | 750,8     | 44,3 c                         | 14,4 k                          | 10,0 c                       | –                            | 33,9 p   |
|                         | 24       | 16,5     | 69,4     | 12,9     | 0,6      | 750,5     | 43,5 c                         | 14,0 k                          | 10,2 c                       | –                            | 34,1 p   |



TABELA 1c

| Data/godz.<br>Date/hour | <i>t</i> | <i>f</i> | <i>e</i> | <i>v</i> | <i>p</i> | <i>Te</i> | <i>TE</i><br>( <i>v</i> < 0,2) | <i>NTE</i><br>( <i>v</i> > 0,2) | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> < 1) | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> > 1) | <i>D</i> |   |      |   |      |   |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|---|------|---|------|---|
| 30.08.97                | 1        | 15,4     | 56,6     | 9,9      | 0,4      | 745,8     | 36,2                           | ch                              | 13,6                         | k                            | 9,6      | c | 37,1 | k |      |   |
|                         | 2        | 15,2     | 59,7     | 10,3     | 0,4      | 745,8     | 36,9                           | ch                              | 13,5                         | k                            | 9,6      | c | 36,7 | k |      |   |
|                         | 3        | 15,3     | 59,7     | 10,2     | 0,5      | 745,8     | 36,8                           | ch                              | 13,1                         | k                            | 10,2     | c | 36,8 | k |      |   |
|                         | 4        | 15,4     | 61,3     | 10,6     | 0,9      | 745,3     | 37,7                           | ch                              | 11,8                         | ch                           | 12,2     | c | 36,4 | k |      |   |
|                         | 5        | 14,9     | 60,4     | 10,2     | 0,6      | 745,0     | 36,4                           | ch                              | 12,4                         | k                            | 11,0     | c | 36,8 | k |      |   |
|                         | 6        | 15,4     | 59,4     | 10,3     | 1,2      | 745,0     | 37,1                           | ch                              | 11,0                         | ch                           | —        |   | 13,6 | k | 36,7 | k |
|                         | 7        | 16,0     | 59,5     | 10,7     | 1,2      | 745,0     | 38,5                           | k                               | 11,6                         | ch                           | —        |   | 13,2 | k | 36,3 | k |
|                         | 8        | 17,4     | 58,9     | 11,6     | 1,2      | 745,2     | 41,8                           | k                               | 13,0                         | k                            | —        |   | 12,3 | k | 35,4 | k |
|                         | 9        | 19,5     | 54,3     | 12,2     | 1,6      | 745,5     | 45,2                           | c                               | 14,3                         | k                            | —        |   | 12,3 | k | 34,8 | k |
|                         | 10       | 21,0     | 52,3     | 12,8     | 1,4      | 745,8     | 47,9                           | c                               | 16,1                         | c                            | —        |   | 10,6 | c | 34,2 | k |
|                         | 11       | 20,8     | 50,6     | 12,4     | 1,4      | 746,0     | 46,9                           | c                               | 15,8                         | k                            | —        |   | 10,8 | c | 34,6 | k |
|                         | 12       | 21,1     | 46,5     | 11,4     | 2,1      | 746,0     | 45,1                           | c                               | 15,1                         | k                            | —        |   | 12,5 | c | 35,6 | k |
|                         | 13       | 21,3     | 44,8     | 11,3     | 1,6      | 746,0     | 45,1                           | c                               | 15,8                         | k                            | —        |   | 11,0 | c | 35,7 | k |
|                         | 14       | 20,6     | 47,7     | 11,6     | 1,3      | 746,2     | 45,0                           | c                               | 15,7                         | k                            | —        |   | 10,6 | c | 35,4 | k |
|                         | 15       | 19,7     | 45,9     | 10,5     | 1,5      | 746,5     | 41,8                           | k                               | 14,5                         | k                            | —        |   | 11,9 | c | 36,5 | k |
|                         | 16       | 19,4     | 49,7     | 11,3     | 0,3      | 747,0     | 43,1                           | k                               | 17,2                         | c                            | 7,2      | c | —    |   | 35,7 | k |
|                         | 17       | 19,4     | 51,0     | 11,5     | 0,4      | 747,5     | 43,6                           | c                               | 16,9                         | c                            | 7,7      | c | —    |   | 35,5 | k |
|                         | 18       | 19,4     | 53,3     | 11,9     | 0,5      | 748,0     | 44,4                           | c                               | 16,6                         | c                            | 8,3      | c | —    |   | 35,1 | k |
|                         | 19       | 19,6     | 67,2     | 15,3     | 0,8      | 748,0     | 51,7                           | g                               | 16,3                         | c                            | 9,4      | c | —    |   | 31,7 | p |
|                         | 20       | 19,4     | 64,7     | 14,7     | 1,0      | 748,0     | 50,3                           | c                               | 15,6                         | k                            | 10,3     | c | —    |   | 32,3 | p |
|                         | 21       | 18,5     | 71,1     | 15,0     | 0,4      | 748,5     | 50,0                           | c                               | 16,7                         | c                            | 8,2      | c | —    |   | 32,0 | p |
|                         | 22       | 18,1     | 69,0     | 14,4     | 0,4      | 749,0     | 48,3                           | c                               | 16,3                         | c                            | 8,3      | c | —    |   | 32,6 | p |
|                         | 23       | 17,6     | 68,8     | 13,9     | 0,4      | 749,0     | 46,7                           | c                               | 15,8                         | k                            | 8,6      | c | —    |   | 33,1 | p |
|                         | 24       | 17,2     | 72,1     | 14,2     | 0,4      | 749,4     | 46,9                           | c                               | 15,5                         | k                            | 8,7      | c | —    |   | 32,8 | p |

TABELA 1d

| Data/godz.<br>Date/hour | <i>t</i> | <i>f</i> | <i>e</i> | <i>v</i> | <i>p</i> | <i>Te</i> | <i>TE</i><br>( <i>v</i> < 0,2) |   | <i>NTE</i><br>( <i>v</i> > 0,2) |       | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> < 1) |      | <i>Hs</i><br>( <i>v</i> > 1) |      | <i>D</i> |      |   |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------------------------------|---|---------------------------------|-------|------------------------------|------|------------------------------|------|----------|------|---|
| 27.12.97                | 1        | -20,2    | 84,7     | 1,0      | 0,9      | 757,5     | -18,1                          | z | -                               | -26,5 | z                            | 32,9 | z                            | -    | 46,0     | s    |   |
|                         | 2        | -20,4    | 84,4     | 1,0      | 0,5      | 757,5     | -18,3                          | z | -                               | -22,7 | z                            | 27,5 | ch                           | -    | 46,0     | s    |   |
|                         | 3        | -19,6    | 81,7     | 1,1      | 0,5      | 757,5     | -17,3                          | z | -                               | -21,5 | z                            | 27,1 | ch                           | -    | 45,9     | s    |   |
|                         | 4        | -19,7    | 80,5     | 1,1      | 0,6      | 757,5     | -17,4                          | z | -                               | -22,5 | z                            | 28,7 | ch                           | -    | 45,9     | s    |   |
|                         | 5        | -19,5    | 79,7     | 1,1      | 0,5      | 757,5     | -17,2                          | z | -                               | -21,1 | z                            | 27,0 | ch                           | -    | 45,9     | s    |   |
|                         | 6        | -19,6    | 80,3     | 1,1      | 0,1      | 757,5     | -17,3                          | z | -17,3                           | z     | -                            | 18,3 | k                            | -    | 45,9     | s    |   |
|                         | 7        | -20,0    | 80,6     | 1,0      | 0,2      | 757,5     | -17,9                          | z | -17,7                           | z     | -                            | 21,4 | k                            | -    | 46,0     | s    |   |
|                         | 8        | -21,5    | 79,2     | 0,9      | 0,0      | 757,5     | -19,6                          | z | -18,9                           | z     | -                            | 11,6 | k                            | -    | 46,1     | s    |   |
|                         | 9        | -20,9    | 82,7     | 0,9      | 0,8      | 757,5     | -19,0                          | z | -                               | -26,0 | z                            | 32,0 | z                            | -    | 46,1     | s    |   |
|                         | 10       | -18,7    | 81,6     | 1,2      | 0,7      | 757,5     | -16,2                          | z | -                               | -22,6 | z                            | 29,5 | ch                           | -    | 45,8     | s    |   |
|                         | 11       | -16,3    | 76,9     | 1,3      | 0,5      | 757,5     | -13,6                          | z | -                               | -17,5 | z                            | 25,5 | ch                           | -    | 45,7     | s    |   |
|                         | 12       | -13,9    | 70,6     | 1,5      | 0,9      | 757,5     | -10,8                          | z | -                               | -17,8 | z                            | 29,2 | ch                           | -    | 45,5     | s    |   |
|                         | 13       | -12,4    | 68,8     | 1,6      | 0,4      | 757,5     | -9,1                           | z | -                               | -11,8 | ch                           | 22,2 | ch                           | -    | 45,4     | s    |   |
|                         | 14       | -12,3    | 68,4     | 1,6      | 1,4      | 757,5     | -9,0                           | z | -                               | -18,9 | z                            | -    |                              | 33,5 | z        | 45,4 | s |
|                         | 15       | -13,1    | 70,9     | 1,6      | 0,8      | 757,5     | -9,8                           | z | -                               | -16,3 | z                            | 27,7 | ch                           | -    | 45,4     | s    |   |
|                         | 16       | -14,3    | 76,4     | 1,6      | 1,1      | 757,5     | -11,0                          | z | -                               | -20,4 | z                            | -    |                              | 31,6 | z        | 45,4 | s |
|                         | 17       | -15,0    | 80,8     | 1,6      | 1,4      | 757,5     | -11,7                          | z | -                               | -23,5 | z                            | -    |                              | 35,3 | z        | 45,4 | s |
|                         | 18       | -15,2    | 82,4     | 1,5      | 1,7      | 757,5     | -12,1                          | z | -                               | -25,5 | z                            | -    |                              | 38,4 | z        | 45,5 | s |
|                         | 19       | -15,9    | 83,9     | 1,4      | 1,5      | 757,5     | -13,0                          | z | -                               | -25,5 | z                            | -    |                              | 37,0 | z        | 45,6 | s |
|                         | 20       | -16,9    | 85,0     | 1,4      | 0,9      | 757,5     | -14,0                          | z | -                               | -22,9 | z                            | 30,9 | z                            |      | 45,6     | s    |   |
|                         | 21       | -16,5    | 83,7     | 1,3      | 1,4      | 757,5     | -13,8                          | z | -                               | -25,6 | z                            | -    |                              | 36,4 | z        | 45,7 | s |
|                         | 22       | -17,6    | 84,2     | 1,3      | 1,1      | 757,5     | -14,9                          | z | -                               | -25,1 | z                            | -    |                              | 33,7 | z        | 45,7 | s |
|                         | 23       | -18,4    | 86,9     | 1,2      | 1,2      | 757,5     | -15,9                          | z | -                               | -27,1 | z                            | -    |                              | 35,4 | z        | 45,8 | s |
|                         | 24       | -18,6    | 86,2     | 1,2      | 0,9      | 757,5     | -16,1                          | z | -                               | -25,0 | z                            | 31,9 | z                            | -    | 45,8     | s    |   |

*t* – temperatura [°C], *f* – wilgotność względna [%], *e* – ciśnienie pary wodnej [mmHg], *p* – ciśnienie atmosferyczne [mmHg], *D* – niedosyt fizjologiczny [mmHg], *v* – prędkość wiatru [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Odczucie termiczne: g – gorąco, c – ciepło, k – komfortowo, ch – chłodno, z – zimno, p – parno.

*t* – temperature [°C], *f* – relative humidity [%], *e* – water vapour pressure [mmHg], *p* – atmospheric pressure [mmHg], *D* – physiological saturation deficit [mmHg], *v* – wind speed [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Thermal feeling: g – hot, c – warm, k – comfortable, ch – cool, z – cold, p – sultrity.

suchości „parności” w godzinach nocnych jest za mała.

27 i 30 sierpnia o bardzo zbliżonych warunkach pogodowych, znajdują dalsze potwierdzenie uwagi dotyczące wyznaczania  $H_s$ . Przypuszczalnie nocą wskaźnik ten ma wartości zbyt wysokie, wskazując ocenę „ciepło”, gdy w tych samych godzinach pozostałe wskaźniki ( $T_e$ ,  $TE-NTE$ ,  $D$ ) wskazują na ocenę bardziej sensowną: „komfort” lub „chłodno”. Odczucie termiczne „chłodno” według wskaźnika  $T_e$  wynika z mniejszych wartości  $T$ , a zwłaszcza  $e$  (tab. 1c). Warto zwrócić uwagę, że w 27 sierpnia występowała podczas doby kilkakrotnie zmiana zawartości pary wodnej w powietrzu  $e$ , przy występowaniu wartości granicznych klas oceny „komfortowo” i „parno”.

27 grudnia 1996 r. pogoda była mroźna i stabilna podczas całej doby. W tych warunkach meteorologicznych wyraźnie zawodna okazuje się metoda wyznaczania  $H_s$ , wykazując w godzinach 6<sup>00</sup>–8<sup>00</sup>, przy temperaturze powietrza  $-21^{\circ}\text{C}$ , odczucie ciepłe „komfort” tylko dlatego, że w tym czasie panowała cisza lub prędkość wiatru wynosiła 0,1 i 0,2 m · s<sup>-1</sup>.

W tych ekstremalnych warunkach pogodowych dobre wyniki i dobrą czułość oceny wykazuje metoda wyznaczania  $TE-NTE$ . O godzinie 13<sup>00</sup>, gdy temperatura powietrza, chociaż niska, była najwyższa w czasie doby, przy bardzo zbliżonych wartościach  $f$  i  $e$ , w okresie kilku godzin południowych wyraźny spadek prędkości wiatru niewątpliwie wpływa na korzystniejsze odczucie ciepłe człowieka, co znalazło potwierdzenie w wartości wskaźnika  $NTE$  ( $-11,8$ ) oznaczającego odczucie termiczne

„chłodno” a nie „zimno”, jak to ma miejsce w pozostałej części doby.

## Podsumowanie i wnioski

1. W typowy letni dzień z wysoką temperaturą powietrza, odczucie termiczne „gorąco” u człowieka wykonującego lekką pracę fizyczną występuje w godzinach od 9<sup>00</sup> do 18<sup>00</sup> CSE. W godzinach od 19<sup>00</sup> do 24<sup>00</sup> występuje odczucie „ciepła”, a od godziny 1<sup>00</sup> do 8<sup>00</sup>, w zależności od przyjętej metody obliczania, odczucie „komfortowo” lub „ciepło”.

2. W dniach z temperaturą powietrza zbliżoną do średniej miesięcznej, odczucie termiczne człowieka oceniane wskaźnikami  $T_e$ ,  $TE-NTE$  i  $H_s$  mieści się w klasie „ciepło” i „komfortowo”, a w niektórych godzinach nocnych i nad ranem – „chłodno”.

3. W okresach, gdy ciśnienie aktualne pary wodnej zbliża się lub przekracza wartość 14 mmHg (18,7 hPa), wskaźnik  $D$  osiąga wartość w klasie odczucia „parno”.

4. W dzień mroźny tylko o godzinie 13<sup>00</sup> występuje wskaźnik odczucia termicznego  $NTE$  „chłodno”, w pozostałej części doby – „zimno”.

5. Najczulszą metodą oceny odczucia termicznego przez człowieka spośród stosowanych w opracowaniu jest metoda wyznaczania  $TE - NTE$ . Pozostałe wskaźniki są zbyt uproszczone i mogą być używane do oceny klimatu odczuwalnego w dłuższych okresach (dekady, miesiąca).

## Literatura

- BARANOWSKA M., BONIECKA-ŻÓŁCIK H., GURBA A. 1986: *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*. Przegl. Geofiz., R. XXXI, z. 1, Warszawa.
- KOZŁOWSKA-SZCZĘSNAT. 1985: *Metody badań bioklimatu człowieka*. Probl. Uzdr. z. 1/2, Warszawa.

## Summary

**An evaluation of biometeorological conditions in selected weather types in the Ursynów - SGGW vicinity.** Biometeorological indices were used for assessing sensed climate in the Ursynów area, as follows: equivalent temperature, effective temperature, cooling power and sultriness.

In the region of Warsaw, in summer day with high temperature of the air the thermal feeling noted as „hot” occurs between 9 a.m. and 6 p.m., while „warm” and „comfortable” in the timespan between 7 p.m. and 8 a.m.

In the days with temperature close to the month average there the following thermal feelings occur: „warm” or „comfortable” during day, while in the night, in mornings and evenings – „cool”.

In frost days only at 1 p.m. the index of the „cool” thermal feeling occurred, while in the remaining part of the day – night cycle the „cold” thermal feeling was sensed.

### Author's address:

B. Łykowski  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warsaw, ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Tomasz ROZBICKI**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego

Department of Recultivation and Protection of Natural Environment

## **Ilościowa ocena wymiany węgla między wybranymi ekosystemami a atmosferą**

### **Quantitative assessment of carbon exchange between some ecosystems and the atmosphere**

#### **Wstęp**

Określenie wymiany masy i energii między atmosferą a podłożem (rozumianym w tym przypadku jako ekosystem roślin wraz z glebą) jest niezbędne we współczesnych badaniach dotyczących środowiska. Przepływ dwutlenku węgla (jego ilość i kierunek) między określonymi ekosystemami a atmosferą informuje nas, które z nich i w jakim czasie (w których fazach swojego rozwoju) są źródłem emisji węgla (głównie pod postacią  $\text{CO}_2$ ), a które wiążą węgiel rugując ten pierwiastek z atmosfery. Jest to podstawowy problem w rozważaniach na temat bilansu dwutlenku węgla, zwłaszcza teraz, w kontekście wzrostu stężenia tego gazu w atmosferze ziemskiej i związanego z tym globalnego ocieplenia klimatu.

#### **Bilans węgla ekosystemu**

Schemat wymiany dwutlenku węgla między podłożem roślinnym a atmosferą przedstawia rysunek 1. Równanie bilansu  $\text{CO}_2$  dla każdego ekosystemu można zapisać w następującej postaci (Ruimy i in. 1995):

- dla warunków dziennych:

$$F_d = A_n - (R_w + R_r + R_h) + \Delta S_c \quad (1)$$

- dla warunków nocnych:

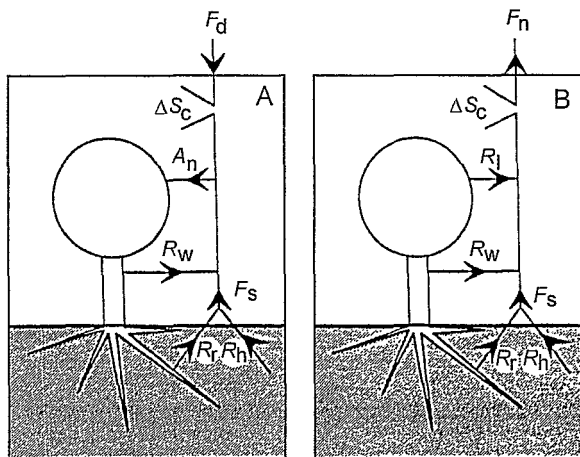
$$F_n = -(R_l + R_w + R_r + R_h) + \Delta S_c \quad (2)$$

gdzie:

$F_d$  – przepływ  $\text{CO}_2$  netto podczas dnia,

$F_n$  – przepływ  $\text{CO}_2$  netto podczas nocy,

$A_n$  – wskaźnik fotosyntezy netto,



Rys. 1. Struktura bilansu dwutlenku węgla podczas dnia A i podczas nocy B (Riumy i in. 1995)  
Fig. 1. O<sub>2</sub> budget of a cloud A during the day, and B during the night

$R_w$  – przepływ CO<sub>2</sub> w wyniku procesu oddychania tkanek drewna,

$R_r$  – przepływ CO<sub>2</sub> w wyniku procesu oddychania korzeni,

$R_h$  – przepływ CO<sub>2</sub> w wyniku procesów heterotroficznych,

$R_l$  – przepływ CO<sub>2</sub> w wyniku procesu oddychania organów asymilujących (liści),

$\Delta S_c$  – zmiana CO<sub>2</sub> magazynowanego w biomase ekosystemu.

Składowe wymiany, które wskazują na uwalnianie masy do atmosfery, oznaczane są znakiem dodatnim, a te, które wskazują na wiązanie masy przez ekosystem – znakiem ujemnym. Z punktu widzenia bilansu węgla jako całości, wymiana netto określona w pewnym interwale czasu daje wielkość zwaną w literaturze produkcją netto ekosystemu NEP (Net Ecosystem Production) i pozwala oszacować, które ekosystemy są źródłem, a które „magazynem” CO<sub>2</sub>. Zdolność ekosystemu do asymilacji dwutlenku węgla w zależności od przebiegu pogody i innych czynników środowiskowych na-

zywana jest wskaźnikiem fotosyntezy netto  $A_n$  i może być określana z przekształconego równania bilansu (1):

$$A_n = F_d + R_w + R_r + R_h + \Delta S_c \quad (3)$$

a określona w pewnym przedziale czasu nazywana jest produkcją podstawową brutto GPP (Gross Primary Production). Wskaźnik fotosyntezy brutto  $A$  jest definiowany jako suma wskaźnika netto  $A_n$  i oddychania organów asymilujących (liści)  $R_l$ :

$$A = A_n + R_l = F_d - F_n - \Delta S_c \quad (4)$$

Wyszczególnienie składników wymiany przepływu dwutlenku węgla oraz składników bilansu CO<sub>2</sub> przedstawia tabela 1.

Wymiana gazowa netto ekosystemu NEE (Net Ecosystem Exchange) jest określona jako przepływ CO<sub>2</sub> z ekosystemu. Obliczana jest z równania:

- dla warunków dziennych:

$$F_d - \Delta S_c = A_n - (R_w + R_r + R_h) \quad (5)$$

TABELA 1. Składniki wymiany dwutlenku węgla między ekosystemem a atmosferą i składniki bilansu dwutlenku węgla dla ekosystemu

TABLE 1. Equivalence between CO<sub>2</sub> flux measurements and terms of the carbon budget of an ecosystem

| Proces fizjologiczny<br>Process                                                                                                       | Pomiar przepływu<br>Flux measurement | Składnik bilansu<br>Carbon budget |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Fotosynteza brutto powierzchni<br>Canopy gross photosynthesis                                                                         | $F_d - F_n$                          | $A$                               |
| Oddychanie liści<br>Leaf respiration                                                                                                  | —                                    | $R_l$                             |
| Fotosynteza netto powierzchni<br>Canopy net photosynthesis                                                                            | —                                    | $A_n = A - R_l$                   |
| Oddychanie nadziemnych drewnianych części roślin<br>Respiration of above – ground woody plant parts                                   | —                                    | $R_w$                             |
| Oddychanie podziemnych części roślin<br>Root respiration                                                                              | —                                    | $R_r$                             |
| Oddychanie autotroficzne<br>Autotrophic respiration                                                                                   |                                      | $R_a = R_l + R_w + R_r$           |
| Oddychanie heterotroficzne<br>Heterotrophic respiration                                                                               | —                                    | $R_h$                             |
| Całkowite oddychanie systemu<br>Total respiration of the system                                                                       | $F_n$                                | $R_a + R_h$                       |
| Przepływ glebowy (oddychanie podziemnych części roślin i mikroorganizmów glebowych)<br>Soil flux (root and microorganism respiration) | $F_s$                                | $R_r + R_h$                       |
| Produkcja podstawowa netto NPP<br>Net primary production                                                                              |                                      | $NPP = A - R_a$                   |
| Przepływ ponad powierzchnią<br>Above – ground flux of canopy flux                                                                     | $F_c = F_d - F_s$                    | $A_n - R_w$                       |
| Produkcja ekosystemu netto NEP<br>Net ecosystem production                                                                            | $F_d$                                | $NEP = NPP - R_h$                 |

• dla warunków nocnych:

$$F_n - \Delta S_c = - (R_l + R_w + R_r + R_h) \quad (6)$$

Różnica między powyższymi równaniami (5) i (6) a równaniami bilansu odpowiednio (1) i (2) polega na tym, że po lewej stronie równania występuje zapas dwutlenku węgla w ekosystemie i wielkość wymiany CO<sub>2</sub> z atmosferą, a po prawej stronie równania występują tylko te składniki, które charakteryzują bezpośrednio aktywność biologiczną ekosystemu.

**Metody pomiarów wymiany CO<sub>2</sub> między podłożem a atmosferą**

Jedna z najwcześniej opracowanych metod pomiaru wymiany gazu między podłożem a atmosferą jest oparta na bilansie energetycznym powierzchni. Równanie tego bilansu można zapisać w postaci:

$$Q = G + A + LE \quad (7)$$

gdzie:

$Q$  – wymiana ciepła przez promieniowanie, czyli bilans promieniowania,

$G$  – wymiana ciepła między powierzchnią a głębszymi warstwami gleby,

$A$  – wymiana ciepła (odczuwalnego) między powierzchnią a atmosferą,

$LE$  – wymiana ciepła w wyniku przemian fazowych wody ( $E$  – parowanie z powierzchni;  $L$  – utajone ciepło parowania).

Wielkości  $Q$  i  $G$  są stosunkowo łatwe do zmierzenia. Aby rozdzielić dwa pozostałe składniki (oba charakteryzujące wymianę ciepła układu powierzchnia–atmosfera) wprowadzono wskaźnik Bowena  $\beta$ :

$$\beta = \frac{A}{LE} = \frac{c_p \cdot \Delta T}{L \cdot \Delta q} \quad (8)$$

gdzie:

$c_p$  – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu,

$\Delta T$  – gradient temperatury powietrza obliczony z dwóch poziomów  $z_1$  i  $z_2$ ,

$\Delta q$  – gradient wilgotności bezwzględnej powietrza obliczony z dwóch poziomów  $z_1$  i  $z_2$ .

Wyznaczając wielkość parowania  $E$ , które może być traktowane jako kumulatywna ilość wymiany wody (pary wodnej) między podłożem a atmosferą:

$$E = \frac{Q - G}{(\beta + 1)L} \quad (9)$$

można obliczyć wielkość wymiany innego gazu (dwutlenku węgla)  $F$  z proporcji:

$$\frac{F}{E} = \frac{\Delta C}{\Delta q} \quad (10)$$

gdzie:

$F$  – wymiana dwutlenku węgla między podłożem a atmosferą,

$C$  – różnica stężenia dwutlenku węgla na poziomach  $z_2$  i  $z_1$ .

Bezpośrednim sposobem pomiarów wymiany gazowej jest metoda komór klimatyzacyjnych. W zamkniętym systemie, nie zawierającym lub zawierającym podłoże glebowe pomiar zmiany stężenia  $\text{CO}_2$  pozwala na obliczenie wymiany tego gazu z następującej zależności:

$$F = V \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (11)$$

gdzie:

$V$  – objętość komory,

$\frac{\Delta C}{\Delta t}$  – spadek stężenia dwutlenku

węgla w czasie.

Metoda korelacji pulsacji (w literaturze angielskiej eddy correlation) stosunkowo niedawno, bo w latach 80. została przystosowana do pomiaru przepływu  $\text{CO}_2$  między podłożem a atmosferą. Przepływ ten jest obliczany z zależności:

$$F = \rho_c \overline{w'c'} \quad (12)$$

gdzie:

$c'$  – pulsacja stężenia  $\text{CO}_2$ , czyli chwilowe odchylenie stężenia od wartości średniej stężenia  $\bar{c}$  określonej dla przedziału czasowego  $\Delta t$ ,

$w'$  – pulsacja składowej pionowej wiatru, czyli odchylenie składowej pionowej wiatru od wartości średniej  $\bar{w}$ , określonej dla tego samego przedziału czasowego  $\Delta t$ .



Jeżeli przyjmiemy, że chwilowe wartości  $c$  i  $w$  są określone jako:

$$c = \bar{c} + c'$$

$$w = \bar{w} + w'$$

to suma chwilowych odchyleń w rozpatrywanym okresie uśredniania  $\Delta t$  będzie wynosiła 0 (z definicji wartości średniej). Istotą metody korelacji pulsacji jest to, że w przypadku sumy iloczynów chwilowych odchyleń nie jest ona równa 0 ( $\Sigma c' = 0$  i  $\Sigma w' = 0$ , ale  $\Sigma (c'w') \neq 0$ ).

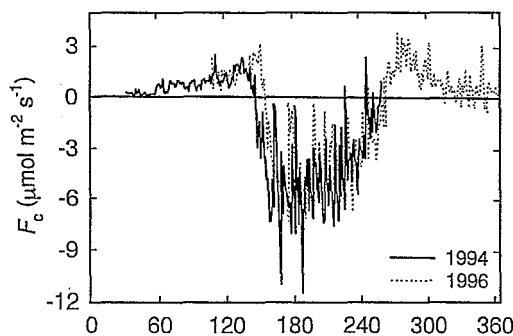
### Określenie ilościowej wymiany dwutlenku węgla dla wybranych ekosystemów

Dane o wymianie dwutlenku węgla między ekosystemem borealnych lasów północnych a atmosferą pochodzą z punktu pomiarowego położonego koło Prince Albert w prowincji Saskatchewan, w środkowej Kanadzie (Black i in. 1996, Chen, Black i in. 1997). Całoroczne, ciągłe pomiary przepływu  $\text{CO}_2$  były wykonywane metodą korelacji pulsacji na poziomach 39,5 m i 4 m. Taki układ czujników pozwalał na określenie bilansu węgla dla ekosystemu lasu jako całości i dla poszczególnych pięter tego lasu oddzielnie. Na rysunku 2 pokazano przebiegi średniego dobowego przepływu  $\text{CO}_2$  między podłożem a atmosferą ( $F_c$ ) w latach 1994 i 1996. Kształt wykresu jest typowy dla lasu liściastego średnich szerokości geograficznych. Zimą i wczesną wiosną wartości przepływu  $F_c$  są do-

datnie (co oznacza uwalnianie dwutlenku węgla do atmosfery) i wzrastają wraz ze wzrostem temperatury. Gwałtowny skok następuje po pojawieniu się liści. Wartości przepływu  $F_c$  spadają wtedy do minimum (wskazując na wiązanie węgla przez ekosystem), a potem stopniowo wzrastają, aż do opadnięcia liści z drzew. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że w roku 1996 zmiana kierunku przepływu  $\text{CO}_2$  (zmiana znaku  $F_c$ ) nastąpiła później niż w roku 1994. Różnica ta była spowodowana opóźnieniem wiosny 1996, niższymi temperaturami średnimi miesięcznymi kwietnia i maja o około  $3^\circ\text{C}$  i w konsekwencji późniejszego pojawienia się liści na drzewach. Ma to oczywiście odzwierciedlenie w ilości związanego węgla przez ekosystem w całym roku. Ilość węgla pochłoniętego w wyniku procesu fotosyntezy wynosi odpowiednio  $-11,2 [\text{t (C)} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}]$  w 1994 i  $-10,3 [\text{t (C)} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}]$  w 1996 roku. Ilość węgla uwalnianego do atmosfery, w wyniku procesu oddychania wynosi  $9,2 [\text{t (C)} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}]$  i  $9,0 [\text{t (C)} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}]$  odpowiednio w 1994 i 1996 roku. Bilans tych wartości, dający produkcję netto ekosystemu NEP wynosi więc  $-2,0 [\text{t (C)} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}]$  w 1994 roku i  $-1,3 [\text{t (C)} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}]$  w 1996 roku.

Dane o wymianie dwutlenku węgla dla ekosystemu stepu strefy umiarkowanej pochodzą ze stanowiska pomiarowego w północno-wschodniej części stanu Kansas w USA (Kim, Verma 1990). Przepływ  $\text{CO}_2$  był mierzony metodą korelacji pulsacji na wysokości 2,25 m nad gruntem w roku 1987 i był on określany na podstawie kowariancji składowej pionowej ruchu powietrza i stężenia dwutlenku

węgla w półgodzinnych okresach uśredniania. Uzyskano dane z 8 wybranych dni, reprezentatywnych dla 156-dniowego przedziału czasowego obejmującego prawie cały okres wegetacyjny i szerokie spektrum warunków wilgotnościowych (w tym okres suchy). Dzienna wymiana  $\text{CO}_2$  osiąga minimum  $-1,3 \text{ [mg (CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$  (znak minus oznacza wiązanie węgla przez ekosystem) w pierwszej połowie lipca i wzrasta prawie do 0 w końcu tego miesiąca (podczas pory suchej). Nocna wymiana  $\text{CO}_2$  (obrazująca oddychanie roślin i ekosystemu glebowego) wynosi średnio od  $0,4 \text{ [mg (CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$  w pierwszej połowie lipca do  $0,2 \text{ [mg (CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$  podczas okresu suchego. Obliczona kumulatywna suma wymiany gazowej netto NEE wynosi  $-7,119 \text{ [t (CO}_2) \cdot \text{ha}^{-1}]$ , co daje wielkość  $1,94 \text{ [t (C) \cdot ha}^{-1}]$  za okres 156 dni.



Rys. 2. Roczny przebieg średniej wymiany  $\text{CO}_2$  między ekosystemem lasu borealnego a atmosferą w Prince Albert National Park, Saskatchewan – Kanada w 1994 i 1996 roku (Chen, Black i in. 1997)

Fig. 2. Annual courses of daily mean  $\text{CO}_2$  flux between boreal aspen forest ecosystem and the atmosphere in Prince Albert Nat. Park, Saskatchewan, Canada, in 1994 and 1996

Dane dotyczące wymiany  $\text{CO}_2$  między polem jęczmienia a atmosferą pochodzą z punktu pomiarowego usytuowanego w Leicester w Wielkiej Brytanii (Biscoe 1976). Wielkość wymiany gazowej od 10 maja do 26 lipca 1975 roku (co obejmuje fazę wzrostu roślin i fazę dojrzałości) była określana metodą bilansu cieplnego powierzchni. Aby określić wielkość wymiany gazowej netto, pomierzono także przepływ  $\text{CO}_2$  związany z oddychaniem roślin i gleby. Na podstawie powyższych składników bilansu węglowego obliczono wymianę masy netto NEE, która wynosi  $-4,2 \text{ [t (C) \cdot ha}^{-1}]$  za okres 77 dni (znak minus oznacza wiązanie węgla przez ekosystem).

Wymiana dwutlenku węgla między ekosystemem doświadczalnych pól uprawnych pszenicy ozimej a atmosferą była mierzona za pomocą komór klimatyzacyjnych. Dane pochodzą ze stanowiska pomiarowego w północno-wschodniej części stanu Kansas w USA (Wall i in. 1990). Pomiary były wykonywane przez okres 57 dni w 1983 roku i 40 dni w 1984 roku na polach o małej szerokości zasiewu ( $18\text{--}35 \text{ cm}$ ) i dużej szerokości zasiewu ( $53\text{--}71 \text{ cm}$ ). Brak pomiarów dotyczących przepływu  $\text{CO}_2$  związanego z procesem oddychania spowodował niemożność określenia wymiany netto. Określono więc tylko ilość węgla wiążanego przez ekosystem brutto GEE. Uzyskano  $-4,87$  i  $-7,18 \text{ [t (CO}_2) \cdot \text{ha}^{-1}]$  za okres 56 dni w 1983 roku odpowiednio dla małej i dużej szerokości zasiewu oraz  $-3,86$  i  $-4,95 \text{ [t(CO}_2) \cdot \text{ha}^{-1}]$  za okres 39 dni w 1984 roku odpowiednio dla małej i dużej szerokości zasiewu.

## Podsumowanie i wnioski

W tabeli 2 zestawiono wielkości kumulatywnej wymiany węgla między atmosferą a ekosystemami: lasu borealnego, stepu i pól uprawnych jęczmienia i pszenicy. Porównując ze sobą uzyskane wyniki należy pamiętać, że dane dotyczące wymiany gazowej pochodzą z różnych okresów rozwojowych (w przypadku jęczmienia i pszenicy nawet nie z

całego okresu wegetacyjnego, a całoroczne pomiary prowadzone były tylko w przypadku ekosystemu lasu borealnego). Różne były także metody określania przepływu CO<sub>2</sub> (korelacji pulsacji dla lasu borealnego i stepu, bilansu cieplnego dla pola jęczmienia i komór klimatyzacyjnych dla pola pszenicy). W przypadku pola pszenicy określono jedynie wymianę gazową brutto (brak pomiarów przepływu CO<sub>2</sub> związanego z oddycha-

TABELA 2. Zestawienie kumulatywnych wielkości wymiany węgla między ekosystemami: lasu borealnego, stepu, pola uprawnego jęczmienia i pszenicy a atmosferą

TABLE 2. Quantitative carbon exchange between the ecosystems of: boreal aspen, forest, temperate grassland, barley field, wheat field and the atmosphere

| Ekosystem<br>Ecosystem                 | Metoda<br>pomiaru<br>Method of<br>measurement | Wymiana<br>brutto<br>[t (C) · ha <sup>-1</sup> ]<br>Gross<br>ecosystem<br>exchange | Wymiana<br>netto<br>[t (C) · ha <sup>-1</sup> ]<br>Net<br>ecosystem<br>exchange | Uwagi<br>Notes                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Las Borealny<br>Boreal Aspen<br>Forest | KP                                            | - 11,2<br>- 10,3                                                                   | - 2,0<br>- 1,3                                                                  | rok 1994 all the year 1994<br>rok 1996 " 1996                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Step<br>Temperate<br>Grassland         | KP                                            | -                                                                                  | - 1,94                                                                          | 156 dni w 1987 roku<br>156 days of the year 1987                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Jęczmień<br>Barley                     | BC                                            | -                                                                                  | -4,2                                                                            | 77 dni, od 10.05. do 26.07.<br>w 1975<br>77 days (10.05. - 26.07.) of the<br>year 1975                                                                                                                                                                                                                                  |
| Pszenica<br>Wheat                      | KK                                            | - 4,87<br><br>- 7,18<br><br>- 3,86<br><br>- 4,95                                   | -                                                                               | 56 dni w 1983 r. (szer. g.z.)<br>56 days of the year 1983 (wide<br>spacing)<br>58 dni w 1983 r. (wąska g.z.)<br>58 days of the year 1983<br>(narrow spacing)<br>39 dni w 1984 r. (szer. g.z.)<br>39 days of the year<br>(wide spacing)<br>40 dni w 1984 r. (wąska g.z.)<br>40 days of the year 1984<br>(narrow spacing) |

KP – metoda korelacji pulsacji, BC – metoda bilansu cieplnego, KK – metoda komór klimatyzacyjnych.  
KP – eddy correlation method, BC – energy balance method, KK – enclosure method

niem). Mimo powyższych uwag można jednak sformułować pewne ogólne wnioski:

1. Ilość dwutlenku węgla wiązana przez wszystkie z rozpatrywanych ekosystemów jest większa niż ilość dwutlenku węgla uwalnianego do atmosfery. Wszystkie z rozpatrywanych w niniejszej pracy ekosystemów są zatem „magazynem” węgla.

2. Lasy liściaste strefy północnej i umiarkowanej zajmują powierzchnię  $5 \times 10^6 \text{ km}^2$  (Chen, Black i in. 1997). Jeżeli wyniki uzyskane dla lasów borealnych są reprezentatywne dla wszystkich lasów liściastych tej strefy, to całkowita masa węgla odkładająca się rocznie w tym ekosystemie wynosi od 0,65 do 1,0 Gt (C) na rok.

3. Przebieg wymiany  $\text{CO}_2$  i w konsekwencji ilość magazynowanego węgla przez ekosystem w ciągu roku zależy od przebiegu pogody, co pokazuje porównanie roku 1994 z rokiem 1996 w przypadku lasu borealnego. Drugim ważnym czynnikiem wpływającym na ilość odkładanego węgla jest zagęszczenie roślin. Jest to widoczne w przypadku pola pszenicy z dużą i małą szerokością zasiewu.

## Literatura

- BALDOCCHI D.D. 1994: *A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C<sub>3</sub> (wheat) and an open C<sub>4</sub> (corn) crop. II: CO<sub>2</sub> exchange and water use efficiency.* Agricultural and Forest Meteorology 67.
- BISCOE P.V. i in. 1975: *Barley and its environment: III: Carbon budget of the stand.* Journal of Applied Ecology 12.
- BLACK T.A. i in. 1996: *Annual cycle of water vapor and carbon dioxide fluxes in and above a boreal aspen forest.* Global Change Biology 2.
- CHEN W.J., BLACK T.A. i in. 1997: *Effects of climatic variability on the annual carbon sequestration by a boreal aspen forest.* Submitted to Global Change Biology.
- KIM J., VERMA S.B. 1990: *Carbon dioxide exchange in a temperate grassland ecosystem.* Boundary – Layer Meteorology 52.
- ROZBICKI T. 1997: *Carbon dioxide and agricultural plant canopies ecosystems.*
- RUIMY A. i in. 1995: *CO<sub>2</sub> fluxes over plant canopies and solar radiation: Review.* Advances in Ecological Research 26.
- VERMA S.B. i in. 1989: *Carbon dioxide, water vapor and sensible heat fluxes over a tall-grass prairie.* Boundary–Layer Meteorology 46.
- WALL G.W. i in. 1990: *Spectral estimates of daily CO<sub>2</sub> exchange rates in wheat canopies.* Agronomy Journal 82.

## Summary

**Quantitative assessment of carbon exchange between some ecosystems and the atmosphere.** The paper presents balance structure of carbon dioxide exchange between terrestrial ecosystem canopies and the atmosphere. In methodical part of the paper three methods of  $\text{CO}_2$  flux evaluation are approached (energy balance, eddy correlation and enclosure method). On the basis of field measurement series there were presented examples of quantitative estimation of carbon dioxide fluxes and carbon sequestration by four ecosystems: boreal aspen forest, temperate grasslands and fields of barley and wheat.

### Author's address:

T. Rozbicki  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Marek BRZOZOWSKI**

Katedra Kształtowania Środowiska i Melioracji

Department of Enviromental Development and Land Improvement

## **Kształtowanie się spływu powierzchniowego w świetle badań modelowych Model study of surface runoff**

### **Wstęp**

Jedną z głównych przyczyn erozji wodnej gleby jest spływ wody po jej powierzchni. Jego natężenie uzależnione jest od spadku terenu wielkości i intensywności opadu oraz możliwości retencyjnych gleby. W większości równań opisujących straty gleby powstałe w wyniku erozji wodnej jednym z istotniejszych parametrów jest współczynnik podatności gleb na erozję. Jednym z najczęściej stosowanych równań jest uniwersalne równanie strat glebowych USLE (Wischmeier 1978) w którym parametr K opisany jest za pomocą równania.

$$K = 2,77 \cdot 10^{-6} M^{1,14} (12 - OS) + 0,0325 (A-2) + 0,025 (D-3)$$

gdzie:

K – podatność gleb na erozję  
[Mg · ha<sup>-1</sup> · Je<sup>-1</sup>],

[Je = MJ · ha<sup>-1</sup> cm · h<sup>-1</sup>],

M – iloczyn procentowej zawartości ziaren 0,002–0,1 i ziaren 0,1–2,0,

OS – procent zawartości substancji organicznej,

A – klasa struktury gleby,

D – klasa przepuszczalności gleby.

Równanie to nie uwzględnia wszystkich parametrów gleby, mogących mieć wpływ na spływ powierzchniowy. Należą do nich: wilgotność aktualna gleby i jej szorstkość. Znaczenie tych czynników potwierdzają badania dotyczące procesów zaskorupiania się powierzchni gleby i powstawania spływów powierzchniowych.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań modelowych nad procesem formowania się spływu powierzchniowego, ze szczególnym uwzględnieniem wilgotności początkowej profilu glebowego.

## Formowanie się spływu powierzchniowego

Proces powstawania spływu powierzchniowego zależy m.in. od stopnia pokrycia gleby. Praktyka wykazała, że jest on bardziej intensywny na glebach odkrytych. Deszcz padający na nieosłoniętą powierzchnię gleby w pierwszej fazie powoduje rozbitcie, a następnie zniszczenie struktury gleby w wierzchniej warstwie. Proces ten wywołany jest energią uderzeniową kropel wody, które powodują pękanie agregatów glebowych. Oprócz tego następuje również zatykanie się drobnych porów glebowych, a w konsekwencji obniżenie zdolności chłonnych profilu glebowego czyli infiltracji i zapoczątkowanie spływu powierzchniowego. Zagęszczenie powierzchniowej warstewki gleby jest nie tyle efektem oddziaływania energii kinetycznej kropel deszczu, ile rozpadu agregatów i ich innego ułożenia. Stwierdzono natomiast, że gęstość gleby rośnie wraz z intensywnością opadu.

W zagęszczonej wierzchniej warstwie gleby przy współudziale dużych gruzełków glebowych tworzą się niewielkie mikrodepresje, w których czasowo może stagnować woda na skutek zablokowania porów kapilarnych. W trakcie postępującego deszczu w tych samych mikrodepresjach gromadzą się również zawiesiny będące wynikiem dyspersji chemicznej wywołanej uwalnianiem się koloidów, wymywania jonów dwuwartościowych oraz rozbryzgu gleby. Gromadzenie się wody i zawiesiny trwa do momentu rozmycia lub rozbitcia przez krople deszczu większych agregatów. Dalszy opad powoduje wypełnienie

większości depresji na powierzchni gleby, która pokryta jest cienką skorupą, powstałą na skutek wmycia cząstek ilastych pod cienką warstwę powierzchniową, tworząc tzw. poziom wmycia. Zbudowana jest ona z dwóch warstw. Pierwsza zagęszczona może osiągać grubość 0,1–0,3 mm oraz druga (warstwa wmycia) 1–3 mm, w niektórych okolicznościach grubość skorupy może osiągać nawet ponad 2 cm.

Po przekroczeniu pewnego poziomu krytycznego woda oraz zawarta w niej zawiesina wykorzystując ukształtowanie terenu, rozpoczyna ruch w dół zbocza. W początkowej fazie powstawania spływu powierzchniowego przybiera on formy ruchu laminarnego, przechodząc kolejno w drobne strumienie tworzące razem żłobiny. Cały proces należy rozpatrywać z punktu widzenia modułu dwuczęściowego, na który składa się erozja żłobinowa i międzyżłobinowa. Ilość erodowanej gleby na skutek wystąpienia spływu powierzchniowego zależy od wielu czynników, takich jak:

- energia i intensywność opadu,
- energia spływu powierzchniowego,
- rodzaj gleby (właściwości fizyczne i chemiczne),
- warunki powierzchniowe (ukształtowanie terenu, stopień pokrycia, rodzaj zabiegów).

Matematyczny opis wody płynącej po stoku jako pierwszy przedstawił Kostia-kow w 1919 roku. Został on zmodyfikowany przez Skotnickiego (1925) i Ostromeckiego (1962). Według tych autorów w warunkach ruchu ustalonego, gdy dopływ  $q$  na jednostkę powierzchni równoważy straty na wsiąkanie na długości  $l$  ( $g = wl$ ) można

zmianę przepływu na odcinku  $dx$  pomiędzy dwoma przekrojami przedstawić w postaci równania:

$$dq = -w dx \quad (2)$$

gdzie  $w$  jest stałą prędkości wsiąkania. Według wzoru Chezy prędkość strugi o określonej głębokości  $y$  na odcinku  $x$  można zapisać następująco:

$$v = C \sqrt{yJ} \quad (3)$$

Wobec małego napełnienia  $y$ , współczynnik prędkości  $C$  może być wyznaczony w przybliżeniu ze wzoru:

$$C = c\sqrt{y} \quad (4)$$

Zatem przepływ na odległości  $x$

$$q = cy^2\sqrt{J} \quad (5)$$

Według Meyera (1976) prędkość spływu powierzchniowego może dochodzić do 0,5 m/s (w naturalnych warunkach polowych), natomiast gęstość niesionej zawiesiny do 2 g/cm<sup>3</sup>. Uwzględniając zależność (3), przepływ w odległości  $x$  można zapisać, że zmiana przepływu względem  $y$

$$dq = c\sqrt{J} 2y dy \quad (6)$$

Ten ubytek przepływu między przekrojami jest zużyty na wsiąkanie, więc

$$2c\sqrt{J} y dy = -w dx \quad (7)$$

Po scałkowaniu (uwzględniając, że przy  $x = 0, y = h$ , przy  $x = L, y = 0$  oraz, że  $q = c h^2 \cdot J^{0,5}$ ) otrzymamy równanie krzywej zwierciadła wody na stoku w formie paraboli drugiego stopnia, czyli

$$y^2 = h^2 (1 - w/q x) \quad (8)$$

Zasadniczy wpływ na kształtowanie się spływu powierzchniowego wywiera prędkość wsiąkania wody, w literaturze ujmowana jako wartość stała ( $w = \text{const.}$ ) i zmienna w czasie oraz współczynnik szorstkości. W naturze wsiąkanie zawsze jest zmienne i może być wyrażone w postaci

$$w = K (1 + h/L) \quad (9)$$

Do aproksymacji funkcji wsiąkania w czasie wykorzystywana jest najczęściej zależność Kostiakowa

$$w_{ot} = w_{01} t^\alpha \quad (10)$$

gdzie:

$w_{ot}$  – średnia prędkość wsiąkania w okresie od 0 do  $t$ ,

$w_{01}$  – średnia prędkość wsiąkania wody w pierwszej jednostce czasu,

$t$  – czas,

$\alpha$  – współczynnik potęgowy.

Współczynnik szorstkości dosyć dobrze został opisany przez Darcy'ego-Weisbacha, a następnie zmodyfikowane przez innych badaczy (Engman 1986, Gilley 1990).

$$f = 8g Rs/V^2$$

gdzie:

$g$  – przyspieszenie grawitacyjne,  
 $s$  – średni spadek,  
 $V$  – prędkość przepływu,  
 $R$  – promień hydrauliczny.

Jego wartość uzależniona jest od wielu czynników, np. liczby Reynoldsa, rodzaju zabiegów uprawnych, pokrycia roślinnością. Różne badania dowodzą, że intensywność spływu powierzchniowego największą wartość uzyskuje w początkowej fazie jego powstania, po czym ustala się dynamiczny stan równowagi między intensywnością opadu i jego energią kinetyczną a wielkością i energią spływu. Podobny przebieg ma również relacja pomiędzy stężeniem materiału erodowanego w stosunku do czasu powstania spływu. Jest to w głównej mierze wynikiem kumulacji znacznej ilości materiału glebowego powstałego w trakcie rozpadu.

Zmiana wielkości spływu powierzchniowego oraz zawartość w nim cząstek glebowych ma istotny wpływ na kształtowanie się rozkładu wielkości cząstek erodowanych. W początkowej fazie powstania spływu dominującą rolę odgrywają drobne cząsteczki ilaste, by w dalszej fazie przybliżać się do składu cząstek gleby naturalnej. Według Mazurka i Moshera (1969) spływowi ulegają cząsteczki gleby gęstości od 1,7–2,7 g/cm<sup>3</sup> i średnicy mniejszej niż 2 mm. Jednakże Wischmeier i Smitth w równaniu USLE uwzględniają także cząsteczki drobnego piasku.

Rozpatrywanie rozkładu wielkości cząstek pierwotnych i agregatów oraz ich budowa mają istotne znaczenie przy rozpatrywaniu zagadnień powstawania spływów powierzchniowych w kontekście ich zagrożeń ekologicznych. Zwią-

zane jest to w głównej mierze z pomiarem wielkości strat składników mineralnych oraz środków chemicznych, stosowanych przy uprawach rolniczych. Jest to o tyle istotne zagadnienie, gdyż większość tych składników jest absorbowana przez cząsteczki ilaste oraz materię organiczną gleby, będących główną materią spływu powierzchniowego. Zawartość składników mineralnych w spływie powierzchniowym wykorzystywana jest do określania stopnia nasilenia erozji wodnej w glebie.

## Cel i metodyka badań

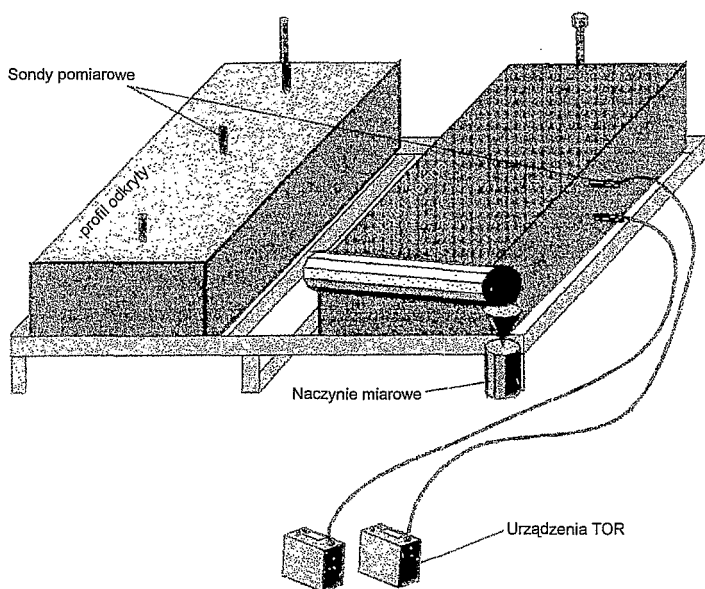
Celem badań było określenie zależności kształtowania się spływu powierzchniowego od pokrycia gleby, spadku oraz intensywności opadu. Badania wykonano na modelach gruntowych (rys.1) o wymiarach (1,0 m × 0,4 m × 0,3 m).

Model został wypełniony glebą pobraną w zlewni rzeki Burzanki. Podstawową charakterystykę gleby przedstawiono w tabeli 1 i rysunku 2.

Zakres pracy obejmował:

- glebę zadarnioną i glebę bez pokrycia;
- trzy typy spadków; grunty orne 2,5%, 9%, 15% i użytków zielonych 9%, 15%, 25%; dobór spadków przyjęto na podstawie analizy map topograficznych zlewni rzeki Burzanki;
- trzy różne deszcze o intensywności 27 mm/h, 43 mm/h, 54 mm/h; intensywność opadu określono na podstawie obserwacji opadów występujących w rejonie poboru prób 1970–1995 (wg stacji meteorologicznej w Elblągu).





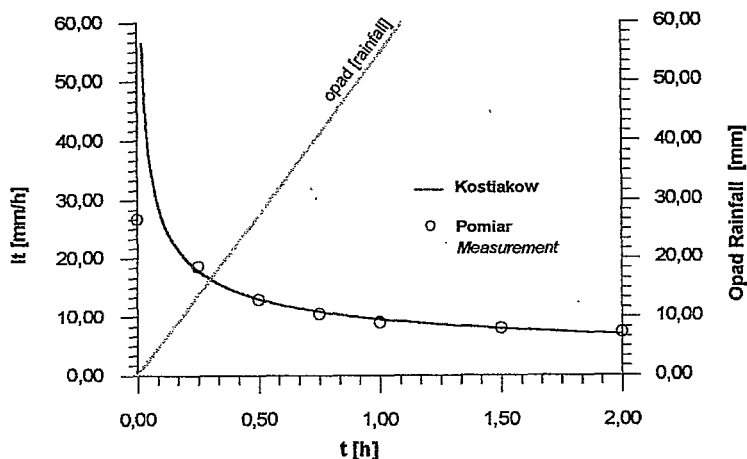
Rys. 1. Schemat modelu gruntowego do badań spływu powierzchniowego  
Fig. 1. Scheme of soil model for runoff surface investigation

TABELA 1. Właściwości badanej gleby  
TABLE 1. Properties of soil

| Typ gleby<br>Soil type          | Skład granulometryczny<br>Properties size [%] |              |             | Część<br>organiczna<br>Organic matter | Współczynnik<br>filtracji<br>Infiltr. coeff.<br>[cm/dobę] |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                 | [0,1–2,0 mm]                                  | [0,1–0,02mm] | [> 0,02 mm] |                                       |                                                           |
| Piasek gliniasty<br>mocny [Pgm] | 74,5                                          | 12,0         | 12          | 1,5                                   | 263,3                                                     |

Przed rozpoczęciem każdej serii badań określono charakterystykę symulowanych deszczy, tj. wielkość, średnią intensywność i stopień pokrycia (w czasie) modelu. Pomiar wstępny wykonano w trzech powtórzeniach. Jako symulatora deszczu użyto zraszaczy sektorowych o zmiennej wydajności z regulatorem ciśnienia typu 533-PC. Ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 2. Badania pro-

wadzano przy wilgotności początkowej gleby od 6% do 10%. Czas pomiaru wynosił 60 min. Pomiar wilgotności gleby w trakcie eksperymentu wykonano przy użyciu urządzenia TDR opracowanego przez Malickiego i Skieruchę w Instytucie Agrofizyki PAN (Malicki 1993) Sondy pomiarowe umieszczono na głębokości 5 i 25 cm. Badania przeprowadzono dla trzech wariantów (tab. 3):



Rys. 2. Relacja między wielkością opadu a prędkością wsiąkania  
Fig. 2. Relationship between rainfall and infiltration velocity

TABELA 2. Parametry zraszacza  
TABLE 2. Parameter of sprinklers

| Średnica dyszy<br>Nozzle diameter<br>[mm] | Ciśnienie<br>Pressure<br>[bar] | Wydatek<br>Flow rate [m <sup>3</sup> /h] | Promień zasięgu<br>Radius diameter<br>[m] |
|-------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 3,4                                       | 2,0–4,0                        | 0,64–0,92                                | 26,0–28,0                                 |
| 4,4                                       | 2,0–4,0                        | 0,96–1,36                                | 27,0–30,0                                 |
| 4,9                                       | 2,0–4,0                        | 1,32–1,85                                | 28,0–32,0                                 |

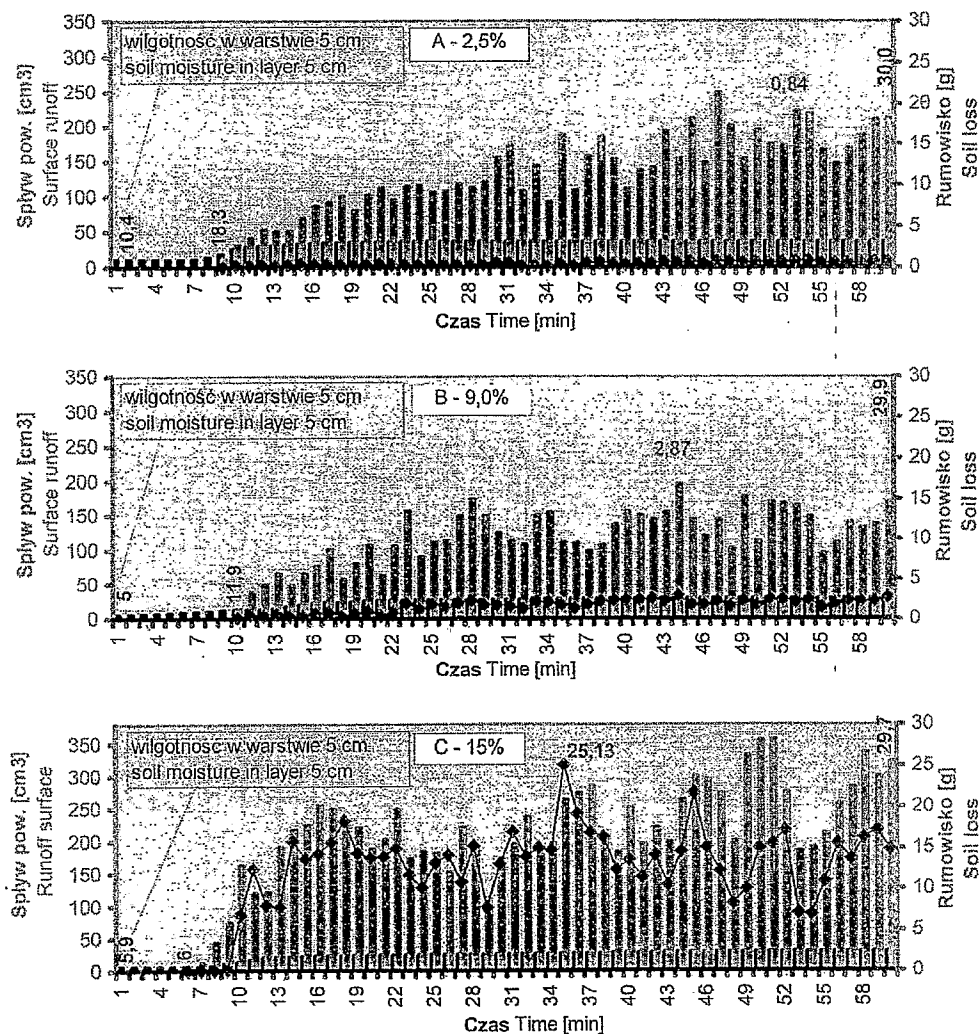
TABELA 3. Zakres badań modelowych  
TABLE 3. Type of model study

| Opad Rain [27 mm/h]                |                              | Opad Rain [43 mm/h]                |                              | Opad Rain [54 mm/h]                |                              |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Gleba bez<br>pokrycia<br>Bare soil | Gleba<br>zadarniona<br>Grass | Gleba bez<br>pokrycia<br>Bare soil | Gleba<br>zadarniona<br>Grass | Gleba bez<br>pokrycia<br>Bare soil | Gleba<br>zadarniona<br>Grass |
| 2,5                                | 9,0                          | 2,5                                | 9,0                          | 2,5                                | 9,0                          |
| 9,0                                | 15,0                         | 9,0                                | 15,0                         | 9,0                                | 15,0                         |
| 15,0                               | 25,0                         | 15,0                               | 25,0                         | 15,0                               | 25,0                         |

## Wyniki badań

Ze względu na obszerność materiału badawczego przedstawiono wyniki dla największego opadu i przy różnych spad-

kach. Na rysunku 3 przedstawiono dynamikę spływu powierzchniowego oraz maksymalną zawartość rumowiska w odpływie. W przypadku badań na modelu z darnią spływ powierzchniowy nie

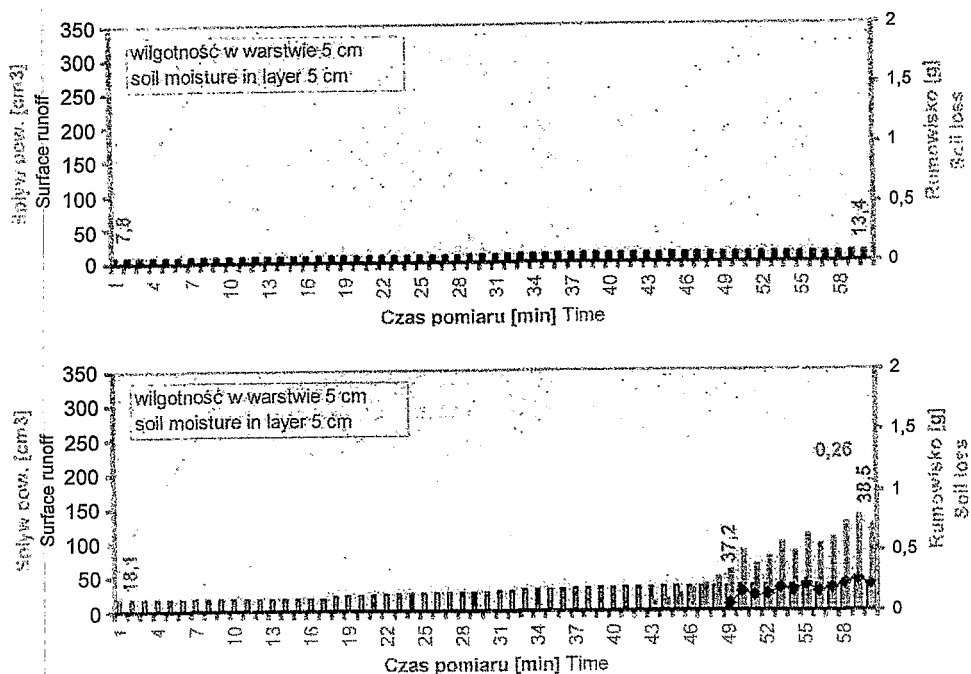


Rys. 3. Dynamika splywu powierzchniowego dla gleby bez pokrycia przy stałym opadzie i różnych spadkach (2,5%, 9,0%, 15,0%)

Fig. 3. Dynamics of runoff surface for the bore soil with rain constant rain intensity and different slope (2.5%, 9.0%, 15.0%)

wystąpił w żadnym z pomiarów, w których wilgotność początkowa wierzchniej warstwy była niższa od 14% (bez względu na spadek). Dlatego też przeprowa-

dzono dwukrotne badania na tym samym modelu o różnej wilgotności początkowej. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Dynamika spływu powierzchniowego na glebie pokrytej darnią (spadek 25% i intensywności opadu 55 mm/h)

Fig. 4. Dynamics of runoff surface for the soil covering by grass slope (25% and rain intensity 55 mm/h)

## Analiza wyników

Otrzymane wyniki pomiarów gleby bez pokrycia porównano z wynikami obliczeń przeprowadzonymi wg równania USLE (tab. 4). Wyniki wskazują na pewną zgodność dla opadów o mniejszej intensywności. Inaczej kształtuje się sytuacja dla deszczy o maksymalnej intensywności, dla których pomierzone wartości są znacznie wyższe od obliczonych. Przyczyny rozbieżności można doszukiwać się w uogólnieniach dotyczących parametrów równania USLE. Na rysunku 5 przedstawiono zależność wielkości spływu powierzchniowego od wilgotności

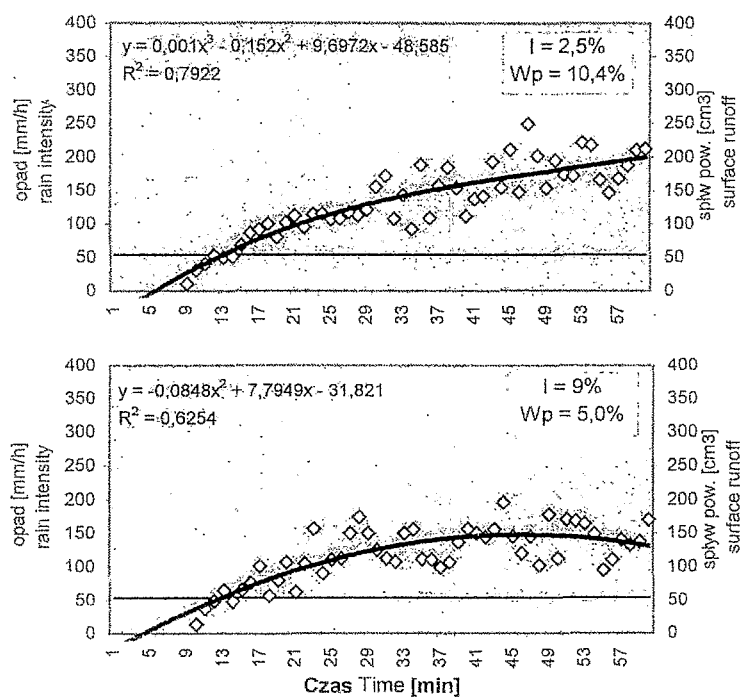
początkowej, przy założeniu różnych spadków i stałego opadu. Obie zależności wyrównano metodą wielomianu stopnia trzeciego, dla którego określono współczynnik korelacji.

Inaczej kształtuje się przebieg krzywej stężenia rumowiska w odpływie (rys. 6), z której wynika, iż jego koncentracja wzrasta proporcjonalnie do intensywności opadu oraz wielkości spadku.

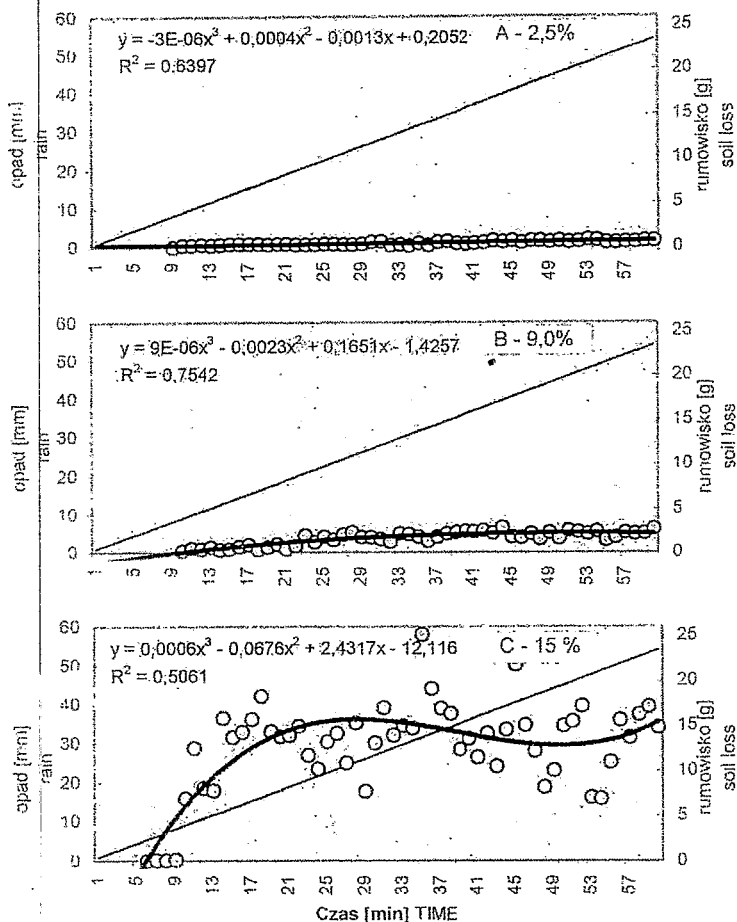
Można stwierdzić, iż moment rozpoczęcia spływu powierzchniowego oraz jego dynamika zależą od wielkości opadu i wilgotności początkowej przy mniejszym udziale spadku (rys. 5). Koncentracja rumowiska w odpływie jest z kolei

TABELA 4. Wydatek rumowiska [t/ha] dla różnych wariantów pomiarowych  
TABLE 4. Soil loss in [t/ha] for different variants of measurement

| Założone spadki<br>Slope [%]    | Wydatek rumowiska<br>Soil loss [t/ha] |                         |
|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
|                                 | Pomierzone (measurement)              | Obliczone (calculation) |
| OPAD – 27 mm/h (rain intensity) |                                       |                         |
| 2,5                             | 0,211                                 | 0,222                   |
| 9,0                             | 0,632                                 | 0,660                   |
| 15,0                            | 2,548                                 | 1,457                   |
| OPAD – 43 mm/h (rain intensity) |                                       |                         |
| 2,5                             | 0,421                                 | 0,604                   |
| 9,0                             | 0,916                                 | 1,795                   |
| 15,0                            | 5,924                                 | 4,622                   |
| OPAD – 54 mm/h (rain intensity) |                                       |                         |
| 2,5                             | 0,701                                 | 1,18                    |
| 9,0                             | 2,166                                 | 2,925                   |
| 15,0                            | 17,554                                | 7,858                   |



Rys. 5. Zależność spływu powierzchniowego od intensywności opadu  
Fig. 5. Relationship between surface runoff and rain intensity



Rys. 6. Zależność ilości odprowadzanego rumowiska od wielkości opadu  
Fig. 6. Relationship between soil loss value and rainfall

uzależniona od wielkości i intensywności opadu oraz wielkości spadku, w mniejszym przypadku zaś od wilgotności profilu glebowego (rys. 6).

Również z analizy bilansu badań modelowych wynika, iż relacja pomiędzy odpływem pionowym i poziomym zmienia się proporcjonalnie do wielkości spadku (przy stałym opadzie) oraz zależy od wilgotności początkowej, która wpły-

wa w sposób istotny na proces kształtowania spływu powierzchniowego.

## Wnioski

- Badania wykazały, że istnieje zależność między natężeniem spływu powierzchniowego a użytkowaniem terenu, spadkiem i wilgotnością początkową górnej warstwy gleby.

- Udział rumowiska w odpływie jest w większym stopniu uzależniony od parametrów opadu (wielkość i intensywność) i spadku zbocza, niż od wilgotności gleby.
- Na glebach bez pokrycia otrzymano straty glebowe w przedziale od 0,211 do 17,55 t/ha w zależności od wariantu doświadczenia. Natomiast straty gleby z zadarnionej powierzchni wystąpiły jedynie przy największej badanej intensywności opadu oraz 25% spadku i wyniosły 0,053 t/ha.

## Literatura

- GILLEY i in. 1992: *Darcy-Weisbach roughness coefficients for gravel and cabbie surfaces*. Journal of irrigation and Drainage Engineering, s. 104–112 USA.
- LUK S.H., HAMILTON 1986: *Experimental effects of antecedentmoisture and soil strenghton raindrop erosion of two luvisols Ontario*. Geoderma 37, 29–43.
- MEYER i in. 1976: Soil erosion concepts and misconceptions. Sedimentation Conf., Denver 1976.
- PTACH W. 1997: *Badania modelowe nawodnień wglębnych z wykorzystaniem miernika TDR*. Przegląd Naukowy z. 13, Warszawa, 117–128.

## Summary

**Model study of surface runoff.** Presently very intensive of agricultural production more and more importance take the evoke negative process like water erosion. Incidentally of this process is degradation of environment and soil productivity. One of very important reason evoke of degradation is runoff surface which formation influend effective rainfall, soil erodibility factor, land slope, cropping factor, fertilizer level, soil moisture, etc. In this article take up trial determined dependence between runoff surface and soil moisture in model condition. Measured values can help to correct soil erodibility factor (K) in Universal Soil Loss Equation (USLE).

### Author's address:

M. Brzozowski  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02–787 Warszawa ul. Nowoursynowska 161  
Poland

**Wiesław KOSIŃSKI**

Katedra Geodezji i Fotogrametrii

Department of Geodesy and Photogrammetry

## **Próba zastosowania stacji pomiarowej Topcon do oceny treści wysokościowej wielkoskalowych map sytuacyjno-wysokościowych przeznaczonych dla inżynierii środowiska**

### **The test of using the Topcon total station to estimate contour lines in large scale maps for the needs of environmental engineering**

Treść wysokościowa mapy powinna być sprawdzana, a jej dokładność określana w sposób ogólnie przyjęty. Dotyczy to szczególnie map przeznaczonych dla prac projektowych w zakresie inżynierii środowiska, gdzie dokładność treści wysokościowej powinna być zgodna z założeniami mapy. Treść wysokościowa map sporządzanych na podstawie pomiarów terenowych może mieć zniekształcenia wynikające głównie z niewłaściwego wytypowania punktów do pomiaru wysokościowego – mających służyć do interpolacji warstwic. Innym źródłem błędów treści wysokościowej mogą być błędy przypadkowe pomiarów wysokościowych, szczególnie jeżeli pomiar wykonywany był za pomocą mniej dokładnych instrumentów – zwykłych teodolitów czy nawet tachimetrów typu Dahlta.

Natomiast mapy uzyskiwane na podstawie opracowań fotogrametrycznych mają zniekształcenia powstałe na skutek zarówno błędów przypadkowych, jak i systematycznych. Osobnym zagadnieniem są zniekształcenia treści wysokościowej map, które wynikają ze stosowania do opracowań warstwicowych automatycznych programów komputerowych, tworzących własne regularne siatki punktów wysokościowych, uśredniających dane pomiarowe i przedstawiające własne „wizje” treści wysokościowej terenu.

Jednocześnie należy pamiętać, że zmysły ludzkie mało precyzyjnie reagują na pionowe ukształtowanie terenu i „na oko” nie jest możliwa ocena treści wysokościowej mapy.

Proponuję, aby każda wielkoskalowa mapa sytuacyjno-wysokościowa miała



ocenę treści wysokościowej, podobnie jak w operatach pomiarowych zamieszczane są informacje o dokładności ciągów poligonowych i niwelacyjnych.

Sposób oceny dokładności treści wysokościowej map powinien być łatwy i prosty zarówno w trakcie wykonywania pomiarów kontrolnych, ich opracowywania, jak i przedstawiania uzyskanych wyników, a jednocześnie możliwie precyzyjnie oddający na tle mapy stan rzeczywisty terenu. Z dotychczas stosowanych sposobów określania dokładności treści wysokościowej map za odpowiadającą podanym wyżej wymaganiom uważam metodę przekrojów. Metoda ta polega na tym, że na wybranych w miarę prostoliniowych liniach wyznacza się w terenie wysokości punktów tak w stosunku do siebie rozmieszczonych, jak między sąsiednimi punktami, dzięki temu spadek terenu jest jednostajny. Opracowanie przekrojów można dokonywać w formie graficznej lub analitycznej. Jest to szczegółowo omówione w pracy studialnej (Wykorzystanie zdjęć lotniczych..., 1982) oraz w wielu innych nie wymienionych tu pozycjach literatury, a więc jest powszechnie znane.

Dotychczas pomiary takich przekrojów wykonywano niwelatorem i taśmą stalową. Niwelatorem wyznaczano wysokości wybranych punktów, taśmę stalową zaś wykorzystywano do określania położenia sytuacyjnego tych punktów. Dla łatwiejszego umieszczenia linii przekroju na mapie punkty początkowy i końcowy przekroju określano w stosunku do punktów sytuacyjnych lub punktów osnowy, znajdujących się w terenie i na mapie. Postępowanie takie, mimo całej

swojej prostoty, było w wielu przypadkach kłopotliwe z różnych względów. Pomiar taśmą długich odcinków o różnym nachyleniu jest uciążliwy i mało dokładny. Są trudności z utrzymaniem właściwego kierunku taśmy w terenie rolnym pokrytym roślinnością. Konieczne jest redukowanie poszczególnych odcinków do poziomu i usuwanie błędów systematycznych pomiaru taśmą. Pomiar niwelacyjny ze względu na konieczność stosowania krótkich celowych (przy niwelacji geometrycznej zmusza do tego konfiguracja terenu) jest pracochłonny i wymaga zaangażowania kilkusobowej grupy pomiarowej. Nie jest przy tym wykorzystywana możliwość niwelacji geometrycznej w celu uzyskiwania dużych dokładności rzędnych punktów ze względu na generalizację warstwic na mapie, co jest konieczne z powodu szorstkości i chropowatości terenu.

Proponuję, aby pomiary przekrojów wykonywać w inny niż przedstawiony sposób, co pozwoli wyeliminować przedstawione niedogodności. Mianowicie proponuję, aby do pomiaru przekrojów zastosować stacje pomiarowe (total station), przy czym możliwe są dwa warianty postępowania:

1. Do pomiarów wysokościowych stosujemy niwelator – jak w tradycyjnym pomiarze, a stacji pomiarowej używamy jedynie do sytuacyjnego określenia położenia poszczególnych punktów;

2. Do określania wysokości, jak i położenia sytuacyjnego, używamy stacji pomiarowej.

W obydwu wariantach określenie sytuacji punktów wysokościowych odbywa się przy wyeliminowaniu pomiaru

stałą taśmą geodezyjną – jest to określenie położenia tzw. metodą biegunową, przy wykonywaniu pomiaru nowoczesnym teodolitem elektronicznym (pomiar kąta między kierunkiem stałym a kierunkiem na dany punkt wyznaczany i pomiar dalmierzem elektronicznym z dużą dokładnością odległości od punktu stałego do punktu wyznaczanego). Natomiast w wariancie drugim proponuję do określania wysokości punktów zastosować niwelację trygonometryczną, również wykonywaną teodolitem elektronicznym.

Wariant pierwszy pozwala określić wysokości poszczególnych punktów przekroju, tak jak jest to możliwe dla niwelacji geometrycznej, a więc dokładniej niż w wariancie drugim, przy zastosowaniu niwelacji trygonometrycznej, natomiast w wariancie drugim wykonanie pomiaru jest znacznie szybsze, a tym samym bardziej ekonomiczne.

Określanie wysokości metodą niwelacji trygonometrycznej może być obciążone błędami systematycznymi i przypadkowymi, spowodowanymi wpływem warunków środowiska. Błędy systematyczne mogą powstać w wyniku występowania refrakcji pionowej o nieokreślonym w danym momencie wpływie na wielkość mierzonego kąta pionowego, różnej od wartości średniej, którą się zwykle przyjmuje. Na powstawanie błędów przypadkowych może mieć istotny wpływ występująca w okresie letnim wibracja powietrza, która okresowo wręcz uniemożliwia dokładne celowanie na punkt.

Zasadne więc było przeprowadzenie doświadczalnych prac terenowych, mających na celu uzyskanie danych o mo-

żliwych do uzyskania dokładnościach wysokości punktów na trasie przekroju, wyznaczonych za pomocą stacji pomiarowej, np. firmy Topcon.

Nowoczesne teodolity elektroniczne, zwane również stacjami pomiarowymi, umożliwiają jednoczesne uzyskiwanie odległości do wyznaczanego punktu oraz jego przewyższenie, czyli pionową odległość od poziomu lunety instrumentu. Stąd wysokość wyznaczanego punktu

$$H_p = H_c + \Delta h \quad (1)$$

gdzie:

$H_p$  – wysokość wyznaczanego punktu,

$H_c$  – wysokość osi celowej instrumentu

$\Delta h$  – przewyższenie (ze znakiem + lub -) uzyskiwane z pomiaru.

Przeprowadzono następujący pomiar doświadczalny: Na trasie długości 600 m wyznaczono punkty i utrwalono je palikami – jak do kontroli mapy warstwicznej. Wysokości tych punktów wyznaczono niwelatorem samopoziomującym Zeissa Ni 020. Następnie wysokości tych punktów określono za pomocą stacji pomiarowej CTS2 Topcon ze stanowiska na początku trasy. Pomiary wykonano w ciepły letni dzień, przy czym słońce było za obserwatorem. Występowała wibracja powietrza. Celowano na pojedyncze lustro dalmiercze, bez dodatkowych elementów (tarcz celowniczych) wspomagających – ułatwiających celowanie. Pomiar przewyższenia wykonywano 2-krotnie. Przedstawione wyniki pomiaru są średnią z dwu obserwacji. Przy obliczaniu wysokości punktów na

podstawie obserwacji instrumentem Topcon wprowadzono poprawki na kulistość Ziemi i refrakcję pionową. Uzyskane wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli.

Analizując otrzymane wyniki, można stwierdzić, że rozbieżności w uzyskanych wynikach są w przeważającej liczbie dodatnie, to świadczyłoby o systematycznym błędzie ustawienia kompensatora. Dla odległości do 350 m rozbieżności te są na tyle niewielkie, że wyniki uzyskane instrumentem Topcon można uznać za całkowicie przydatne do założonego celu ich wykorzystania, nato-

miast dłuższe od 350 m odległości obarczone są większymi błędami 5–7–9 cm, co też nie może być uznane za dyskwalifikujące je. Przyjmując, że proponowany sposób pomiaru może być stosowany tylko do 350 m, to i tak z jednego stanowiska można wykonać pomiary kontrolne treści wysokościowej mapy dla obszaru o powierzchni 38 ha, tj. 0,25 obszaru arkusza mapy w skali 1 : 2000. Jednak należy przypuszczać, że w dniu mniej słonecznym dokładności w granicach 4 cm można będzie uzyskać dla odległości nawet powyżej 400 m.

TABELA 1. Wyniki pomiarów wysokości punktów za pomocą instrumentu Topcon i niwelatora  
TABLE 1. The results of experiments surveys

| Nr obserwacji<br>Nr of observation | Odległości do punktów [m]<br>Distances to the points in meters | Wysokości $H$ punktów, uzyskane z pomiaru niwelatorem<br>Heights $H$ of points, survey by leveller | Wysokości $H$ punktów, uzyskane z pomiaru stacją pomiarową<br>Heights $H$ of points, survey by total station | Różnice wysokości uzyskanych niwelatorem i stacją pomiarową<br>Heights differences obtain by leveller and total station |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                  | 42                                                             | 128,07                                                                                             | 128,07                                                                                                       | 0,00                                                                                                                    |
| 2                                  | 69                                                             | 127,48                                                                                             | 127,47                                                                                                       | +0,01                                                                                                                   |
| 3                                  | 76                                                             | 127,72                                                                                             | 127,70                                                                                                       | +0,02                                                                                                                   |
| 4                                  | 100                                                            | 126,81                                                                                             | 126,79                                                                                                       | +0,02                                                                                                                   |
| 5                                  | 125                                                            | 127,13                                                                                             | 127,13                                                                                                       | 0,00                                                                                                                    |
| 6                                  | 171                                                            | 127,64                                                                                             | 127,65                                                                                                       | -0,01                                                                                                                   |
| 7                                  | 187                                                            | 127,17                                                                                             | 127,17                                                                                                       | 0,00                                                                                                                    |
| 8                                  | 200                                                            | 127,26                                                                                             | 127,28                                                                                                       | -0,02                                                                                                                   |
| 9                                  | 217                                                            | 126,99                                                                                             | 126,97                                                                                                       | +0,02                                                                                                                   |
| 10                                 | 242                                                            | 127,32                                                                                             | 127,29                                                                                                       | +0,03                                                                                                                   |
| 11                                 | 288                                                            | 128,97                                                                                             | 128,95                                                                                                       | +0,02                                                                                                                   |
| 12                                 | 300                                                            | 129,00                                                                                             | 128,98                                                                                                       | +0,02                                                                                                                   |
| 13                                 | 315                                                            | 129,56                                                                                             | 129,55                                                                                                       | +0,01                                                                                                                   |
| 14                                 | 352                                                            | 129,69                                                                                             | 129,67                                                                                                       | +0,02                                                                                                                   |
| 15                                 | 380                                                            | 129,40                                                                                             | 129,34                                                                                                       | +0,06                                                                                                                   |
| 16                                 | 400                                                            | 129,52                                                                                             | 129,47                                                                                                       | +0,05                                                                                                                   |
| 17                                 | 419                                                            | 130,12                                                                                             | 130,12                                                                                                       | 0,00                                                                                                                    |
| 18                                 | 487                                                            | 129,91                                                                                             | 129,84                                                                                                       | +0,07                                                                                                                   |
| 19                                 | 500                                                            | 129,94                                                                                             | 129,88                                                                                                       | +0,06                                                                                                                   |
| 20                                 | 526                                                            | 130,14                                                                                             | 130,05                                                                                                       | +0,09                                                                                                                   |
| 21                                 | 550                                                            | 129,68                                                                                             | 129,60                                                                                                       | +0,08                                                                                                                   |
| 22                                 | 600                                                            | 129,87                                                                                             | 129,72                                                                                                       | +0,15                                                                                                                   |

## Literatura

- BAKOWSKI Z. 1997: *Metody wykorzystania profilów w badaniach nad mikrorzeźbą terenu i jej odtwarzaniem*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- Wykorzystanie zdjęć lotniczych i metod stereofotogrametrycznych dla potrzeb projektowania w zakresie wodnych melioracji*. Praca studialna nr 471, Warszawa 1982.
- WYSOCKI J. 1979: *Analiza dokładności opracowań warstwicowych do projektowania drenowania użytków rolnych*. Zesz. Nauk. SGGW, Melioracje Rolne 18, Warszawa.

## Summary

**The test of using the Topcon total station to estimate contour lines in large scale maps for the needs of environmental engineering.** It is possible to estimate the contour lines in large scale maps on making profiles. Up to the present this survey has been done to use the tape measure and the leveller. Now it can be done by one implement – total station. Table shows the results of surveys made by Topcon CTS-2. The results indicate that this way of survey can be put into practice.

**Author's address:**

W. Kosiński  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warsaw ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Andrzej MUĆKA**

Pracownia Środowiskowych Systemów Informacyjnych

Katedra Budownictwa Wodnego

Environmental Information Systems Laboratory

Department of Hydraulic Structures

## **Wyznaczanie średnich wartości opadu i temperatury dla zlewni o dużej deniwelacji terenu przy wykorzystaniu techniki GIS**

### **Estimation of rainfall and temperature mean values for the watershed with diversified elevations by the means of GIS technique**

#### **Wprowadzenie**

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metody wyznaczania danych wejściowych, takich jak: opad, temperatura, wysokość pokrywy śnieżnej do koncepcyjnego modelu opad-odpływ „ENNS” dla zlewni o dużej deniwelacji terenu. Model ten przewiduje podział zlewni na strefy wysokościowe, dla których oddzielnie oblicza topnienie śniegu i poszczególne składowe odpływy. Aby przeprowadzenie obliczeń było w ogóle możliwe, trzeba dysponować wyżej wymienionymi danymi meteorologicznymi dla średniej wysokości każdej strefy wysokościowej.

Do podziału zlewni na strefy wysokościowe, jak również do innych obliczeń charakteryzujących zlewnię, zbu-

dowany został cyfrowy model terenu (DEM). Interpolację danych punktowych do danych odniesionych powierzchniowo przeprowadzono metodą deterministyczną, wykorzystując poligony Thiessena, przy czym podjęto próbę uwzględnienia pionowego gradientu temperatury oraz gradientu hipsometrycznego w przypadku opadu.

Podczas próby adaptacji modelu „ENNS” dla zlewni Nisy Kłodzkiej wystąpił problem obliczenia średnich strefowych danych wejściowych oraz parametrów charakteryzujących zlewnię w poszczególnych jej strefach wysokościowych. W gruncie rzeczy najważniejsze zadanie, jakie należało rozwiązać polegało na przeprowadzeniu interpolacji wielkości odniesionych punktowo do wielkości odniesionych powierzchniowo.

wo, uwzględniając przy tym ich lokalne właściwości. Zadanie to może być rozwiązane następującymi metodami: przez interpolację deterministyczną oraz interpolację stochastyczną.

W tym przypadku zdecydowano się na przeprowadzenie interpolacji deterministycznej z wykorzystaniem geograficznego systemu informacyjnego GIS do analizy właściwości przestrzennych interpolowanych wielkości.

## Charakterystyka zlewni

### Wybór zlewni

Do badań szczegółowych wybrano położoną w Sudetach zlewnię Nysy Kłodzkiej do przekroju wodowskazowego Bardo Śląskie. Wyboru tego dokonano z następujących powodów:

- zlewnia obejmuje swym zasięgiem tereny o dużej deniwelacji 250–1425 m n.p.m., co w sposób istotny wpływa na zjawiska meteorologiczne i hydrologiczne (Byczkowski 1996),
- niezbędne historyczne dane meteorologiczne były w posiadaniu Katedry,

- dla tej zlewni podjęto próbę adaptacji modelu „ENNS” opracowanego dla zlewni alpejskich.

### Opis zlewni

Zlewnia Nysy Kłodzkiej obejmuje obszar o powierzchni 4565 km<sup>2</sup>, długość rzeki wynosi około 170 km. Do rozpatrywanego przekroju wodowskazowego Bardo Śląskie zlokalizowanego na 111,4 km powierzchnia zlewni wynosi 1763 km<sup>2</sup>. Nysa bierze swój początek ze źródeł położonych na stokach Puchacza w pobliżu Jodłowa na wysokości ok. 975 m n.p.m. W pierwszym odcinku płynie w kierunku południowo-zachodnim, następnie w okolicy Boboszowa skręca i dalej płynie w kierunku północnym. Poniżej Kłodzka rzeka ponownie zmienia swój kierunek i płynie przebijając Góry Bardzkie na wschód. Między Opolem a Wrocławiem, poniżej Skorogoszczy Nysa wpada do szerokiej doliny Odry. Charakterystyczne dane dla Nysy przedstawia tabela 1.

### Numeryczny model terenu – DEM

Do opracowania numerycznego modelu terenu zlewni wykorzystano dane z amerykańskiego numerycznego modelu kuli ziemskiej „GTOPO30” o rozdziel-

TABELA 1. Charakterystyczne wartości dla zlewni Nysa Kłodzka  
TABLE 1. Characteristical values for Nysa Kłodzka Watershed

| Wodowskaz<br>Gauge station | Pow. zlewni<br>Catchment area<br>[km <sup>2</sup> ] | Km-rzeki<br>River-Km<br>[km] | WWQ<br>[m <sup>3</sup> /s] | SSQ<br>[m <sup>3</sup> /s] | ZZQ<br>[m <sup>3</sup> /s] | NNQ<br>[m <sup>3</sup> /s] |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Kłodzko                    | 1090                                                | 127,4                        | 394                        | 13,1                       | 9,3                        | 1,7                        |
| Bardo Śląskie              | 1763                                                | 111,4                        | 430                        | 17,8                       | 13,9                       | 3,0                        |
| Skorogoszcz                | 4512                                                | 7,0                          | 505                        | 38,6                       | 32,8                       | 6,4                        |

czości przestrzennej równej 30 sekund. Model ten jest dostępny w formacie ARC/Info w sieci internetu jako „Public-Domain” pod następującym adresem „<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/>”. Kula ziemską została w nim podzielona na 33 części. Zlewnia Nysy Kłodzkiej znajduje się w zbiorze W020N90, zawierającym obszar Europy Zachodniej, ograniczony południkami 20E-20W i równoleżnikami 40N-90N. Po wykonaniu „Download” wyżej wymienionego zbioru i dearchiwizacji został wycięty w programie ARC/Info prostokąt o następujących współrzędnych geograficznych przeciwległych narożników (16E, 50N; 17E, 51N), zawierający zlewnię Nysy Kłodzkiej, a następnie punkty wysokościowe (14 400 szt.) zostały zapisane w zbiorze ASCII. Ze względu na małą rozdzielczość przestrzenną danych niemożliwe było bezpośrednio wygenerowanie modelu cyfrowego. W celu zwiększenia rozdzielczości zdecydowano się na przeprowadzenie interpolacji pomiędzy punktami uzyskanymi z modelu GTOPO30. W związku z tym dane ze zbioru ASCII zostały wczytane do programu IDRISI jako punkty, a następnie wykonano interpolację na mapę rastrową o rozdzielczości 200 x 200 m. W ten sposób uzyskano model numeryczny dla całego prostokąta. Aby uzyskać DEM tylko dla zlewni, wykonano operację OVERLAY modelu numerycznego z warstwą zawierającą granice zlewni (rys. 1).

### Podział zlewni na strefy wysokościowe

Z powodu dużej deniwelacji terenu zlewni i z tym związanego gradientu hipsometrycznego dla opadu, jak rów-

nież pionowego gradientu temperatury, konieczny okazał się, do prawidłowego modelowania procesu opad-odpływ, a szczególnie do procesu topnienia śniegu, podział zlewni na strefy wysokościowe (Nachtnebel i in., 1993). Do tego celu został wykorzystany DEM.

Przy podziale zlewni na strefy wysokościowe kierowano się następującymi kryteriami:

- powierzchnie poszczególnych stref powinny być w przybliżeniu równe,
- w każdej strefie powinna znajdować się dostateczna liczba posterunków meteorologicznych.

Kryteria te zostały tylko częściowo spełnione. Wynik podziału na 3 strefy wysokościowe przedstawia tabela 2.

Rozkład przestrzenny poszczególnych stref wysokościowych przedstawiony został na rysunku 2.

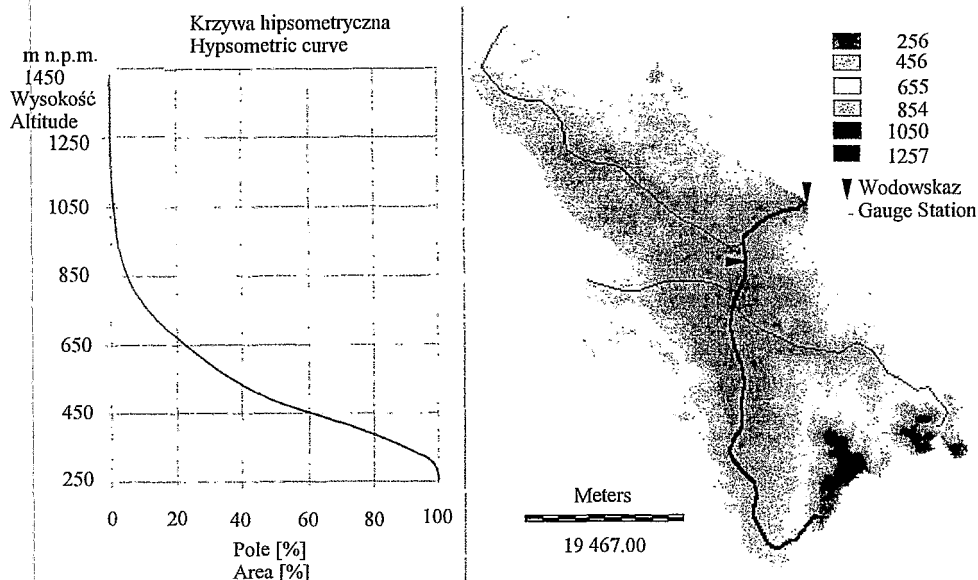
Oprócz podziału na strefy z cyfrowego modelu terenu zostały uzyskane dodatkowe informacje opisujące własności zlewni, takie jak:

- krzywa hipsometryczna (rys. 1),
- średnia wysokość zlewni (532 m n.p.m.),
- średni spadek dla zlewni (7%)
- średnie spadki dla poszczególnych stref wysokościowych (tab. 2).

### Średni opad dla poszczególnych stref wysokościowych

#### Przegląd stacji opadowych

Na wstępie przedstawiono przegląd stacji opadowych wraz z ich krótką charakterystyką, a następnie opis metody



Rys. 1. Krzywa hipsometryczna oraz numeryczny model terenu zlewni Nysy Kłodzkiej  
Fig. 1. Hypsometric curve and digital evaluation model

TABELA 2. Podział zlewni Nysy Kłodzkiej do przekroju Bardo na 3 strefy wysokościowe  
TABLE 2. Subdivision of Nysa Kłodzka watershed into 3 elevation zones

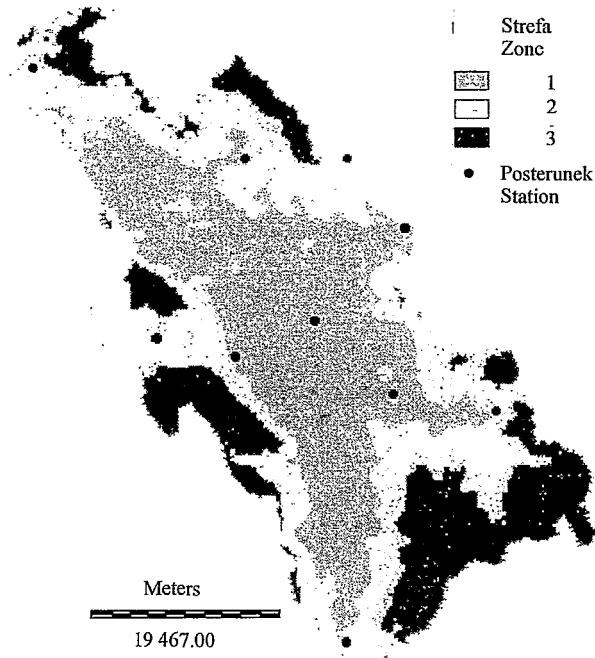
| Strefa<br>Zone | Wysokość od<br>Altitude from<br>[n.p.m.] | Wysokość do<br>Altitude to<br>[n.p.m.] | Środek strefy<br>Middle of zone<br>[n.p.m.] | Powierzchnia<br>Area<br>[km <sup>2</sup> ] | Średni spadek<br>Mean slope<br>[%] |
|----------------|------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| 1              | 250                                      | 450                                    | 380                                         | 680                                        | 4,0                                |
| 2              | 450                                      | 650                                    | 533                                         | 678                                        | 7,8                                |
| 3              | 650                                      | 1425                                   | 784                                         | 405                                        | 10,8                               |

obliczania średniego opadu strefowego dla średniej wysokości każdej strefy przy uwzględnieniu gradientu hipsometrycznego opadu.

Na terenie zlewni Nysy Kłodzkiej do przekroju wodowskazowego Bardo Śląskie znajduje się 10 posterunków opadowych. Dodatkowo do obliczeń włączono posterunek opadowy Srebrna Góra, położony w pobliżu zlewni. Przestrzenny rozkład posterunków w zlewni przedstawiony został na rysunku 3. Tabela 3 zawiera

charakterystyczne dane wybranych do badania posterunków. Dla wszystkich posterunków dysponowano szeregiem czasowym sum dobowych opadów, obejmującym 21 lat (1976–1996). Największy dzienny opad zanotowano na stacji Mieroszów, wynoszący 169,3 mm/d. Największa średnia suma opadów rocznych (1211 mm) wystąpiła na posterunku Zieleniec, położonym w 3 strefie wysokościowej, natomiast najmniejsza (551 mm) na posterunku Kłodzko, położonym





Rys. 2. Rozkład przestrzenny stref wysokościowych

Fig. 2. Spatial distribution of elevation zones

w 1 strefie. Większość posterunków opadowych położona jest w 1 strefie wysokościowej (7 posterunków), w drugiej i trzeciej odpowiednio 3 i 1 posterunek.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność średniego rocznego i średniego dziennego opadu od wysokości położenia stacji opadowej nad poziomem morza.

#### Obliczanie średniego opadu dobowego dla stref wysokościowych

Celem niżej przedstawionej metody jest obliczenie gradientu hipsometrycznego opadu, który następnie posłuży do wyznaczenia opadu średniego dobowego dla każdej strefy wysokościowej na podstawie dziennych sum opadu, pomierzonych na posterunkach.

Gradient hipsometryczny zostanie wyznaczony na podstawie obliczonych z 21-letniego szeregu czasowego średnich dobowych opadów dla dni deszczowych na poszczególnych posterunkach.

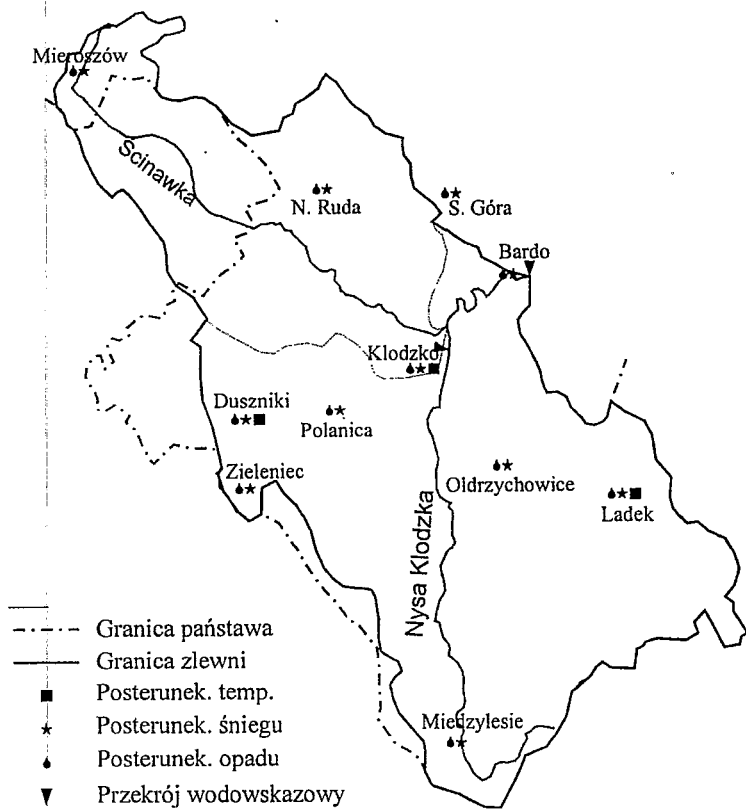
Średni opad strefowy dla średniej wysokości strefy obliczony został w następujący sposób:

- Obliczenie średniej dziennej wartości opadu  $N_j^{MW}$  i średniej wysokości stacji dla każdej strefy  $H_j^{MW}$ :

$$N_j^{MW} = \sum_{kj} F_{kj}^{MW} \cdot \bar{N}_{kj} \quad (1)$$

$$H_j^{MW} = \sum_{kj} F_{kj}^{MW} \cdot H_{kj} \quad (2)$$

Szczawno-Zdrój



Rys. 3. Lokalizacja posterunków meteorologicznych  
Fig. 3. Location of measurement stations

$N_j^{MW}$  – średnia dzienna wartość opadu na średniej wysokości posterunków każdej strefy [mm/d],

$H_j^{MW}$  – średnia wysokość położenia stacji opadowych każdej strefy wys. [m n.p.m.],

$\bar{N}_{kj}$  – średni opad dzienny dla posterunku każdej strefy wysokościowej [mm/d] (tab. 3),

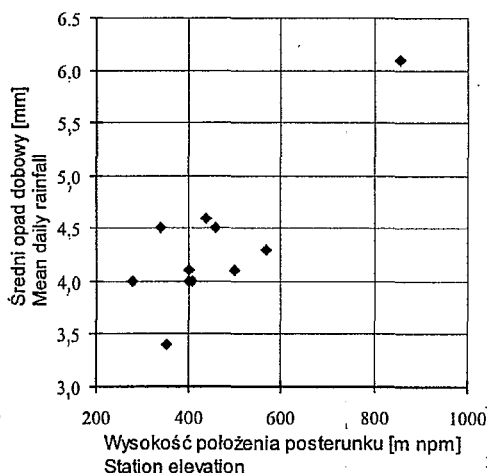
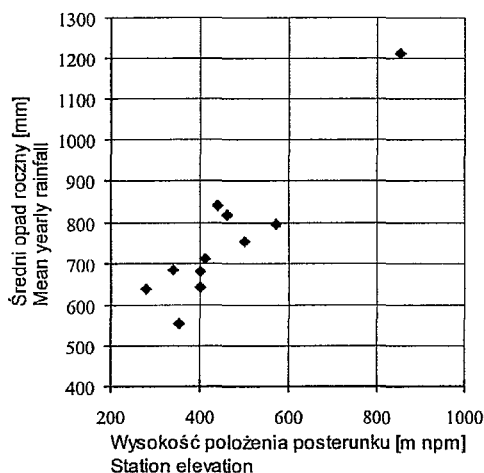
$H_{kj}$  – wysokość położenia posterunku opadowego [m n.p.m.],

$F_{kj}^{MW}$  – współczynnik wagowy dla każdego posterunku danej strefy wysokościowej (dla posterunków z 1 strefy zostały wyznaczone poligony Thiessena, dla posterunków z 2 i 3 strefy średnia arytmetyczna),

$k$  – ilość posterunków opadowych w danej strefie wysokościowej,

$j$  – ilość stref wysokościowych.

W tabeli 4 zostały przedstawione wyżej wymienione wartości.



Rys. 4. Zależność średniego opadu od wysokości położenia posterunku

Fig. 4. The relationship between mean rainfall and station elevation

Następnie średnia dzienna wartość opadu  $N_j^{MW}$  została przyporządkowana do odpowiedniej średniej wysokości położenia stacji opadowych  $H_j^{MW}$ . Połączenie tych punktów utworzy zależności opisujące związek między średnim opadem a wysokością położenia (rys. 5).

- Obliczenie dziennego opadu na średniej wysokości każdej strefy wysokościowej dla każdej stacji:

$$N_{ij}^{ZOM} = W_{ij} \cdot N_i \quad (3)$$

$N_{ij}^{ZOM}$  – opad dla danej stacji na średniej wysokości każdej strefy [mm/d],

$N_i$  – dzienna suma opadów danej stacji [mm/d],

$W_{ij}$  – współczynnik korekcyjny dla każdej stacji i każdej strefy  $W_{ij} = f(H_j + -H_i)$ , obliczany z równań gradientów, dla różnic między wysokością położenia stacji i średnimi wysokościami stref – warto-

ści współczynnika korekcyjnego zawiera tabela 5),

$i$  – ilość posterunków opadowych.

- Obliczenie średniego opadu dobowego dla każdej strefy:

$$N_j = \sum_{ij} F_{ij} \cdot N_{ij}^{ZOM} \quad (4)$$

lub

$$N_j = \sum_{ij} G_{ij} \cdot N_i \quad (5)$$

$N_j$  – średni dobowy opad strefowy [mm/d],

$F_{ij}$  – współczynniki dla każdej stacji i każdej strefy,

$G_{ij}$  – współczynnik wagowy

$$G_{ij} = W_{ij} \cdot F_{ij}$$

Współczynnik wagowy  $G_{ij}$  to takie wartości, które pomnożone przez warto-

TABELA 3. Wielkości charakterystyczne wybranych posterunków opadowych

TABLE 3. Characteristical values for selected rainfall stations

| Nr | Nazwa posterunku<br>Name of station | Skrót | Zlewnia<br>Catchment | Wysokość<br>Altit. | S<br>Z | Wsp. geogr.<br>Geo. coordin. |        | Opad [mm]<br>Rainfall [mm]          |                                     |                                 |
|----|-------------------------------------|-------|----------------------|--------------------|--------|------------------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
|    |                                     |       |                      |                    |        | λ                            | φ      | Średni<br>Mean<br>[doba]<br>[daily] | Średni<br>Mean<br>[rok]<br>[yearly] | Max<br>Max<br>[doba]<br>[daily] |
| 1  | Bardo Śląskie                       | BAR   | Nysa Kł.             | 280                | 1      | 16°45'                       | 50°31' | 4,0                                 | 638                                 | 90,2                            |
| 2  | Duszniki-Zdrój                      | DUS   | Nysa Kł.             | 570                | 2      | 16°23'                       | 50°25' | 4,3                                 | 796                                 | 80,6                            |
| 3  | Kłodzko                             | KLO   | Nysa Kł.             | 355                | 1      | 16°37'                       | 50°26' | 3,4                                 | 551                                 | 73,6                            |
| 4  | Lądek-Zdrój                         | LAD   | Nysa Kł.             | 461                | 2      | 16°53'                       | 50°21' | 4,5                                 | 816                                 | 102,2                           |
| 5  | Międzylesie                         | MIE   | Nysa Kł.             | 440                | 1      | 16°40'                       | 50°08' | 4,6                                 | 839                                 | 68,2                            |
| 6  | Mieroszów                           | MIR   | Ścinawka             | 500                | 2      | 16°12'                       | 50°40' | 4,1                                 | 753                                 | 169,3                           |
| 7  | Nowa Ruda                           | RUD   | Ścinawka             | 400                | 1      | 16°31'                       | 50°35' | 4,1                                 | 640                                 | 90,8                            |
| 8  | Ołdrzychowice                       | OLD   | Nysa Kł.             | 340                | 1      | 16°44'                       | 50°22' | 4,5                                 | 684                                 | 75,0                            |
| 9  | Polanica-Zdrój                      | POL   | Nysa Kł.             | 400                | 1      | 16°30'                       | 50°24' | 4,0                                 | 681                                 | 74,1                            |
| 10 | Srebrna Góra*                       | SRE   | Nysa Kł.             | 410                | 1      | 16°40'                       | 50°35' | 4,0                                 | 708                                 | 95,0                            |
| 11 | Zieleniec                           | ZIE   | Nysa Kł.             | 855                | 3      | 16°24'                       | 50°20' | 6,1                                 | 1211                                | 93,0                            |

\*posterunek poza zlewnią – station out of watershed

TABELA 4. Podstawowe dane do wyznaczenia gradientów

TABLE 4. Basic data for gradient determination

| Strefa<br>Zone | $N_j^{MW}$ | $H_j^{MW}$ | $F_j^{MW}$                                  |
|----------------|------------|------------|---------------------------------------------|
| 1              | 4,07       | 372,8      | 0,05; 0,22; 0,09; 0,24;<br>0,25; 0,14; 0,01 |
| 2              | 4,03       | 510,3      | 0,33; 0,33; 0,33                            |
| 3              | 6,10       | 855,0      | 1,0                                         |

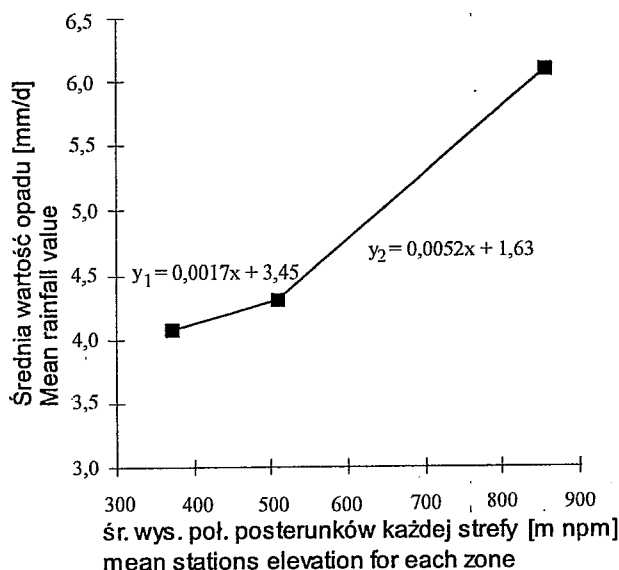
ści opadów pomierzone na stacjach dają średnie opady strefowe (tab. 5).

Opad w zlewni Nysy wykazuje dodatni gradient hipsometryczny, przy czym w zależności od wysokości jest on różny i tak do wysokości 510 [m n.p.m.] wynosi 0,62 [mm/1m], a powyżej 1,9 [mm/1m]. Ponieważ stacje najczęściej położone są w obszarze doliny do obliczania średniego opadu strefowego wykorzystano gradient hipsometryczny. W ten sposób obliczone opady strefowe posłużą jako dane wejściowe do modelu „ENNS”.

Łatwo można zauważyć, że wartości przedstawionych w tabeli 5 współczynników  $W_{i1}$  i  $W_{i2}$  oscylują w granicach 1, to oznacza, że obliczony średni opad strefowy dla obu stref niewiele się różni od obliczonego opadu tradycyjną metodą poligonów Thiessena. Jednak dla 3 strefy wysokościowej różnica ta jest już dość dobrze widoczna i z tym związany średni opad strefowy jest ok. 30% większy, niż miałyby to miejsce przy metodzie tradycyjnej.

### Średnia temperatura dla poszczególnych stref

Temperatura jest decydującym czynnikiem dla topnienia śniegu, przy czym należy również tu uwzględnić pionowy gradient temperatury. Ponieważ w badanej zlewni Nysy Kłodzkiej znajdują się tylko 3 stacje, w których dokonywany jest pomiar temperatury (rys. 3), zdecy-



Rys. 5. Zależność średniego opadu od wysokości położenia posterunku  
Fig. 5. The relationship between daily mean rainfall and average station elevation for each zone

TABELA 5. Charakterystyczne współczynniki do obliczenia średniego opadu strefowego  
TABLE 5. Characteristical coefficients for determination of average zonal rainfall

| Nazwa<br>Name | Wys.<br>Altit. | $N^{ZOM}$<br>[m n.p.m.] | $W_{ij}$<br>[mm/T] | $F_{ij}$ |          |          | $G_{ij}$ |          |          |          |          |  |
|---------------|----------------|-------------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
|               |                |                         | $W_{i1}$           | $W_{i2}$ | $W_{i3}$ | $F_{i1}$ | $F_{i2}$ | $F_{i3}$ | $G_{i1}$ | $G_{i2}$ | $G_{i3}$ |  |
| Strefa 1      | 380            | 4,10                    | 1,00               | –        | –        | 1,00     | –        | –        | 1,00     | –        | –        |  |
| Strefa 2      | 533            | 4,40                    | –                  | 1,00     | –        | –        | 1,00     | –        | –        | 1,00     | –        |  |
| Strefa 3      | 784            | 5,70                    | –                  | –        | 1,00     | –        | –        | 1,00     | –        | –        | 1,00     |  |
| BAR           | 280            | 3,93                    | 1,04               | 1,12     | 1,45     | 0,05     | 0,03     | 0,0      | 0,052    | 0,034    | 0,0      |  |
| DUS           | 570            | 4,59                    | 0,89               | 0,96     | 1,24     | 0,05     | 0,09     | 0,07     | 0,045    | 0,086    | 0,087    |  |
| KLO           | 355            | 4,05                    | 1,01               | 1,09     | 1,41     | 0,22     | 0,01     | 0,0      | 0,222    | 0,011    | 0,0      |  |
| LAD           | 461            | 4,23                    | 0,97               | 1,04     | 1,35     | 0,02     | 0,14     | 0,37     | 0,019    | 0,146    | 0,500    |  |
| MIE           | 440            | 4,20                    | 0,98               | 1,05     | 1,36     | 0,09     | 0,15     | 0,16     | 0,088    | 0,158    | 0,218    |  |
| MIR           | 500            | 4,30                    | 0,95               | 1,02     | 1,33     | 0,04     | 0,15     | 0,08     | 0,038    | 0,153    | 0,106    |  |
| RUD           | 400            | 4,13                    | 0,99               | 1,07     | 1,38     | 0,17     | 0,19     | 0,08     | 0,168    | 0,203    | 0,110    |  |
| OLD           | 340            | 4,03                    | 1,02               | 1,09     | 1,42     | 0,23     | 0,12     | 0,03     | 0,235    | 0,131    | 0,043    |  |
| POL           | 400            | 4,13                    | 0,99               | 1,07     | 1,38     | 0,12     | 0,06     | 0,06     | 0,119    | 0,064    | 0,083    |  |
| SRE           | 410            | 4,15                    | 0,99               | 1,06     | 1,37     | 0,01     | 0,04     | 0,02     | 0,010    | 0,042    | 0,027    |  |
| ZIE           | 855            | 6,10                    | 0,67               | 0,72     | 0,93     | 0,0      | 0,02     | 0,13     | 0,0      | 0,014    | 0,121    |  |

$N^{ZOM}$  – obliczony średni opad z równań gradientowych dla wysokości, położenia stref i posterunków

dowano się na włączenie do obliczeń dodatkowej stacji Szczawno-Zdrój położonej w pobliżu północnej granicy zlewni. W tabeli 6 przedstawiono charakterystyczne dane dla stacji, na których mierzono temperaturę.

Ponieważ stacje pomiaru temperatury położone są tylko w 1 i 2 strefie wysokościowej, średnia temperatura dla 3 strefy musi być ekstrapolowana z pionowego gradientu temperatury. W przeciwieństwie do opadu, temperatura jest wielkością ciągłą w czasie, jak i w przestrzeni, dlatego też nie jest wyznaczany stały gradient z wartości średnich, jak to miało miejsce w przypadku opadu, lecz będzie on obliczany dla każdego dnia.

Algorytm obliczania średniej temperatury strefowej jest następujący:

- obliczenie średniej wartości temperatury ze wszystkich stacji danej strefy

wysokościowej, następnie wartości tej zostanie przyporządkowana odpowiednia średnia wysokość położenia wszystkich stacji danej strefy,

- połączenie tych wartości linią prostą utworzy zależność między temperaturą a wysokością położenia – gradient temperatury,
- obliczenie średniej temperatury strefowej dla średniej wysokości każdej strefy ( $Tz1, Tz2, Tz3$ ) z równania gradientu.

### Przykład

Obliczyć średni gradient temperatury i średnie roczne temperatury strefowe na podstawie średnich rocznych temperatur z poszczególnych stacji (dane do przykładu zawiera tabela 6)

- $S_1 = (7,3 + 7,3)/2 = 7,3$   
 $S_2 = (6,1 + 7,1)/2 = 6,6$   
 $H_1 = (355 + 420)/2 = 387,5$   
 $H_2 = (570 + 461)/2 = 515,5$

TABELA 6. Charakterystyczne wielkości stacji pomiaru temperatury  
TABLE 6. Characteristical values for temperature measurement stations

| Nr | Nazwa stacji<br>Name of Station | Skr. | Wys.<br>Altit. | Strefa<br>Zone | Wsp. geog.<br>Geo. Coordin. |           | Temperatura [°C]<br>Temperature [°C] |         |      |
|----|---------------------------------|------|----------------|----------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------|---------|------|
|    |                                 |      |                |                | $\lambda$                   | $\varphi$ | min.                                 | średnia | max. |
| 1  | Duszniki-Zdrój                  | DUS  | 570            | 2              | 16°23'                      | 50°25'    | -25,0                                | 6,1     | 27,2 |
| 2  | Kłodzko                         | KLO  | 355            | 1              | 16°37'                      | 50°26'    | -24,4                                | 7,3     | 28,3 |
| 3  | Lądek-Zdrój                     | LAD  | 461            | 2              | 16°53'                      | 50°21'    | -23,6                                | 7,1     | 28,4 |
| 4  | Szczawno-Zdrój*                 | SZC  | 420            | 1              | 16°15'                      | 50°48'    | -23,4                                | 7,3     | 29,6 |

\*stacja poza zlewnią – station out of watershed

- $y = -0,0055x + 9,4$

Średni gradient temperatury wynosi 0,55 [°C/100m],

- średnie roczne temperatury strefowe zawiera tabela 7.

Ponieważ średnia temperatura dla 3 strefy wysokościowej obliczana jest z temperatur pomierzonych na stacjach położonych w niższych strefach, szczególne sytuacje temperaturowe w zlewni nie mogą być przez model uwzględnione, co może prowadzić szczególnie w procesie topnienia śniegu do poważnych błędów.

TABELA 7. Średnie temperatury strefowe  
TABLE 7. Mean temperatures for elevation zones

| Strefa<br>Zone | Wys. [m n.p.m.]<br>Altitude | Tz [°C] |
|----------------|-----------------------------|---------|
| 1              | 380                         | 7,3     |
| 2              | 533                         | 6,5     |
| 3              | 784                         | 5,1     |

## Średnia strefowa wysokość pokrywy śnieżnej

Zalegający na obszarze zlewni śnieg można przedstawić koncepcyjnie jako zbiornik magazynujący wodę, dlatego też musi on zostać uwzględniony w pro-

cesie modelowania opad-odpływ w postaci dodatkowego modułu opisującego proces topnienia śniegu. Napełnianie zbiornika, a więc przyrost pokrywy śnieżnej lub jej gęstości odbywa przez opad śniegu lub deszczu na zalegający śnieg.

Podobnie jak przy obliczaniu średniego strefowego opadu, tak i przy średniej strefowej wysokości pokrywy śnieżnej należy uwzględnić gradient wysokości położenia.

Średnia strefowa wysokość opadu obliczana jest w następujący sposób:

- dla 1 i 2 strefy wysokościowej

$$S_j = \sum_{kj} F_{kj} \cdot S_{kj} \quad (6)$$

gdzie:

$S_j$  – średnia strefowa wysokość pokrywy śnieżnej [cm],

$S_{kj}$  – wysokość pokrywy śnieżnej na posterunkach danej strefy [cm],

$F_{kj}$  – współczynnik wagowy dla każdej stacji danej strefy wysokościowej (dla stacji z 1 strefy zostały wyznaczone poligony Thiessena, dla stacji z 2 i 3 strefy średnia arytmetyczna – tab. 4),

$k$  – ilość stacji danej strefy wysokościowej,

- $j$  – ilość stref wysokościowych.  
dla 3 strefy wysokościowej
- Jedyna stacja znajdująca się w 3 strefie wysokościowej leży znacznie powyżej średniej wysokości tej strefy, z tego powodu należy wyznaczyć współczynnik korekcyjny przez który pomnożone wartości pomierzone na stacji Zieleniec dadzą średnią wysokość pokrywy śnieżnej na średniej wysokości 3 strefy.

Współczynnik korekcyjny  $W$  obliczony został na podstawie gradientu wyznaczonego pomiędzy stacjami Zieleniec i Duszniki (dwie stacje leżące blisko siebie ale na różnych wysokościach i w różnych strefach).

$$S_3 = W \cdot S \quad (7)$$

gdzie:

$S_3$  – średnia wysokość pokrywy śnieżnej dla 3 strefy [cm],

$S$  – wysokość pokrywy śnieżnej dla stacji Zieleniec [cm],

$W$  – współczynnik korekcyjny równy 0,95

## Podsumowanie i wnioski

Do obliczenia średnich strefowych danych wejściowych (opad, temperatura, wysokość pokrywy śnieżnej) do modelu opad-odpływ *ENNS* została zastosowana deterministyczna metoda interpolacji poligonów Thiessena. Przy czym uwzględniono wpływ wysokości położenia poprzez podział zlewni na 3 strefy wysokościowe, dla których następnie obliczono współczynniki Thiessena, dla każdej stacji na skutek czego zlewnia została po-

dzielona na 33 obszary jednorodne meteorologicznie (homogeneous meteorologic response units). Co pozwoliło na znacznie lepsze uwzględnienie lokalnych właściwości interpolowanych wielkości w stosunku do tradycyjnej metody poligonów Thiessena, w której otrzymanoby tylko 11 obszarów jednorodnych meteorologicznie prawdopodobnie z wyraźnie zaniżonym opadem i zawyżoną temperaturą na skutek niekorzystnego przestrzennego rozkładu stacji pomiarowych (większość w obszarze dolinowym).

Alternatywną metodą do wyżej przedstawionej jest zastosowanie interpolacji stochastycznej np. „*Co-Kriging*”, która pozwala uwzględnić lokalne właściwości interpolowanych wielkości przez tak zwany „semi-wariogram” oraz ewentualne występowanie błędu pomiaru (Directional & Nugget Effect). Wadą tej metody jest jednak duża pracochłonność przy wykonaniu obliczeń oraz trudności w prawidłowym wyznaczeniu semi-wariogramu dla tak małej liczby stacji pomiarowych.

## Literatura

- BYCZKOWSKI A. 1996: *Hydrologia*, Tom II, Wydaw. SGGW, Warszawa.
- KĘDZIORA A. 1995: *Podstawy agrometeorologii*. PWRiL, Poznań.
- LECHER K., BRETSCHNEIDER H., SCHMIDT M. 1993: *Taschenbuch der Wasserwirtschaft*. Paul Parey, 7. Auflage, Hamburg.
- MANIAK U. 1988: *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. „Eine Einführung für Ingenieure” Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin
- MEIJERINK A., DE BROUWER H., MANNABERTS CH., VALENZUELA C. 1994: *Introduction to the use of Geographic Information*



*Systems for Practical Hydrology*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), The Netherlands Publication Nr 23.

NACHTNEBEL H.P., LETTL W., BAUMUNG S.

1993: *Abflußprognosemodell für Einzugsgebiet der Enns und der Steyr* (Handbuch), Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.

„<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/README.html>”: GTOPO30 Documentation.

## Summary

**Estimation of rainfall and temperature mean values for the watershed with diversified elevations by the means of GIS technique.** The method for evaluation of input data (rainfall, temperature, snow cover

height) for a conceptual rainfall-runoff model applied for watersheds with change of level is described in this article. Watershed was divided into elevation zones for separate computation of snowmelt and discharge. Average values of meteorological parameters for each zone are required to make computation possible.

Digital elevation model (DEM) was developed for the watershed for elevation zones determination. The Thiessen method was applied for data values interpolation taking into account temperature and rainfall gradients.

### Author's address:

A. MUĆKA

Warsaw Agricultural University – SGGW

02-787 Warszawa

ul. Nowoursynowska 166

Poland

**Jan SZUKALSKI**

Katedra Podstaw Techniki SGGW  
Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej PW  
Department of Fundamental Technical Sciences

**Krzysztof KULICKI**

COBRABID-AQUA

## **Automatyczna stacja głębokiego oczyszczania wody** **Automatical station for water deep purification**

### **Wstęp**

W poprzednich publikacjach omówiono koncepcje, podstawowe procesy i rozwiązania układów oczyszczających wodę (Szukalski i Kulicki 1997) oraz rezultaty prac badawczo-rozwojowych (Szukalski i Kulicki 1997a). Omówiono też budowę oczyszczalników, problemy i rezultaty realizacji technicznej rozwiązań (Szukalski i Kulicki 1997b) oraz badania systemów.

Badania te pozwoliły na wykonanie stacji do głębokiego oczyszczania wody o wymaganych zasadniczych parametrach: wydajność do  $50 \text{ dm}^3/\text{h}$ , oporność właściwa wody –  $16 \text{ M}\Omega/\text{cm}$ ; przewodność właściwa  $0,062 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ , zabezpieczenie stanowisk poboru przed zanieczyszczeniem bakteryjnym lub cząstkami powyżej  $0,2 \text{ }\mu\text{m}$  oraz dostarczanie wody do stanowiska poboru przez układ recyrkulacyjny długości ok. 120 m, przy ciśnieniu w punktach poboru ok.  $0,05 \text{ MPa}$ .

### **Budowa stacji oczyszczania wody**

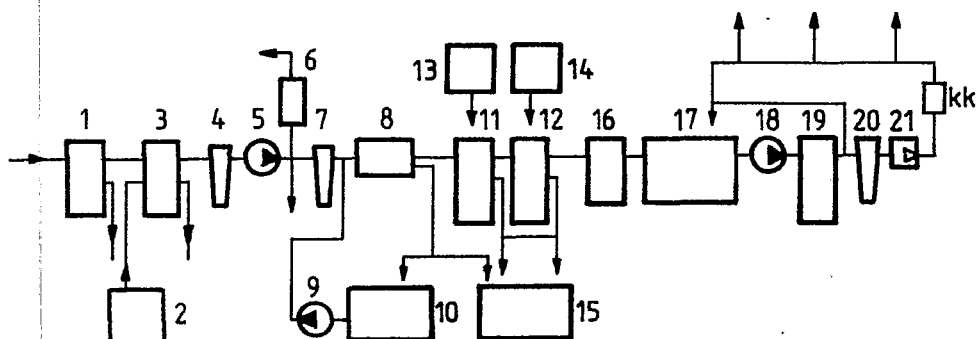
Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy stacji. Stacja składa się z trzech niezależnych zespołów połączonych szeregowo. Są to:

1. Zespół wstępnego uzdatniania wody.
2. Zespół odwróconej osmozy, połączony z dejonizacją wody (układ kationit-anionit i następnie złoża mieszane).
3. System recyrkulacji wody zawierający stopień doczyszczania wody.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat stacji.

### **Zespół wstępnego uzdatniania wody**

Zadaniem zespołu jest uzdatnianie wody następnie kierowanej do dalszych stopni oczyszczania. Składa się z następujących podzespołów:



Rys. 1. Schemat blokowy stacji oczyszczania wody: 1 – odżelaziacz, 2 – zbiornik na solankę, 3 – zmiękcacz, 4 – filtr węglowy, 5 – pompa wysokiego ciśnienia, 6 – zbiornik wyrównawczy, 7 – filtr mechaniczny, 8 – zestaw permeatorów, 9 – pompa regenerująca osmozy, 10 – zbiornik regenerujący osmozy, 11 – złożo kationitowe, 12 – złożo anionitowe, 13 – zbiornik regenerujący HCl, 14 – zbiornik regenerujący NaOH, 15 – zbiornik uśredniający ściek, 16 – złożo mieszane, 17 – zbiornik cyrkulacyjny, 18 – pompa cyrkulacyjna, 19 – złożo mieszane, 20 – filtr, 21 – zawór zwrotny, KK – konduktometr

Fig. 1. Block diagram of the water purifying station: 1 – deironer, 2 – brine reservoir, 3 – softener, 4 – carbon filter, 5 – high tension pump, 6 – levelling reservoir, 7 – mechanical filter, 8 – set of permeators, 9 – regenerating osmosis pump, 10 – regenerating osmosis reservoir, 11 – cationit ledge, 12 – anionit ledge, 13 – regenerating HCl reservoir, 14 – regenerating NaOH reservoir, 15 – averaging sewage reservoir, 16 – mixed ledge, 17 – reservoir for circulation, 18 – circulation pump, 19 – mixed ledge, 20 – filter, 21 – check valve, 22 – flowmeter, 23 – manometers, KK – conductometers

a) odżelaziacza zawierającego substancję Filox-R, której rozwinięta powierzchnia ma dużą liczbę aktywnych centrów manganowych, wychwytyjących jony żelazowe; kolumna odżelaziacza zawiera także węgiel aktywny, który ma za zadanie zatrzymanie chloru często dozowanego do wody miejskiej w nadmiarze;

b) zmiękczacza zawierającego żywicę jonowymienną w postaci sodowej; usuwa on żelazo rozpuszczone w wodzie i twardość ogólną, co zwiększa przebieg międzyregeneracyjny pracy zespołu odwróconej osmozy;

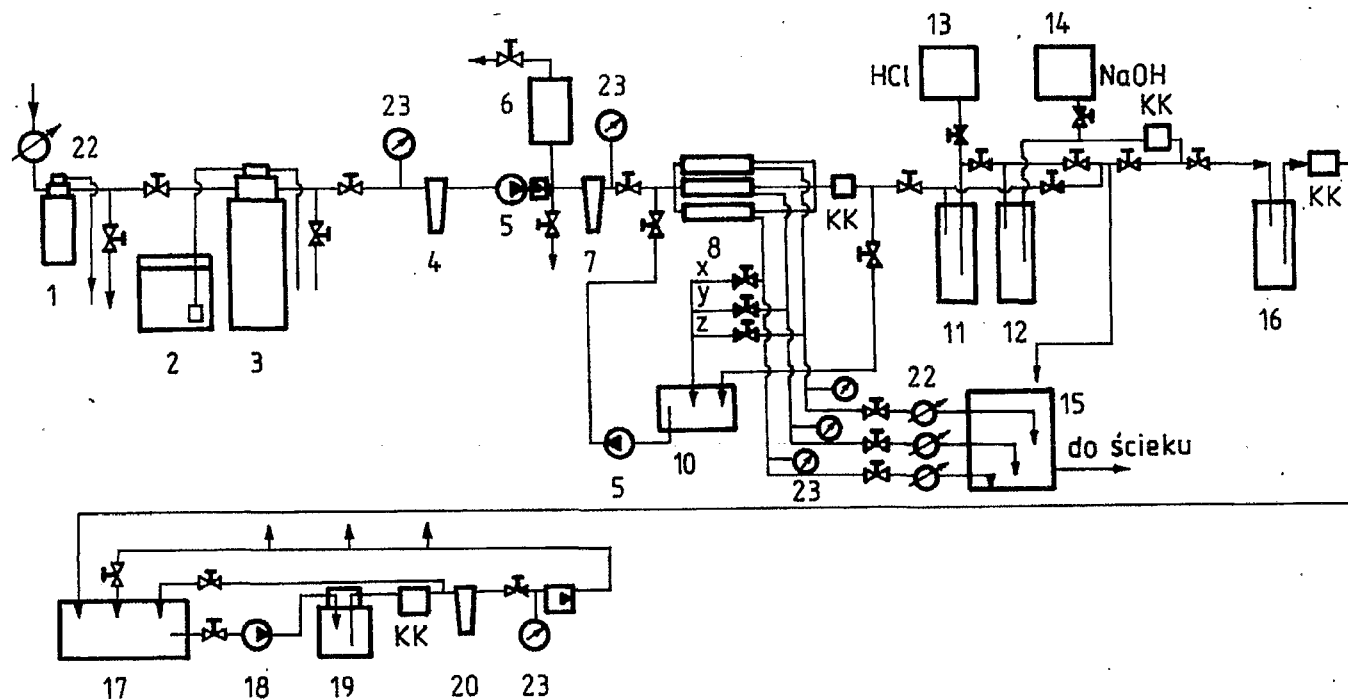
c) filtru węglowego, zawierającego wkład filtracyjny  $5\mu\text{m}$  oraz węgiel aktywny; filtr ten spełnia podwójne zadanie: wychwytyje resztki chloru, które nie zostały zatrzymane w odżelaziaczu oraz kumuluje

na powierzchni filtracyjnej wszystkie cząstki materialne powyżej  $5\mu\text{m}$ .

### Zespół odwróconej osmozy wraz z zespołem dejonizacji

Zespół odwróconej osmozy zawiera pompę wysokiego ciśnienia, zbiornik niwelujący nagły wzrost ciśnienia w momencie załączenia pompy, filtr mechaniczny o nominalne  $5\mu\text{m}$  i trzy moduły odwróconej osmozy (permeatory) połączone równolegle.

Woda po wstępnym uzdatnieniu doprowadzona jest do wejścia ssącego pompy wysokiego ciśnienia. Pompa ta umożliwia uzyskanie ciśnienia powyżej  $0,9\text{ MPa}$ , co jest podstawowym warunkiem prawidłowej pracy zespołu odwróconej osmozy. Dzięki zbiornikowi bufo-



Rys. 2. Stacja oczyszczania wody: 1 – odżelaziacz, 2 – zbiornik na solankę, 3 – zmiękcacz, 4 – filtr węglowy, 5 – pompa wysokiego ciśnienia, 6 – zbiornik wyrównawczy, 7 – filtr mechaniczny, 8 – zestaw permeatorów, 9 – pompa regenerująca osmozy, 10 – zbiornik regenerujący osmozy, 11 – złożo kationitowe, 12 – złożo anionitowe, 13 – zbiornik regenerujący HCl, 14 – zbiornik regenerujący NaOH, 15 – zbiornik uśredniający ściek, 16 – złożo art mieszane, 17 – zbiornik cyrkulacyjny, 18 – pompa cyrkulacyjna (P2), 19 – złożo mieszane, 20 – filtr absolutny 0,2  $\mu\text{m}$ , 21 – zawór zwrotny, 22 – przepływomierz, 23 – manometry

Fig. 2. Water purifying station: 1 – deironer, 2 – brine reservoir, 3 – softener, 4 – carbon filter, 5 – high tension pump, 6 – levelling reservoir, 7 – mechanical filter, 8 – permeators set, 9 – regenerating osmosis pump, 10 – regenerating osmosis reservoir, 11 – kationit ledge, 12 – anionit ledge, 13 – regenerating HCl reservoir, 14 – regenerating NaOH reservoir, 15 – averaging sewage reservoir, 16 – mixed ledge, 17 – reservoir for circulation, 18 – circulation pump (P2), 19 – mixed ledge, 20 – absolute filter, 21 – check valve, 22 – flowmeter, 23 – manometers

rowemu, duży skok ciśnienia przy wyłączeniu pomp jest rozłożony w czasie i nie powoduje uszkodzenia membran permeatorów.

Miedzy pompą a zespołem odwróconej osmozy umieszczony jest filtr mechaniczny o nominale  $5\mu\text{m}$ . Ma on na celu zatrzymanie cząstek materialnych i stanowi niezbędne zabezpieczenie zespołu odwróconej osmozy przed zapchaniem.

Kolejnym elementem jest zespół permeatorów. Przy prawidłowo ustawionym odrzucie daje on wodę o przewodności właściwej od 20 do  $40\mu\text{S/cm}$ , przy zasilaniu wodą miejską mającą przewodność właściwą ok.  $1200\mu\text{S/cm}$ . Woda z zespołu odwróconej osmozy jest podana na I stopień dejonizacji, czyli na zestaw składający się z połączonych szeregowo kolumn kationitowej i anionitowej. Woda oczyszczająca ten stopień dejonizacji (I) powinna mieć przewodność do  $5\mu\text{S/cm}$ . Trafia ona następnie do kolumny zawierającej złożę mieszane składające się z kationitu i anionitu. Woda na wyjściu ze złoża mieszanego (II stopnia dejonizacji) ma przewodność poniżej  $0,1\mu\text{S/cm}$ .

### **Zespół recyrkulacyjny z doczyszczaniem wody**

Zespół składa się ze zbiornika pośredniego, pompy cyrkulacyjnej, kolumny ze złożem mieszanym doczyszczającym i filtru końcowego o nominale  $0,2\mu\text{m}$ .

Układ ten przeznaczony jest do zasilania sieci dystrybucyjnej długości około 120 m (wraz z powrotem) i o różnicy wysokości około 4 m. W wykonanej sieci (w Przemysłowym Centrum Optyki) przewidziano cztery punkty poboru. Zastosowano pompę cyrkulacyjną o wydaj-

ności i wysokości podnoszenia zapewniającej odpowiednie nadciśnienie (przynajmniej  $0,05\text{MPa}$ ) w punktach poboru i szybkość liniową obiegu wody w sieci (około  $2\text{m/s}$ ).

### **Układ zasilania i sterowania pracą stacji**

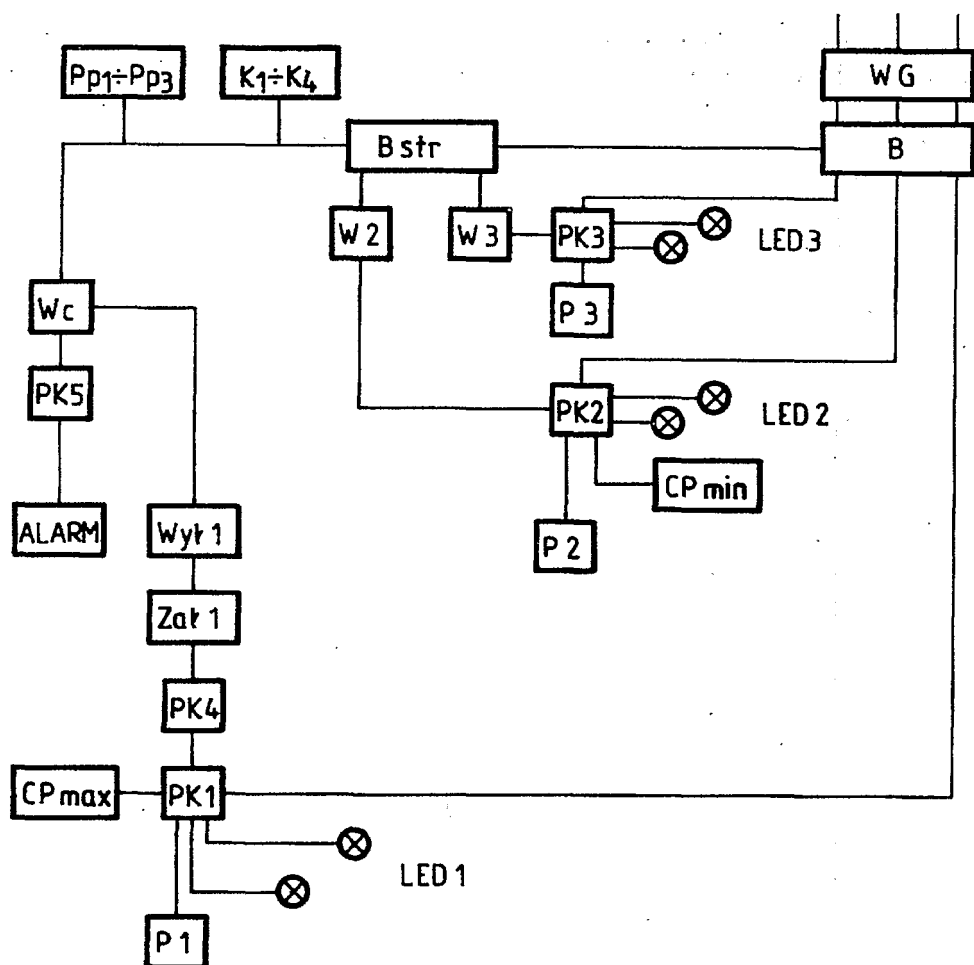
Na rys. 3. przedstawiono blokowy schemat układu elektrycznego stacji.

Po włączeniu głównego włącznika WG włącza się główny układ szafki sterowniczej, z tym że dopiero, jeśli ciśnienie wody w sieci wodnej przekracza założony poziom minimalny ciśnienia (około  $0,15\text{MPa}$ ), załącza się pompa ciśnieniowa P1. Pompa układu cyrkulacji P2 może natomiast funkcjonować niezależnie od ciśnienia wody w sieci zasilającej.

Gdy ciśnienie w sieci będzie zbyt niskie, pompa P1 wyłączy się i automatycznie włączy się dzwonek alarmowy. Pompy P1 i P2 są ponadto sterowane czujnikami poziomów w zbiorniku: pompa P1 wyłączy się przy przekroczeniu poziomu maksymalnego, pompa P2 wyłączy się przy obniżeniu się poziomu poniżej założonego minimum. Pompę P3 włącza się i wyłącza osobnym włącznikiem.

Układ elektryczny zasilą ponadto cztery konduktometry  $K_1-K_4$  i mierniki przepływów ( $P_{p1}-P_{p3}$ ), zainstalowane na odrzutach z permeatorów. Odczyt wskazań mierników przepływu pozwala na ustawienie zaworami żądanej wielkości odrzutów.

Praca stacji przebiega półautomatycznie, gdyż konieczne jest ręczne otwieranie/zamykanie zaworu w trakcie pracy.



Rys. 3. Blokowy schemat układu zasilania i sterowania pracą stacji: WG – główny wyłącznik, B – bezpieczniki zasilania, Bstr – bezpieczniki sterowania, Wc – włącznik ciśnienia, PK1, PK2, PK3, PK4, PK5 – przekaźniki, K<sub>1</sub>–K<sub>4</sub> – konduktometry, W2, W3 – wyłączniki, Wył1, Zał1 – przełączniki niestabilne, P1–P3 – pompy, P<sub>p1</sub>–P<sub>p3</sub> – przepływomierze, LED1, LED2, LED3 – sygnalizacje stanów pracy/wyłączenia, CP min, CP max – czujniki poziomów: minimalnego i maksymalnego

Fig. 3. Block diagram of the supply and control set: WG – main switch, B – fuses of supply, Bstr – fuses of control, WC – tension switch, PK1–PK5 – transmitters, K<sub>1</sub>–K<sub>4</sub> – conductimeters, W2, W3 – circuit breakers, Wył1, Zał1 – nonstable switches, P1–P3 – pumps, P<sub>p1</sub>–P<sub>p3</sub> – flowmeters, LED1, LED2, LED3 – signalisation of work (on/off), CP min, CP max – level detectors

## Regeneracja źródeł

W układzie przewidziana jest okresowa ręczna regeneracja odżelaziacza przez przepłukiwanie zwrotne i regeneracja zmiękczacza solanką. Regeneracja permeatorów roztworem czyszczącym przeprowadzana jest co około 6 miesięcy. Regeneracja wsadów kolumn jonitowych: kationitu i anionitu – roztworami HCl i NaOH, po wyczerpaniu się jonitów. Regeneracja tych kolumn przebiega w układzie, natomiast regeneracja kolumn ze złożem mieszanym – poza układem,

na osobnym stanowisku. Układy filtracyjne są wymienne.

## Badania eksploatacyjne funkcjonowania stacji

W tabeli zebrano reprezentatywne wyniki badań wykonanych podczas eksploatacji stacji. Należy zwrócić uwagę, że ze zbiornika (o objętości 1 m<sup>3</sup>) w układzie recyrkulacyjnym możliwy jest pobór ok. 200 dm<sup>3</sup>/h. W ciągu dwuletniej eksploatacji stwierdzono prawidłowość funkcjonowania stacji i spełnianie przez nią założeń jakościowych wody.

TABELA 1. Wyniki badań eksploatacyjnych stacji  
TABLE 1. Exploitation results

| Podzespół<br>Zespół                                                                | Przewodność właściwa<br>Conductivity<br>[μS/cm] |                                                | Odrzut<br>Sewage<br>[dm <sup>3</sup> /h] | Wydajność<br>Efficiency<br>[dm <sup>3</sup> /h] |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                    | wody wejściowej<br>input water                  | wody oczyszczonej<br>output purifying<br>water |                                          |                                                 |
| Odwrócona osmoza<br>Reverse osmosis                                                | ok. 1200                                        | 50<br>32<br>30                                 | 260<br>275<br>275                        | 60<br>55<br>55                                  |
| Dejonizacja na złożu rozdzielonym - stopień I<br>Dejonisation on separated bed     | 30                                              | do 5 <sup>a</sup>                              |                                          | 55                                              |
| Dejonizacja na złożu mieszanym – stopień II<br>Dejonisation on mixed bed – II step | do 5                                            | do 0,1 <sup>a</sup>                            |                                          | 50                                              |
| Recyrkulacja<br>Recirculation                                                      | do 0,1                                          | do 0,062<br>(16–16,3 MΩ/cm)                    |                                          | 50 <sup>b</sup>                                 |

a – istnieje możliwość poboru wody zarówno po I jak i po II stopniu dejonizacji,  
there is possibility to consume water after I and II step of deionisation as well,

b – średnia wydajność stacji: 50 dm<sup>3</sup>/h; maksymalny pobór wody ze zbiornika 200 dm<sup>3</sup>/h  
average efficiency of the station: 50 dm<sup>3</sup>/h, maximum consumption of water from reservoir 200 dm<sup>3</sup>/h.

## Literatura

- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997: *Podstawowe procesy i rozwiązania oczyszczania wody do celów technologicznych*. Przegl. Nauk. Wyd. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13, Wydaw. SGGW Warszawa, s. 23–34.
- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997a: *Rezultaty prac badawczo-rozwojowych nad oczyszczalnikami wody do celów technologicznych*. Przegl. Nauk. Wyd. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13, Wydaw. SGGW, Warszawa, s. 35–44.
- SZUKALSKI J., KULICKI K. 1997b: *Budowa oczyszczalników o wydajności do 5 m<sup>3</sup>/dobę, przeznaczonych do celów technologicznych oraz problemy i rezultaty realizacji technicznej rozwiązań*. Przegl. Nauk. Wyd. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 13, Wydaw. SGGW, Warszawa, s. 45–52.

## Summary

**Automatical station for deep purification of water.** In the article the function of the Station for water deep purifying is presented. The station was built to the purposes of optoelectronic plants for supply stands manufacturing high performed optoelectronic elements. The Station contains some sets like prepurifying, reversal osmosis, deionisation and getting water thoroughly pure in the recirculation circuit covering 120 m pie supplying protection stands. The main parameters of the Station: efficiency up to 70 dm<sup>3</sup>/h, conductivity up to 0,062 µs/cm.

### Authors' address:

J. Szukalski  
Warsaw Agricultural University SGGW  
02–528 Warszawa  
ul. Rakowiecka 26/30  
K. Kulicki  
COBRABID-AQUA  
02–8342 Warszawa  
ul. Łucka 13



**Jerzy WYSOCKI**

Katedra Geodezji i Fotogrametrii SGGW

Department of Geodesy and Photogrammetry

## **Koncepcja metody „elektronicznego stolika” dla tworzenia in situ numerycznego modelu terenu oraz map warstwicznych**

### **A concept of the method of „electronic table” for generating the in situ digital terrain model and contour maps**

Rzeźba terenu jest jednym z głównych elementów systemów informacji przestrzennej dla inżynierii środowiska. Przy realizacji prac, np. w zakresie budowy zbiorników retencyjnych, dróg (autostrad) wodociągów wiejskich, sieci melioracyjnych konieczne jest dostarczenie projektantowi informacji o ukształtowaniu terenu. Mapy warstwiczne potrzebne dla „ideowego” opracowania projektu technicznego coraz częściej są wzbogacane o zapisany na elektronicznych nośnikach numeryczny model terenu (NMT-DTM) wykorzystywany w procesie projektowania szczegółowego (Gaździcki 1975, Wysocki 1981, 1995, 1997). Poprawność utworzenia takiego modelu i aproksymacji powierzchni terenu za pomocą linii warstwicznych ma dla zagadnień projektowych zasadnicze znaczenie.

Metodę tę zaproponowano w wyniku badań prowadzonych w zakresie analo-

gowych i komputerowych metod opracowań warstwicznych dla map wielkoskalowych (Wysocki 1987). Tachimetryczna metoda opracowania mapy warstwicznej powoduje rozdzielenie procesu pomiaru punktowego od procesu aproksymacji powierzchni terenu za pomocą NMT oraz linii warstwicznych. Tylko wyobraźnia i doświadczenie geodety prowadzącego pomiar decyduje w tym wypadku o poprawności procesu aproksymacji (Wysocki 1997). W związku z tym proponuję zobiektywizowanie tego procesu metodą ruchomego stolika, realizowaną za pomocą komputera typu „laptop” czy „penpad”, przez połączenie procesu pomiaru NMT z procesem aproksymacji powierzchni terenu za pomocą linii warstwicznych. Realizacja tej koncepcji będzie dokonywana przez specjalny program komputerowy wprowadzony do pamięci przenośnego komputera.

Opracowujący posługujący się tym programem będzie decydował o wyborze punktów NMT, kierując się poprawnością przedstawienia morfologii terenu na podstawie opracowywanych in situ linii warstwicznych. Określane przy użyciu tachimetru elektronicznego współrzędne punktów NMT będą zdalnie rejestrowane do pamięci „ruchomego” komputera i posłużą do opracowania warstwic. Zarejestrowane punkty numerycznego modelu terenu mogą być bezpośrednio wprowadzone do systemu informacji przestrzennej (SIT-GIS).

Proponowana metoda przyczyni się do ograniczenia wpływu różnego rodzaju błędów na poprawność wyboru i pomiaru punktów NMT, co dla zagadnień projektowania technicznego może mieć zasadnicze znaczenie. Podniesie efektywność opracowań przez zautomatyzowanie procesu opracowania mapy numerycznej w terenie oraz możliwość bezpośredniego włączenia danych do systemów informacji przestrzennej (SIT-GIS). Badania i analizy nad proponowaną metodą przyczynią się do poszerzenia wiedzy naukowej w zakresie metod aproksymacji powierzchni terenu dla potrzeb inżynierskich.

Przeprowadzenie badań nad proponowaną metodą wymaga korzystania z drogiego jeszcze, specjalistycznego sprzętu pomiarowego i komputerowego. Dlatego autor pozwolił sobie na zgłoszenie proponowanego tematu do realizacji w ramach prac badawczych KBN.

## Literatura

- GAŹDZICKI J. 1975: *Informatyka w geodezji i kartografii*. PPWK, Warszawa.
- WYSOCKI J. 1981: *Comparative analysis of chosen methods of testing contour lines*. Ann. Wars. Agricult. Univ. – SGGW, Land Reclam. 19, Warszawa.
- WYSOCKI J. 1987: *Problemy dokładności nowoczesnych technik opracowania wielkoskalowych map warstwicznych pod kątem potrzeb wodnomelioracyjnych*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- WYSOCKI J. 1995: *Geodezja z fotogrametrią*. Wydaw. IV, Wydaw. SGGW, Warszawa.
- WYSOCKI J. 1997: *On the approximation of the area surface in the computerised methods of working out contour lines*. Ann. Wars. Agricult. Univ. – SGGW, Land Reclam. 28, Warszawa.

## Summary

**A concept of the method of „electronic table” for generating the in situ digital terrain model and contour maps.** A concept of the method of „electronic table” for generating the in situ digital terrain model and contour maps, has been presented.

### Author's address:

J. Wysocki  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warsaw  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

**Wojciech WICHER, Jarosław CHORMAŃSKI, Stefan IGNAR,  
Ignacy KARDEL**

Katedra Budownictwa Wodnego  
Department of Hydraulic Structures

## **Zastosowanie pakietu Idrisi do wyznaczania stref potencjalnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych Idrisi Package application for determination of potential zones of surface water pollution risk**

Na otaczający nas świat realny składają się elementy materii ożywionej i nieożywionej, pozostające we wzajemnych relacjach przestrzennych i czasowych. Człowiek, będąc częścią tego świata, interesuje się aktualnym stanem, położeniem przestrzennym, relacjami wzajemnymi wszystkich otaczających go obiektów. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym potrzebujemy coraz więcej informacji. Skupiając się na problematyce ochrony środowiska będą to, przykładowo, informacje o stanie ilościowym i jakościowym zasobów naturalnych, stopniu zdegradowania środowiska, antropogenicznych czynnikach degradujących środowisko (Ignar 1994).

Wszelkie informacje gromadzimy w postaci danych, które wymagają odpowiedniego systemu pozwalającego na ich przechowywanie, zarządzanie i analizę. Szczególnym rodzajem są dane o środowisku, które oprócz cech ilościowych i jakościowych charakteryzują się położe-

niem w przestrzeni. Do przetwarzania tego typu danych służą systemy informacji geograficznej (ang. Geographical Information System – GIS). Główne funkcje jakie spełnia podstawowy program GIS to wprowadzanie, przechowywanie, zarządzanie, analizowanie oraz graficzne przedstawianie danych geograficznych przy użyciu nowoczesnych technik komputerowych. Mianem „dane geograficzne” określa się informacje o położeniu, własnościach i przestrzennych relacjach obiektów (sztucznych i naturalnych) oraz zjawisk (przyrodniczych, społecznych i ekonomicznych). Informacje są gromadzone i przechowywane w bazach danych stanowiących integralną część systemu GIS lub w zewnętrznych bazach danych pozostających w relacji z GIS. Dane geograficzne można podzielić na dwie grupy: dane przestrzenne, które cechuje lokalizacja, oraz opisujące je atrybuty lub dane tematyczne (np. rzeka jest obiektem mającym lokalizację w prze-

strzeni, któremu można przypisać cechy atrybutowe, takie jak: nazwa rzeki, województwa, przez które płynie, przepływ, zawartość zanieczyszczeń). Dane przestrzenne w systemie GIS mogą być organizowane w wektorowy lub rastrowy model danych. Wektorowy model danych zakłada, że każdy obiekt przestrzenny stanowi samodzielną całość, którego istotną cechą jest położenie przestrzenne oraz typ obiektu (punkt, linia, poligon). W modelu rastrowym na obraz nakładana jest siatka wieloboków – najczęściej w postaci regularnej siatki kwadratów. Każdemu elementowi siatki (kwadratowi) przypisywana jest wartość liczbową odpowiadająca rodzajowi obiektu znajdującego się w danym kwadracie.

Poza bazami danych na System Informacji Geograficznej składa się kilka dodatkowych elementów. Po pierwsze sprzęt. Są to komputery o dużej mocy obliczeniowej, monitory o wysokiej rozdzielczości, urządzenia peryferyjne do wprowadzania i wizualizacji danych (skanery, plotery). Sprzęt taki wymaga odpowiedniego oprogramowania. Są to bardzo zaawansowane systemy do gromadzenia i przetwarzania danych oraz odpowiednio zaprojektowane języki programowania wyższego rzędu. Dzięki takim programom i językom programowania można realizować konkretne algorytmy i stosować wybrane metody projektowania bazy danych. Bardzo często jako element systemu wymieniani są ludzie. To oni tworzą ten system i korzystają potem z jego produktów przy podejmowaniu decyzji (Kistowski i Iwańska 1997).

Proces realizacji danego projektu z udziałem GIS jest skomplikowany i składa się z kilku etapów. Etapem wstępnym jest pozyskiwanie danych, etapem właściwym – przestrzenna analiza danych, etap końcowy to wizualizacja i przedstawianie wyników.

Wielki rozwój GIS w ostatnich latach jest niewątpliwie spowodowany jego ogromną użytecznością. Znajduje on zastosowanie we wszystkich dziedzinach działalności człowieka, które związane są z przestrzenią geograficzną i które wykorzystują dane o niej. Poza ochroną środowiska, geodezją, geologią, inżynierią lądową i wodną, gospodarką wodną należy wymienić administrację i zarządzanie, statystykę, bankowość, transport i łączność, obronność kraju, ratownictwo itd.

W niniejszym artykule skupiono się na zastosowaniu GIS w ochronie środowiska. Takiemu zastosowaniu sprzyja przede wszystkim możliwość modelowania zjawisk przyrodniczych oraz integracji danych różnego typu – mapowego i tabelarycznego. Projekty badawcze dotyczące środowiska naturalnego wspomagane GIS mają najczęściej charakter systematyzująco-oceniający i analityczny (Kistowski i Iwańska 1997). W pierwszym przypadku chodzi o gromadzenie danych o środowisku naturalnym i ich odtwarzaniu w dowolnym układzie i postaci oraz o ocenę stanu zasobów naturalnych i kondycji środowiska naturalnego w różnych jej aspektach. W drugim przypadku projekty mają na celu badanie stanu środowiska przyrodniczego w różnych okresach: w przeszłości, monitoringu stanu aktualnego oraz badania i ana-

lize symulacyjne w odniesieniu do zjawisk w przyszłości.

Aby posłużyć się konkretnymi przykładami zastosowania GIS w ochronie środowiska, należy przede wszystkim wymienić:

- kontrolę i analizę wpływu nawożenia gleb na pobliskie wody powierzchniowe,
- kontrolę jakości powietrza poprzez badania składu powietrza i dynamiki jego zmian,
- kontrolę źródeł emisji pyłów i prognozowania ich rozprzestrzeniania się,
- analizę danych o populacji, terenie, glebach, klimacie, źródłach zanieczyszczeń w odniesieniu do jakości wód powierzchniowych i podziemnych,
- modelowanie rozprzestrzeniania się chorób drzewostanów,
- zarządzanie i planowanie utylizacji odpadów analitycznych (Kistowski i Iwańska 1997).

Jednym z wyżej wymienionych zastosowań jest analiza wpływu zanieczyszczeń na wody powierzchniowe. W dalszej części artykułu ten poświęcono zagadnieniom związanym z takim właśnie zastosowaniem GIS.

Obszar poddany analizie znajduje się w basenie środkowej Biebrzy. Jest to teren ograniczony od południowego-wschodu wsią Osowiec, dalej – Kopytków, Kolonia Kapice oraz połączeniem Kanału Rudzkiego z rzeką Elk. Od północy teren ten ograniczony jest miejscowością Grajewo. Od strony zachodniej granica przechodzi przez miejscowość Ruda, na zachód od wsi Łojki, dalej na wschód od wsi Lipiń-

skie, następnie wzdłuż linii kolejowej z Grajewa na południe w kierunku Białegostoku.

Rozpatrując ten obszar pod względem źródeł zanieczyszczenia wód powierzchniowych, można wyróżnić kilka potencjalnych zagrożeń. Na jego terenie znajdują się punktowe źródła zanieczyszczeń: średnie i małe miejscowości, które mają niewątpliwie negatywny wpływ na jakość wód. Obecna jest także sieć dróg. Stanowią one liniowe źródło zanieczyszczeń. Zanieczyszczenia spowodowane natężeniem ruchu to głównie zanieczyszczenia powietrza związane z emisją spalin. Zanieczyszczenia te mogą opadać na powierzchnię wody, mogą być wypłukiwane z powietrza przez opady, czy też dostawać się z wodą opadową do gleby, a stamtąd do wód. Badany teren nie jest intensywnie wykorzystywany rolniczo. Rolnicze zanieczyszczenia obszarowe zostały w analizie pominięte.

Realizacja projektu przebiegała dwuetapowo. Etap pierwszy – wstępny polegał na wprowadzeniu danych przy użyciu programu ARC/INFO. Dane pozyskano na drodze digitalizacji manualnej przy użyciu digimetru i stołu digitizera. Źródłem danych była mapa topograficzna w skali 1 : 25 000. W wyniku digitalizacji powstały następujące warstwy tematyczne: cieki wodne, drogi, zabudowa, granice zlewni cząstkowej, lasy. Dokonano konwersji plików z formatu ARC/INFO do formatu Idrisi oraz przetworzono pliki danych z postaci wektorowej na postać rastrową. Etap drugi – analiza danych miała na celu pokazanie miejsc, w których wody powierzchniowe ulegają zanieczyszczeniu. W realizacji

tego etapu posłużono się pakietem Idrisi for Windows. Jest to program rastrowy GIS. Opracowany został na Uniwersytecie Clark w USA. Jest on szczególnie przydatny w dydaktyce oraz w badaniach przyrodniczych. Wiąże się to z prostotą rozwiązań oraz dużymi możliwościami zastosowania różnorodnych funkcji analizy matematycznej (Estman 1997). Program Windows, dzięki pracy w środowisku, jest wyposażony w bardzo wygodny interfejs użytkownika. Etap analizy matematycznej wprowadzonych danych polegał na zastosowaniu procedur integracji danych przestrzennych oraz analiz z grupy sąsiedztwa, odległości i powiązań.

Integracja danych przestrzennych to najczęściej nakładanie map. Wykonuje się je, aby po nałożeniu na siebie kilku warstw tematycznych otrzymać nową wynikową warstwę. Operacja taka była kiedyś możliwa jedynie dzięki mapom na foliach bądź przy użyciu stołu podświetlanego. W systemach GIS jest to podstawowa operacja. Nakładane mogą być na siebie mapy wektorowe lub mapy rastrowe, czy też mapy wektorowe na rastrowe i odwrotnie. W przypadku nakładania dwóch map rastrowych o identycznej wielkości komórki rastra, operacja jest prostym działaniem algebraicznym. Wartości komórek mapy wynikowej są sumą, różnicą lub wynikiem przeprowadzenia innej operacji algebraicznej.

Analiza sąsiedztwa, odległości i powiązań sprowadza się do: pomiaru obiektów przestrzennych, analizy sąsiedztwa oraz wyznaczania stref otaczających. Jedną z procedur grupy analiz sąsiedztwa i odległości jest buforowanie – czyli wyznaczanie stref otaczających punkty, li-

nie lub obiekty. Generowanie buforów to funkcja mająca na celu wyznaczenie obszaru znajdującego się w określonym promieniu odległości wokół obiektów przestrzennych. W obrazie rastrowym jest to łączenie pikseli o określonej odległości od innych pikseli reprezentujących jakiś obiekt. Za ich pomocą określane są strefy oddziaływania obiektów, np. zasięg strefy zagrożonej hałasem wzdłuż planowanej autostrady lub zasięg oddziaływania źródeł emisji.

Stworzono mapy ekwidystantów, czyli równych odległości od dróg i cieków, a następnie przez reklasyfikację utworzono bufor określonej szerokości. W wyniku tej operacji powstały wynikowe mapy buforów na drogach i na ciekach.

Mapa buforów na drogach pokazywać ma zasięg wpływu zanieczyszczeń komunikacyjnych na tereny przyległe do dróg. Nałożenie buforów na sieć cieków miała na celu wydzielenie stref ochronnych. Idea stref ochronnych polega na tym, że wyznacza się wzdłuż cieku taki bufor, w zasięgu którego każde zanieczyszczenie stanowi szczególne zagrożenie dla czystości wody. Cieki podzielono na trzy klasy, którym nadano znaczenie w zależności od wielkości. Rzeką Ełk oraz Kanał Rudzki to cieki o największej wadze. Kanał Łęg oraz większe rowy zbiorcze otrzymały średnią wagę, zaś rowy melioracyjne to cieki o wadze najmniejszej. Podyktowane jest to faktem, że im większy cieki, tym większe szkody środowiskowe pociąga za sobą jego zanieczyszczenie. Na cieki największe (rz. Ełk, Kanał Rudzki) nałożono bufor równy 120 metrów, na cieki średnie (Kanał Łęg;

większe rowy zbiorcze) – bufor 60 metrów, natomiast na małe (rowy melioracyjne) – bufor 40 metrów. Wielkości buforów na drogach przyjęto za Briggs i Collins (1994).

Opisane wyżej mapy to warstwy tematyczne, które posłużyły do analizy, w wyniku której wyznaczono strefy potencjalnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Dokonano integracji danych z tych map, nakładając na siebie odpowiednie warstwy tematyczne. Powstały w ten sposób następujące mapy:

- mapa lokalizacji miejsc potencjalnie zagrożonych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych spalinami z dróg,
- mapa lokalizacji miejsc potencjalnie zagrożonych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ściekami z osiedli ludzkich,
- mapa lokalizacji miejsc o złagodzonym oddziaływaniu emisji spalin dzięki ochronie naturalnej lasów,
- mapa lokalizacji stref złagodzonego oddziaływania zanieczyszczeń na ciekach wodne dzięki ochronie naturalnej lasów.

Mapa lokalizacji miejsc potencjalnie zagrożonych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych spalinami z dróg powstała po nałożeniu na warstwę tematyczną stref zagrożenia przez emisję spalin mapy sieci cieków. Powstała mapa (rys. 1), pozwala zlokalizować odcinki cieków wodnych, pozostających pod wpływem zanieczyszczeń z dróg. Są to zanieczyszczenia, które dostają się do wód przez osiadanie pyłów na powierzchni wody. Zanieczyszczenia również osiadają na podłożu i podczas opadu wraz ze spły-

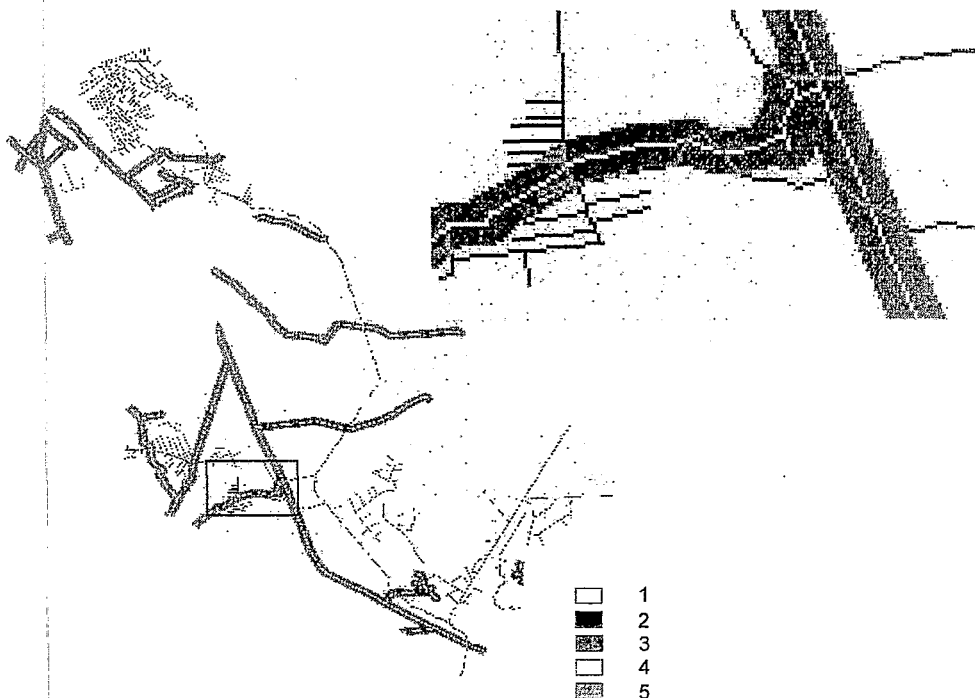
wem powierzchniowym lub podpowierzchniowym dostają się do wód płynących.

Mapa lokalizacji miejsc potencjalnie zagrożonych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ściekami z osiedli ludzkich powstała w wyniku nałożenia na mapę stref ochronnych (buforów) wzdłuż cieków mapy granic terenów zabudowanych (rys. 2). Należy sądzić, iż negatywny wpływ osiedli ludzkich na ciek jest tym większy, im bliżej cieku się one znajdują, natomiast największy, gdy leżą one w zasięgu buforów ochronnych rzeki.

Mapa lokalizacji miejsc o złagodzonym oddziaływaniu emisji spalin, dzięki ochronie naturalnej lasów, powstała przez nałożenie na strefy buforowe dróg powierzchni zalesionych. Założono, że lasy stanowią ochronę przed zanieczyszczeniami spalinami dzięki temu, że same absorbują dużą ich część, a zatem powstała mapa miejsc, gdzie należy spodziewać się mniejszej intensywności zanieczyszczeń.

Mapa lokalizacji stref złagodzonego oddziaływania zanieczyszczeń na ciekach wodne, dzięki ochronie naturalnej lasów, powstała przez nałożenie mapy opisanej powyżej, czyli miejsc o złagodzonej emisji zanieczyszczeń z dróg, na mapę stref ochronnych (buforów) wzdłuż cieków. Sprawdzono dzięki temu, czy lasy rzeczywiście mają wpływ ograniczający na zanieczyszczanie wód. Stwierdzono niewielki wpływ tego typu.

Zastosowanie GIS umożliwiło wykonanie cyfrowej bazy danych środowiskowych. Dalsza analiza wprowadzonych danych przestrzennych pozwoliła na wyznaczenie stref potencjalnego zanieczyszczenia wód powierzchni-



Rys. 1. Mapa powstała przez nałożenie mapy rzek na mapę buforów na drogach: 1 – badany obszar, 2 – ciek, 3 – bufory na drogach, 4 – drogi, 5 – odcinki cieków zagrożone przez emisje

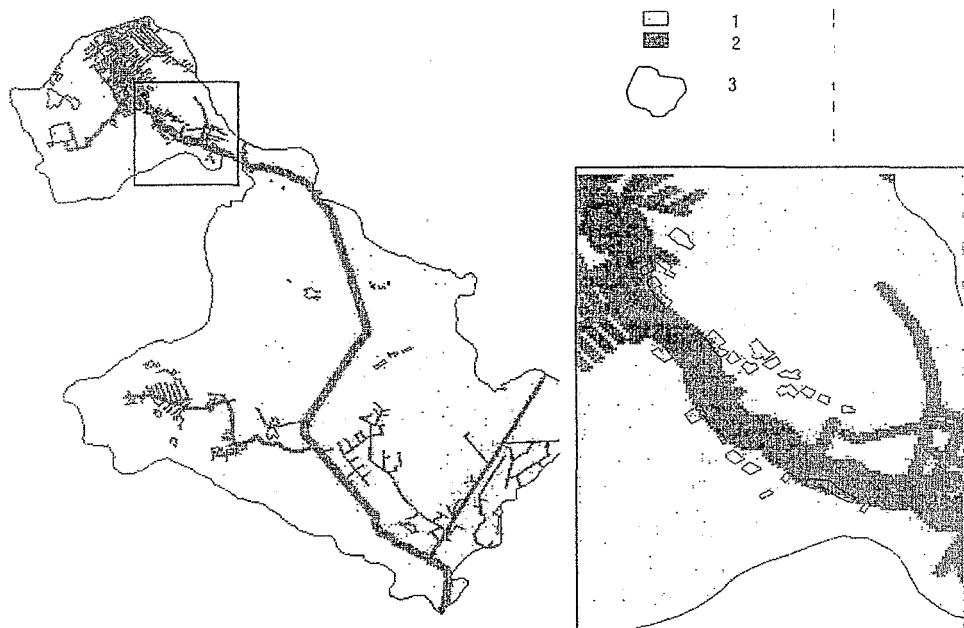
Fig. 1. A result map created by overlaying the river network layer on the map of buffers along transportation network: 1 – zone of research, 2 – river network, 3 – buffers along transportation network, 4 – transportation networks, 5 – sectors of river network stayed under influence of pollution from linear sources

wych ze źródeł punktowych i liniowych. Wykonana cyfrowa baza danych ułatwia gospodarowanie wodą na badanym obszarze oraz monitorowanie jego wpływu na środowisko.

## Literatura

- BRIGGS D. J., COLLINS S. 1994: *Mapping Exposure to Road Traffic Pollution Using GIS* (W:) *GIS in Ecological Studies & Environmental Management*. Red. M. Baranowski i M. Machinko-Nagrabecka, GRID, Warszawa.
- ESTMAN J.R. 1997: *Idrisi for Windows version 2.0. User's Guide*. Idrisi Production, Clark University, Worcester.
- IGNAR S. 1994: *Geograficzny System Informacyjny i jego zastosowanie w inżynierii środowiska*. Przeg. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z. 5. Warszawa.
- KISTOWSKI M., IWAŃSKA M. 1997: *Systemy Informacji Geograficznej*. Bogucki, Wydaw. Nauk. Poznań.
- WICHER W. 1997: *Geograficzne systemy informacyjne oraz ich zastosowanie w ochronie środowiska na przykładzie wyznaczania stref potencjalnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych*. Praca inżynierska, wykonana w Katedrze Budownictwa Wodnego SGGW, Warszawa.





Rys. 2. Mapa powstała przez nałożenie mapy granic zabudowy na mapę buforów na ciekach: 1 – badany obszar, 2 – bufory na ciekach, 3 – granice zabudowy

Fig. 2. A result map created by overlaying the towns layer on the map of buffers along the river network: 1 – investigated area, 2 – buffers along the river network, 3 – towns borders

## Summary

**Idrisi Package application for determination of potential zones of surface water pollution risk.** Geographical Information System was used to develop digital database of Middle Biebrza Basin. In the first step five thematic layers were digitised from topographic maps in scale of 1:25000 using ARC/INFO software: river network layer, transportation network layer, forests layer and towns layer. Database was converted to raster IDRISI format and analysed in that package. The database layers were processed using overlay and buffer operations. Zones of

potential risk of surface water pollution from point sources and linear sources were determined as the results of GIS processing. Application of GIS allowed for creating digital database on the environment. This database will be helpful in future water management and monitoring of its influence on the environment.

### Authors' address:

W. Wicher, J. Chormański, S. Ignar, I. Kardel  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warsaw  
ul. Nowoursynowska 166  
Poland

## **Zastosowanie metody przemywania do oczyszczania gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi** **Application of washing process for remediation of petroleum contaminated soils**

### **Wstęp**

Najważniejszym kierunkiem realizowanej obecnie polityki proekologicznej jest zapobieganie zanieczyszczaniu środowiska oraz stopniowa likwidacja skutków istniejących zanieczyszczeń, w tym skażenia gruntów i wód podziemnych substancjami ropopochodnymi. Substancje te wymagają szczególnej uwagi ze względu na powszechność występowania, a także szybki w ostatnim okresie wzrost zagrożenia, wynikający z rozwoju motoryzacji pociągającej za sobą zwiększenie liczby obiektów dystrybucyjnych i magazynowania paliw. Wiele zakładów przemysłowych wykorzystuje w swych technologiach różnorodne odmiany paliw i olejów. W przypadku awarii systemów technologicznych lub nieprawidłowego sposobu składowania produktów może dochodzić do zatruwania ośrodka gruntowego. Dążenie do likwidacji skutków zanieczyszczeń spowodowało rozwój technik mających na celu usunięcie substancji ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego. Likwi-

dacja ta jest na ogół trudna i kosztowna, często długoletnie prace nie przynoszą spodziewanych efektów. W artykule przedstawione są mechanizmy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ropopochodnych oraz metody oczyszczania gruntu, traktowane na świecie jako sprawdzone i powszechnie stosowane. Prowadzone są również badania sprawdzające efektywność metody przemywania. Artykuł został przygotowany w ramach pracy magisterskiej, wykonywanej w Katedrze Geotechniki SGGW.

### **Mechanizm rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń**

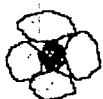
Substancje ropopochodne powstające w wyniku rafinacji ropy naftowej dzielą się na następujące grupy: benzyny, destylaty cięższe, takie jak: oleje napędowe, nafty, nafty lotnicze i lżejsze oleje opałowe oraz cięższe oleje opałowe i oleje silnikowe (Adamek i in. 1994). Substancje ropopochodne są złożoną mie-

szaniną związków organicznych, głównie węglowodorów, które zawierają atomy wodoru i węgla w stosunku 1,85 : 1, czasami azotu, tlenu i siarki. Mają zdolność do zmiany stanu przechodzenia z jednej fazy w drugą, np.: z płynnej w gazową, a także do migracji.

Po wycieku produkt ropopochodny przedostaje się przez strefę aeracji do warstwy wodonośnej, ulegając po części adsorpcji na ziarnach gruntu, po części zaś infiltrując aż do osiągnięcia poziomu wód podziemnych. W środowisku podziemnym produkty mogą występować w trzech fazach: lotnej, ciekłej (rozpuszczone w wodzie lub nie mieszające się z wodą) i stałej (zaadsorbowane przez grunt). Formy występowania produktów ropopochodnych w środowisku podziemnym przedstawia rysunek 1.

Stan fizyczny, w jakim produkty ropopochodne występują w środowisku gruntowo-wodnym, odgrywa istotną rolę, wpływa bowiem zarówno na migra-

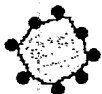
cję, jak również na możliwości oczyszczania. Rozkład ilościowy zależy od typu produktów i od warunków geologiczno-hydrogeologicznych w miejscu skażenia. Większość substancji ropopochodnych występuje w środowisku gruntowo-wodnym jako produkty lotne, zaadsorbowane przez grunt lub jako nie mieszające się z wodą – pływające na powierzchni zwierciadła wody podziemnej. Produkty ropopochodne rozpuszczone w wodzie, mimo niewielkiej zawartości, nawet poniżej 10 p.p.m., mogą stanowić zagrożenie dla całej warstwy wodonośnej, z uwagi na ich rozprzestrzenianie się wraz z wodą. Ruch produktów ropopochodnych w strefie aeracji regulują podobne czynniki, jak w przypadku infiltracji wody, tj. siły grawitacji, napięcie powierzchniowe i kapilarność. W strefie saturacji wzrasta ruchliwość produktów w kierunku poziomym, prowadząc do rozszerzenia się plamy zanieczyszczenia (Malina i Szczepański, 1994, rys. 2).



między ziarnami gruntu  
*between soil particles*



jako błona wokół ziarna  
*like a membrane around the particle*



zaadsorbowane na ziarnie gruntu  
*adsorbed on the soil particle*

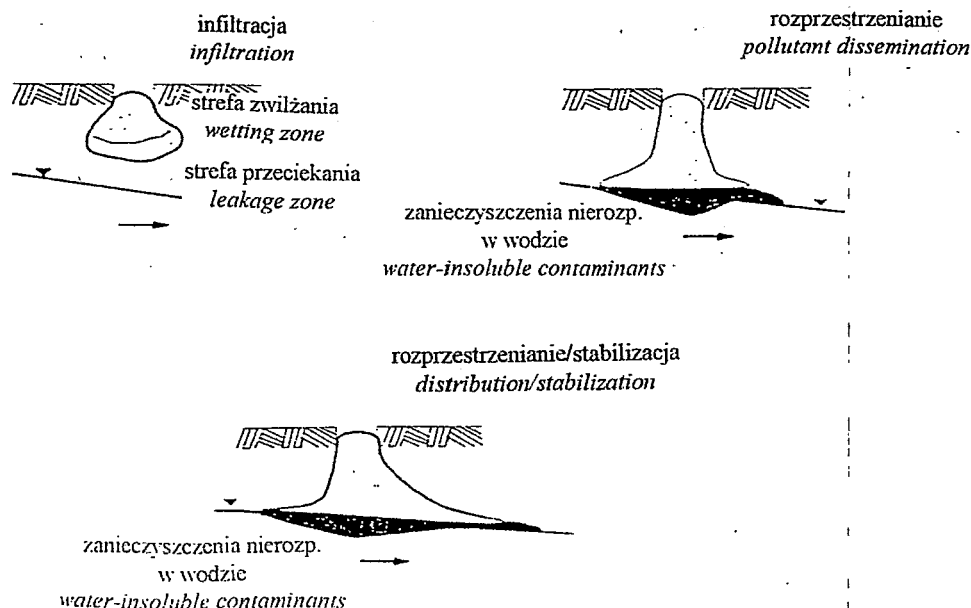


zaadsorbowane przez grunt  
*adsorbed in soil*



w szczelinach i porach ziarna gruntu  
*in cracks and porous media of soil*

Rys. 1. Formy występowania zanieczyszczeń w gruncie  
Fig. 1. The forms of contaminants in soil



Rys. 2. Transport zanieczyszczeń w ośrodku gruntowo-wodnym  
Fig. 2. The mobility of contaminants in soil and groundwater medium

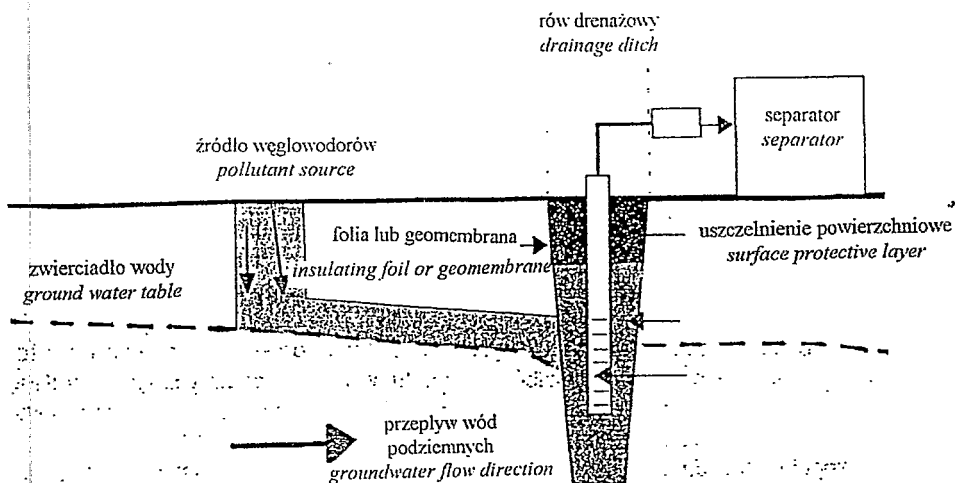
## Analiza metod oczyszczania gruntu

Ogólne postępowanie ze skażonym gruntem obejmuje unieruchomienie zanieczyszczeń przez zastosowanie barier izolacyjnych (fizycznych i hydraulicznych), technik stabilizacji oraz likwidację zanieczyszczeń, czyli dekontaminację opartą na generalnej strategii walki z substancjami zanieczyszczającymi. Oczyszczanie właściwe można przeprowadzić bez potrzeby wybierania skażonego gruntu, czyli na miejscu stosując tzw. metody *in situ* lub przez wydobywanie gruntu i jego oczyszczenie specjalnymi technikami – metody *ex situ* (Malina i Szczepański 1994).

Do oczyszczania gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi

mi stosowane są następujące metody: pompowanie, przemywanie, metoda rolnicza, kompostowanie, wentylacja, bio-wentylacja oraz napowietrzanie wód podziemnych. Podstawową metodą usuwania wolnego produktu z gruntu i wód podziemnych jest pompowanie w otworach studziennych, czyli usuwanie zanieczyszczonej wody. Studnie można zainstalować w rowie drenażowym wypełnionym materiałem filtracyjnym, wykopanym na co najmniej 1 m poniżej poziomu lustra wody. Typowy dren przedstawiony jest na rysunku 3.

Pompowanie w otworach studziennych można wykonać korzystając ze skimerów grawitacyjnych lub selektywnych, z systemu dwupompowego (pompowanie oddzielne wody i produktu), pompowania wody z produktem przy uży-



Rys. 3. Przekrój rowu drenażowego  
Fig. 3. The cross-section of drainage ditch

ciu jednej pompy z oddzieleniem faz na powierzchni (Adamek i in. 1994a).

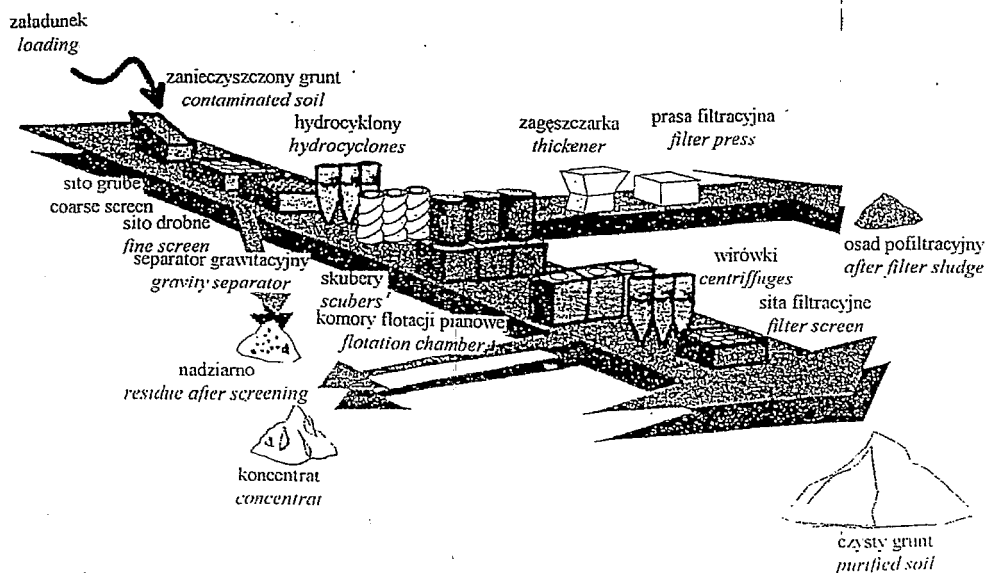
Prze my wa nie gruntu polega na przeniesieniu zanieczyszczeń z gruntu do cieczy przemawiającej. Ciecze, tj. alkalia, rozpuszczalniki, preparaty powierzchniowo czynne, woda itp. mogą być wstrzykiwane w głąb gruntu (in situ) lub mieszane ze skażonym uprzednio wydobytym gruntem (ex situ) (Grubb i Sitar 1994). Schemat instalacji przemawiającej przedstawia rysunek 4.

Najprostsza metoda tzw. rolnicza polega na rozłożeniu zanieczyszczonego gruntu cienką warstwą (o miąższości do 0,5 m), a następnie okresowym jej napowietrzaniu poprzez głębokie bronowanie lub przeorywanie. W przypadku gruntów o dużej toksyczności, bądź konieczności przechwytywania odcieków, zanieczyszczony grunt umieszcza się w płytkich

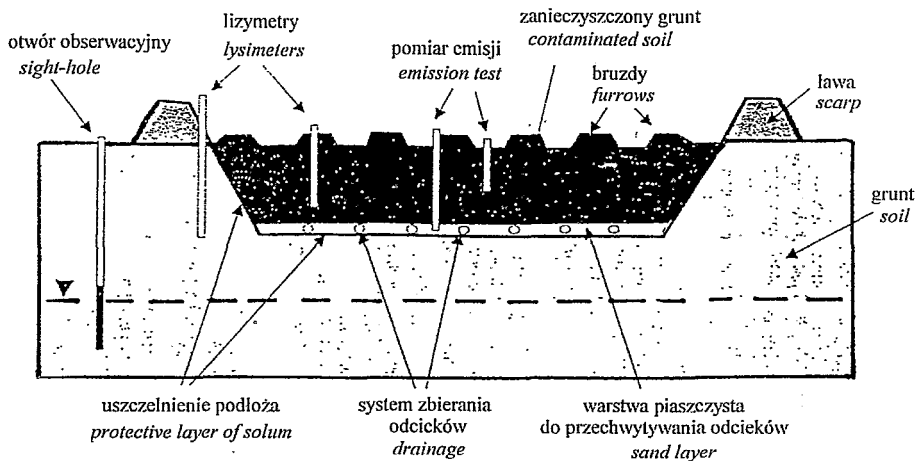
wykopach zabezpieczonych geomembraną. Przekrój przez poletko rekultywacyjne przedstawia rysunek 5 (Adamek i in. 1995)

K o m p o s t o w a n i e zbliżone jest do metody rolniczej, z tą różnicą, że grunt jest napowietrzany nie przez przeorywanie bądź bronowanie, ale przez system perforowanych rur umieszczonych wewnątrz przyzmy. Odmianą kompostowania jest technologia „Cum Bac®” opracowana przez holenderską firmę Heidemij NV.

Technologia ta (nazywana stymulowaną metodą rolniczą) polega na umieszczeniu zanieczyszczonego gruntu w płytkim wykopie uzbrojonym w system drenażowy i rury napowietrzające. Wydłużona przyzma przykryta jest tunelem foliowym, wyposażonym w system spryskiwaczy, którymi doprowadzana jest woda i substancje odżywcze. W podłożu



Rys. 4. Schemat metody przemycania gruntu  
Fig. 4. The scheme of soil washing process



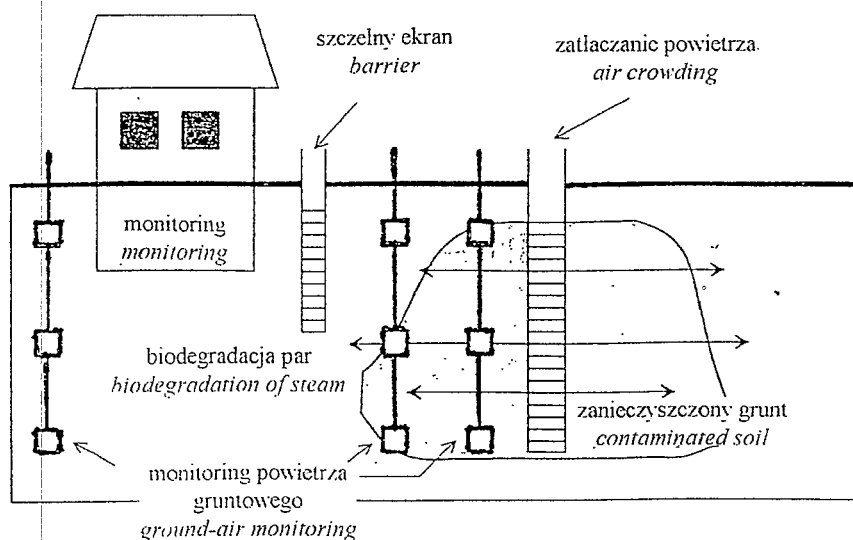
Rys. 5. Metoda rolnicza – przekrój przez poletko rekultywacyjne  
Fig. 5. The agricultural method – the cross-section of decontaminated field

pryzmy, za pomocą dmuchaw, wytworzone jest podciśnienie w celu właściwego napowietrzenia. Woda w systemie cyркуluje w układzie zamkniętym (Siuta 1997).

Metoda wentylacji gruntu, nazywana metodą podciśnieniowego usuwania par węglowodorów, polega na zmniejszeniu koncentracji lotnych składników produktów ropopochodnych zaadsorbowanych w strefie aeracji gruntu. Składniki lotne usuwane są z gruntu przez system rurociągów, w którym wytworzone jest podciśnienie za pomocą pompy próżniowej. Rurociągi ssąco-tłoczące oddalone są od siebie w przeciętnych warunkach 3–7 m. Średnice studni zawierają się w przedziale 50–300 mm. Pompa powinna wytwarzać podciśnienie minimum 250 mb (Adamek i in. 1995).

Biowentylacja jest procesem napowietrzania gruntu w celu utrzyma-

nia aktywności mikrobiologicznej i przyspieszenia procesu biorekultywacji. Węglowodory ropopochodne są generalnie biodegradowane przez mikroorganizmy, które mają zdolność wykorzystania tych produktów jako źródła węgla w środowisku odpowiednio utlenionym i w obecności substancji odżywczych. Wykorzystanie tlenu atmosferycznego do intensyfikacji biodegradacji opiera się na przepływie powietrza przez zanieczyszczony grunt w ilości i w sposób umożliwiający zapewnienie natlenienia dla biodegradacji aerobowej oraz zminimalizowanie powstawania gazów zanieczyszczonych węglowodorami. Dodanie substancji odżywczych i wody może być pożądane w celu zwiększenia tempa biodegradacji, ale nie jest konieczne. Cechą charakterystyczną biowentylacji jest stosowanie perforowanych, w wąskich odstępach, sond pomiarowych do poboru prób po-



Rys. 6. Schemat instalacji napowietrzającej

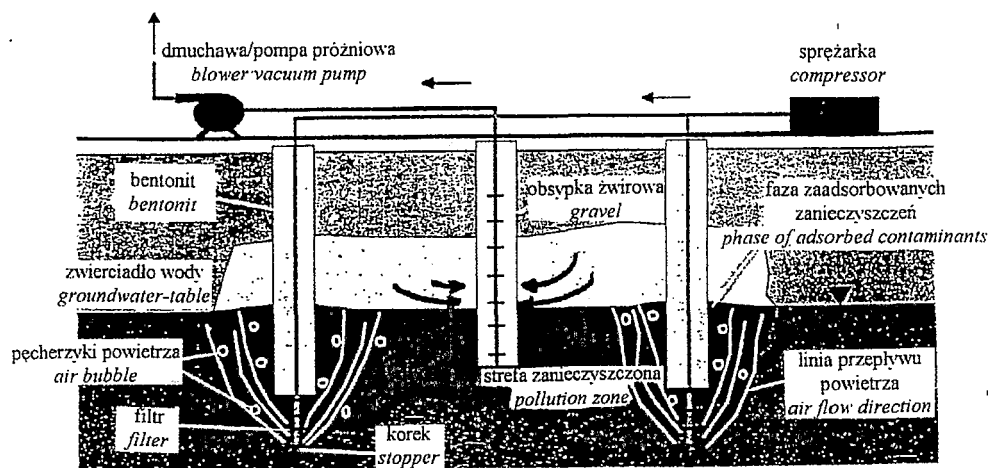
Fig. 6. The scheme of bioventilation method

wietrza gruntowego. Sondy te są potrzebne do pomiarów lokalnych stężeń tlenu, ponieważ poziom tlenu w otworach wentylacyjnych nie jest reprezentatywny dla warunków lokalnych. Na rysunku 6 przedstawiono system bioaeracji, zakładający wyłącznie wtłaczanie powietrza (Adamek i in. 1995a).

Napowietrzanie wód podziemnych jest metodą usuwania zanieczyszczeń ze strefy saturacji, stosowaną częściej zamiast kosztownego wypompowywania wód podziemnych i ich oczyszczania na powierzchni. Metoda szczególnie skuteczna w odniesieniu do lotnych i łatwo biodegradowalnych węglowodorów ropopochodnych, takich jak: BTX, etylobenzen, węglowodory chlorowane oraz rozpuszczalniki chlorowcopochodne. Sprężone powietrze jest wtłaczane do strefy saturacji gruntu. Efektywność metody napowietrzania zależy głównie od dwóch czynników: przepuszczalności gruntu i podziału fazy rozproszona/para.

Czynnikiem mogąącym ograniczyć efektywność napowietrzania strefy saturacji jest zawartość jonu żelazowego ( $\text{Fe}^{+2}$ ). W trakcie dostarczania powietrza żelazo ulega utlenieniu do jonu żelazowego ( $\text{Fe}^{+3}$ ), kolmatując strefę wokół filtrów otworów napowietrzających. Metoda napowietrzania wód podziemnych bardzo często stosowana jest łącznie z wentylacją gruntu w strefie aeracji (przechwytywanie par węglowodorów). Schemat systemu napowietrzania przedstawia rysunku 7 (Adamek 1995a).

Wybór metody oczyszczania środowiska grunto-wodnego, skażonego substancjami ropopochodnymi, zależy od: warunków gruntowych, ograniczeń wynikających z możliwości technicznych, istniejących norm prawnych, wymagań ochrony środowiska oraz kosztów. Koszty zależą głównie od założonych rezultatów oczyszczania, rosną zdecydowanie w miarę wzrostu wymagań. Wyróżnione w artykule metody



Rys. 7. Schemat napowietrzania warstwy wodonośnej  
Fig. 7. The aeration of water-bearing layer



oczyszczania gruntu i wód podziemnych charakteryzują się bardzo dobrymi relacjami kosztów w stosunku do uzyskanego celu. Obecnie są one stosowane w krajach Europy Zachodniej w 95% prowadzonych prac rekultywacyjnych i pozwalają wykonać oczyszczanie szybciej, efektywniej i taniej, niż pompowanie i uzdatnianie zanieczyszczonych wód czy wywóz zanieczyszczonego gruntu na składowiska specjalne.

Generalnie metody oczyszczania *ex situ* charakteryzują się wyższymi nakładami inwestycyjnymi i kosztami operacyjnymi systemu w porównaniu z zabiegami przeprowadzanymi *in situ*. Wyższe nakłady związane są głównie ze środkami przeznaczonymi na wydobycie gruntu oraz montaż i transport urządzeń oczyszczających.

Metoda przemywania gruntu jest zabiegiem rekultywacyjnym najbardziej skutecznym, natychmiastowa redukcja zanieczyszczeń może dochodzić do 100% i znaczna część oczyszczonego gruntu może być ponownie wykorzystana. Krótkim czasem oczyszczania charakteryzują się także metody: rolnicza i pryzmowanie, procesy te trwają od kilku miesięcy do 2 lat. Jednak metody te nie sprawdzają się przy wysokiej koncentracji substancji ropopochodnych – ponad 50 000 mg/kg oraz metali ciężkich powyżej 2500 mg/kg. Przemywanie gruntu jest nieopłacalne w przypadku małych ilości skażonego gruntu i traci sens ekonomiczny przy próbie oczyszczania gruntów zwięzłych (np. ilastych). Metoda rolnicza, prosta od strony projektowej i konstrukcyjnej, wymaga dużych powierzchni, jest skuteczna w odniesieniu do

składników o wolnym tempie biodegradacji, jednak przy konieczności uszczelnienia podłoża, wielokrotnie rosną nakłady kapitałowe. Zależy też w dużym stopniu od pór roku i warunków klimatycznych. Metoda napowietrzania wód podziemnych jest zabiegiem tańszym niż naziemne systemy oczyszczania wody, w których poważny problem stanowią: pompowanie, uzdatnianie i zrzut wody, może być stosowana łącznie z wentylacją gruntu. Aby zapobiec niebezpieczeństwu wzbudzenia migracji zanieczyszczenia, należy tworzyć ekrany izolacyjne (np. bariery fizyczne), zabezpieczające przed rozprzestrzenianiem się plamy zanieczyszczenia. W metodzie wentylacji gruntu uzyskanie redukcji zanieczyszczenia powyżej 90% jest trudne, przeciętnie dochodzi do 50%. Metoda jest mało skuteczna w gruntach zwięzłych, niedogodność stanowi oczyszczanie par węglowodorów, które jest kosztowne i nieefektywne w odniesieniu do węglowodorów o niskiej lotności. Oczyszczanie trwa w optymalnych warunkach od 6 miesięcy do 2 lat. Metoda biowentylacji charakteryzuje się wyższymi kosztami operacyjnymi i dłuższym czasem rekultywacji niż w przypadku wentylacji gruntu. Biowentylacja nie gwarantuje całkowitego usunięcia zanieczyszczenia na terenach o charakterze warstwowym, niskiej przepuszczalności, wysokiej zawartości frakcji ilastej, a wysokie stężenie produktów naftowych może być toksyczne dla mikroorganizmów. Zarówno metoda wentylacji, jak i biowentylacji cechuje się prostą techniką i łatwością w instalowaniu urządzeń.

Każda z przedstawionych tu metod ma wiele zalet i ograniczeń, nie istnieje metoda uniwersalna, która jest efektywna w każdych warunkach. Niektóre metody można wykorzystywać w kombinacji z innymi, np. metoda przemywania z metodą biowentylacji. Stosowane w praktyce metody są w różnym stopniu sprawdzone, niektóre z nich są ciągle w fazie badań.

## **Badania efektywności metody przemywania**

### **Metodyka badań**

Badania przeprowadzono w dwóch lejach Imhoffa, tzn. znormalizowanych pojemnikach w kształcie odwróconych stożków, o pojemności 1 dm<sup>3</sup> każdy. Przezroczysta obudowa pojemników pozwala obserwować zmiany zachodzące w przemywanym gruncie. Leje Imhoffa ustawiono w stojaku wewnątrz plastikowej kuwety, pozwalającej na gromadzenie się popłuczyn. Do oczyszczania użyto próbek gruntu (piasek drobny), w których średnia zawartość substancji ropopochodnych wynosiła 2253,2 mg/kg oraz 26 143,6 mg/kg. Pierwszy z gruntów o zanieczyszczeniu 2253,2 p.p.m. umieszczono w leju Imhoffa nr 1, natomiast grunt o zanieczyszczeniu 26 143,6 p.p.m. w leju nr 2. Grunt zagęszczano w lejach i zalewano płynnymi preparatami przemywającymi. Preparaty wsiąkały w grunt pod wpływem własnego ciężaru. Przemywanie gruntów przeprowadzono następującymi preparatami: Bio-b(a), Petro-clean i Sintan. Właściwości zasto-

sowanych preparatów podano w następnym rozdziale. Grunt o zanieczyszczeniu większym przemywano dodatkowo w kuwecie za pomocą środka Sintan i następnie płukano go wodą destylowaną.

Badania stanu zanieczyszczenia próbek gruntu, zarówno przed jak i po przemyciu przeprowadzono w aparacie Soxtherm. Próbkę gruntu o masie ok. 20 g pobierano do szklanego słoja i przechowywano w temperaturze poniżej 4°C. Następnie próbkę suszono w temperaturze 105°C przez 2 godziny i chłodzono w ekcykatorze do temperatury pokojowej. Z każdej suchej próbki pobierano po dwie 5-gramowe porcje gruntu.

Odważone porcje gruntu umieszczano w cylinderkach (gilzach), przykryto watą wolną od tłuszczu i wkładano do wysuszonych i zważonych zlewek ekstraktora. Do każdej zlewki wiano ok. 0,140 dm<sup>3</sup> eteru naftowego, nałożono uszczelki i wraz z gilzami zainstalowano w aparacie. Aparat Soxtherm jest w pełni zautomatyzowany. Urządzenie uruchamiano po wprowadzeniu odpowiedniego programu ekstrakcji. Po zakończeniu ekstrakcji zlewki wypłukano rozpuszczalnikiem z pozostałości poekstrakcyjnej i całość przeniesiono do mniejszych naczynek wagowych, zważonych wcześniej z dokładnością do 0,1 mg. Naczynko z pozostałością po ekstrakcji wysuszono w temperaturze 30°C, ochłodzono w ekcykatorze do temperatury pokojowej i zważono (Krych 1993).

Zawartość substancji ropopochodnych w suchej masie badanej próbki (X) obliczono według wzoru:

$$X = \frac{(m - m_1)1000}{m_2} \text{ mg/kg}$$

gdzie:

$m$  – masa naczynka z pozostałością po ekstrakcji [g],

$m$  – *weight of extraction measure* [g],

$m_1$  – masa naczynka [g],

$m_1$  – *weight of measure* [g],

$m_2$  – masa próbki użytej do oznaczenia [kg],

$m_2$  – *weight of signed specimen* [kg]

### Właściwości zastosowanych preparatów

W badaniach laboratoryjnych użyto trzy preparaty: Bio-b(a), Petro-clean i Sintan. Preparaty Bio-b(a) i Petro-clean są rozprowadzane przez firmę bioArcus, która jest wyłącznym dystrybutorem na Polskę produktów International Bioremediation Services (IBS Ltd). Producentem preparatu Sintan jest firma Sintac GmbH z Niemiec. Bio-b(a) jest wodnym roztworem zawierającym ekstrakty roślinne i substancje powierzchniowo czynne w stosunku do węglowodorów. Produkt rozcieńcza się w stosunku 1:100. Po rozcieńczeniu ma on barwę żółtawą, specyficzny zapach chemiczny i odczyn obojętny ( $\text{pH} = 7$ ). Produkt ten usuwa ciężkie oleje i smary. Bio-b(a) jest bezpieczny w użyciu i w pełni ulega biodegradacji.

Petro-clean zawiera substancje powierzchniowo czynne, kwasy organiczne i ekstrakty roślinne w postaci koncentratu. Po rozcieńczeniu (1 : 50) roztwór jest bezbarwny o zapachu specyficznym (chemicznym) i  $\text{pH} = 7$  i służy do usuwania wszelkiego rodzaju węglowodorów

ropopochodnych (ropa naftowa, ciężkie frakcje rafinacji ropy, woski i parafiny).

Sintan jest środkiem oczyszczającym zanieczyszczony grunt; jest on polecany przez renomowane instytuty w Niemczech i Polsce. Sintan jest nasyconym roztworem substancji powierzchniowo czynnych o małej lepkości, dzięki czemu przenika i rozбивa plamy olejowe oraz poprawia warunki działania bakterii glebowych, ułatwiając dostęp tlenu i substancji odżywczych do strefy skażeń. Po wprowadzeniu roztworu do gruntu, w niedługim czasie preparat zaczyna penetrować zanieczyszczenia, rozdrabniać je i wymywać. Powłoka substancji ropopochodnych zostaje rozbita i tworzy bardzo drobne cząsteczki. Sintan równomiernie dostaje się pod olej, co umożliwia oddzielanie oleju od gruntu. Dodanie w następnym etapie wody powoduje dalsze oddzielenie rozpuszczonych frakcji oleju. Całkowicie oddzielone cząstki nie mają już żadnego oparcia i są wypłukiwane z gruntu. Po pewnym okresie olej zostaje rozbity na mikrokrople, co ułatwia ich bakteryjny biologiczny rozkład. Sintan jest bezbarwny o zapachu specyficznym i  $\text{pH} = 7$ , po wymieszaniu z powietrzem pieni się.

### Przebieg badań

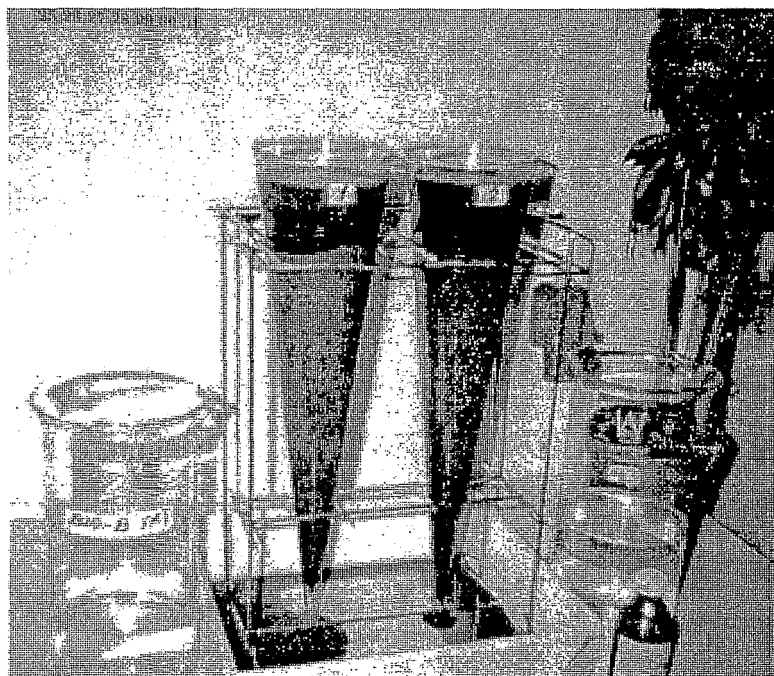
Przemywanie preparatem Bio-b(a). Na 1 dm<sup>3</sup> zanieczyszczonego gruntu użyto 2,4 dm<sup>3</sup> środka (po rozcieńczeniu). Wcześniejsze badania w aparacie Soxhtherm wykazały, że ta ilość preparatu Bio-b(a) zawierała 37 656 µg substancji ekstrahujących się eterem naftowym (detergenty, woski, kwasy tłuszczowe i in-

ne) w przeliczeniu na  $\text{dm}^3$ . Preparat powoli infiltrował przez próbki gruntu w obu lejach Imhoffa. W przypadku gruntu nr 2 zaobserwowano na ściankach leja tłusty nalot. Po przepuszczeniu całej objętości Bio-b(a) pobrano próbki gruntu do badań na zawartość zanieczyszczeń. Popłuczyny o barwie kawowej miały przyjemny zapach i niższe  $\text{pH} = 6$  w porównaniu z odczynem preparatu. Na rysunku 8 przedstawiono przemywanie gruntu za pomocą preparatu Bio-b(a).

**Przemywanie preparatem Petro-clean.** Do przemycia  $1 \text{ dm}^3$  zanieczyszczonego piasku użyto  $1,8 \text{ dm}^3$  preparatu (po rozcieńczeniu). Zastosowana dawka Petro-clean zawierała  $41\,652 \mu\text{g}$  substan-

cji rozpuszczających się w eterze naftowym w przeliczeniu na  $\text{dm}^3$ . Roztwór nad powierzchnią próbek gruntu zmętniał (szczególnie w leju nr 2), a na powierzchni zwierciadła roztworu widoczne były drobne pierścienie olejowe. Po przepłukaniu grunt zmienił barwę na nieco jaśniejszą. Na ściankach zasobników wystąpiły plamy emulsji olejowej. Popłuczyny były ciemne o  $\text{pH} = 6,5$ . Na rysunku 9 zauważyć można zmętnienie roztworu Petro-clean w leju nr 2.

**Przemywanie preparatem Sintan.** Na  $1 \text{ dm}^3$  skażonego gruntu użyto  $2 \text{ dm}^3$  preparatu Sintan. Sintan zawierał on znacznie więcej substancji ekstrahujących się eterem naftowym, niż poprzednio za-



Rys. 8. Przemywanie prób gruntu przy użyciu Bio-b(a)  
Fig. 8. The soil washing process by Bio-b(a)



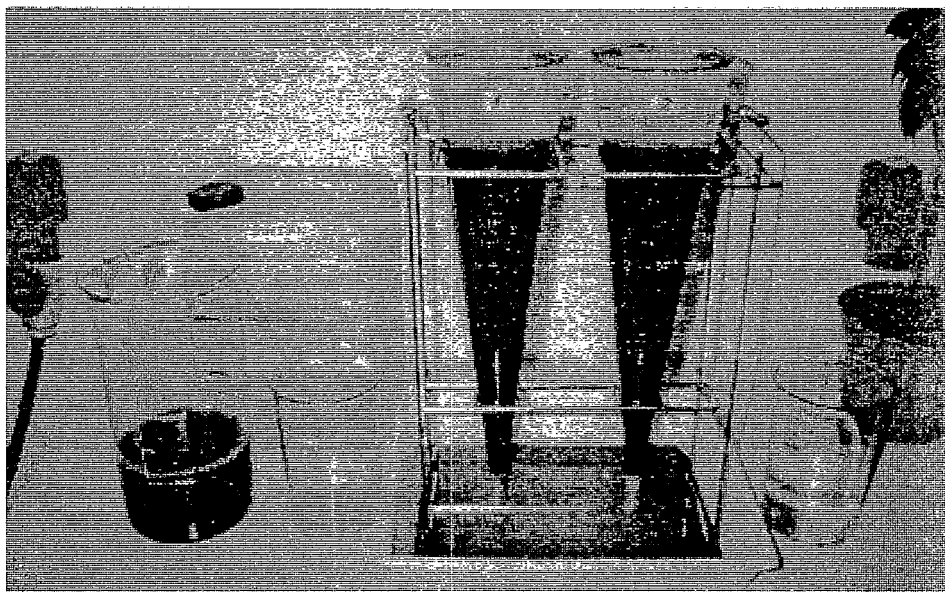
Rys. 9. Przemycanie prób gruntu przy użyciu środka Petro-clean  
Fig. 9. The soil washing process by Petro-clean

stosowane środki, wartość ich dochodziła do 1 337 200  $\mu\text{g}$ , przeliczając na  $\text{dm}^3$ . Preparat przesączał się powoli przez obie próbki gruntu, przy czym znacznie wolniej przez grunt nr 2. Zanieczyszczenia znajdujące się przy powierzchni gruntu nie wypływały na jakość cieczy przemycanej. Popłuczyny o barwie ciemnobrązowej wytworzyły kremową pianę (kontakt z powietrzem) oraz gąbczasty osad. Rysunek 10 pokazuje przesączanie się preparatu przez zanieczyszczony grunt.

**Przemycanie piasku preparatem Sintan w kuwecie z mieszaniem.** Zanieczyszczony grunt nr 2 przepłukano w kuwecie za pomocą Sintanu stosując na

1  $\text{dm}^3$  luźnego gruntu 2  $\text{dm}^3$  preparatu. Zalany preparatem grunt mieszano ręcznie. W kuwecie wytworzyła się piana barwy kawowej. Na powierzchni preparatu widoczne były pływające pierścienie olejowe w kształcie ameby. Olej przylegał do ścianek pojemnika. Popłuczyny o barwie ciemnobrązowej odprowadzano do zlewki, w której na dnie wytworzył się jaśniejszy osad, zawierający drobne części gruntu. Oczyszczoną masę gruntu, po usunięciu popłuczyn, poddano kilkukrotnemu płukaniu w wodzie destylowanej i po wysuszeniu pobrano próbki do badań.

Istnieje przypuszczenie, że substancje zawarte w preparatach przemycających, oznaczone podczas ekstrakcji, zostały zatrzymane w trakcie ich przemie-



Rys. 10. Przemycanie prób gruntu przy użyciu Sintanu  
Fig. 10. The soil washing process by Sintan

szczania się przez próbki gruntu. Oznaczone wartości (X) zredukowano o zawartość substancji ekstrahujących się eterem naftowym występujących w ujętej objętości środka.

### Analiza wyników badań

Wyniki badań zostały przedstawione jako średnie zawartości substancji ekstrahujących się eterem naftowym. Średnie wartości zanieczyszczeń i wielkość redukcji przedstawiono w tabeli.

W przypadku gruntu nr 1 redukcja zanieczyszczeń wahała się od 9% do 15%. Bio-b(a) oczyścił skażony grunt w 11%, Petro-clean – 9,2%, a Sintan, działający skuteczniej, zredukował zanieczyszczenie o 14,7%. Efektywność oczyszczania gruntu nr 1 przedstawiono na rysunku 11.

W przypadku gruntu nr 2 redukcja zanieczyszczenia wynosiła 56,8% przy zastosowaniu preparatu Bio-b(a), Petro-clean oczyścił grunt w 42,4%. Działanie Sintanu okazało się najskuteczniejsze wśród użytych środków (redukcja 69% – 91%). Efektywność przemycania gruntu nr 2 przedstawia rysunek 12.

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że zastosowane preparaty oczyściły grunt nr 1 do poziomu około 2000 mg/kg, natomiast grunt nr 2 w różnym stopniu, w zależności od preparatu. Najbardziej skutecznym środkiem oczyszczającym jest Sintan, który zredukował zanieczyszczenia nawet do 90%. Większą efektywność w procesie przemycania można osiągnąć przeprowadzając zabiegi ex situ przez wydobywanie skażonego gruntu i dokładne jego wymieszanie z preparata-

TABELA 1. Wartości zanieczyszczenia w oczyszczonym gruncie  
TABLE 1. The value of contaminants in purified soil

Przemity grunt nr 1 → tło zanieczyszczenia 2253,2 mg/kg

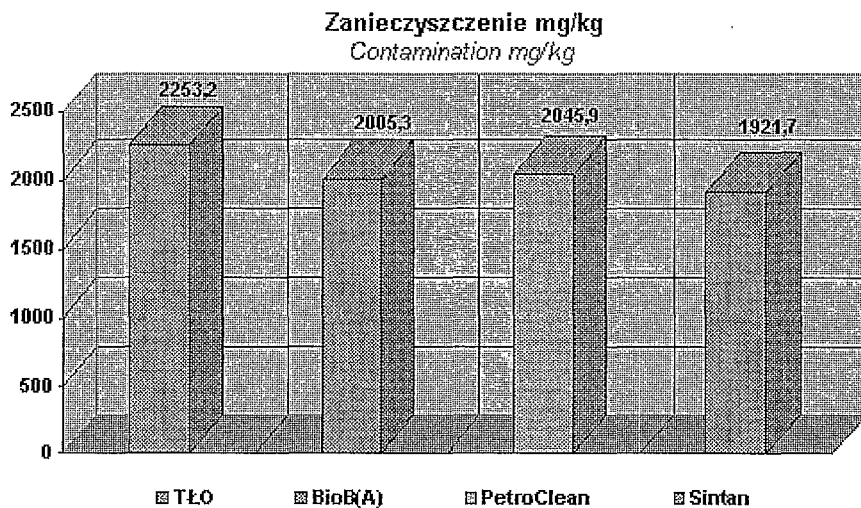
The decontaminated soil 1 → background of contamination – 2253.2 mg/kg

| Zastosowane preparaty<br>The applied agents | Ilość badań<br>Number of research | Wartości<br>zanieczyszczenia w<br>oczyszczonym gruncie,<br>mg/kg<br>The value of<br>contaminants in<br>purified soil, mg/kg | Redukcja<br>zanieczyszczenia, %<br>The reduction of<br>contaminants, % |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Bio-b(a)                                    | 6                                 | 2 005,3                                                                                                                     | 11,0                                                                   |
| Petro-clean                                 | 4                                 | 2 045,9                                                                                                                     | 9,2                                                                    |
| Sintan                                      | 4                                 | 1 921,7                                                                                                                     | 14,7                                                                   |

Przemity grunt nr 2 → tło zanieczyszczenia 26 143,6 mg/kg

The decontaminated soil 2 → background of contamination – 26 143.6 mg/kg

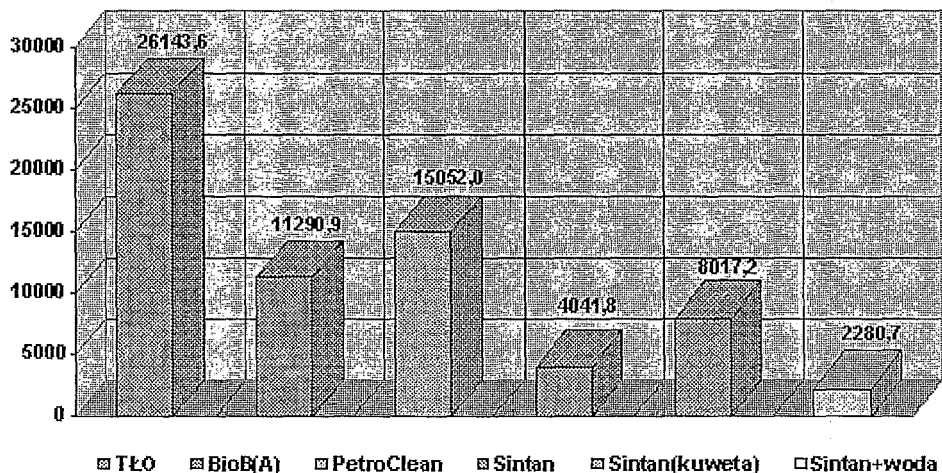
|                            |   |          |      |
|----------------------------|---|----------|------|
| Bio-b(a)                   | 2 | 11 290,9 | 56,8 |
| Petro-clean                | 2 | 15 052,0 | 42,4 |
| Sintan                     | 2 | 4 041,8  | 84,5 |
| Sintan (kuweta)            | 2 | 8 017,2  | 69,3 |
| Sintan (+H <sub>2</sub> O) | 2 | 2 280,7  | 91,3 |



Rys. 11. Efektywność przemycania prób gruntu nr 1

Fig. 11. The efficiency of soil washing in soil specimen 1

**Zanieczyszczenie mg/kg**  
*Contamination mg/kg*



Rys. 12. Efektywność przymywania prób gruntu nr 2  
Fig. 12. The efficiency of soil washing in soil specimen 2

mi w specjalnie dostosowanych urządzeniach. Gdy przemyty grunt podda się płukaniu w wodzie, efekty oczyszczania będą bliskie 100% (grunt + Sintan + woda). Dodatkową zaletą oczyszczania w warunkach ex situ jest natychmiastowe, w krótkim czasie, usunięcie zanieczyszczeń.

## Wnioski

1. Przed przystąpieniem do zabiegów rekultywacyjnych należy dokładnie rozpoznać wielkość i rodzaj zanieczyszczenia, właściwości fizykochemiczne, geologiczne i hydrogeologiczne zanieczyszczonego terenu oraz ocenić przewidywane koszty przedsięwzięcia. Czynniki te będą wpływały na wybór odpowiedniej metody oczyszczania.

2. Z przeprowadzonych badań wynika, że najbardziej skutecznym środkiem przymywającym jest Sintan, który zredukował zanieczyszczenie w 91,3%. Gdy przemyty grunt podda się jeszcze płukaniu w wodzie, efekty oczyszczania mogą być bliskie 100%.

3. Do oczyszczania gruntów o bardzo wysokim zanieczyszczeniu nie zaleca się stosowania preparatów Bio-b(a) i Petro-clean z uwagi na ich małą skuteczność.

4. Popłuczyny powstające w wyniku prowadzenia procesu oczyszczania należy kierować do stacji utylizacji lub odpowiednich instalacji separujących olej. Zaleca się utylizowanie ścieków metodą elektrochemiczną, polegającą na oddzieleniu oleju od wody w wyniku przepuszczania przez emulsję olejową prądu elektrycznego.



## Literatura

- ADAMEK M., JENDROŚKA J., KOŚLACZ R., ULMAN-BORTNOWSKA M. 1994: *Wskaźówki metodyczne wykonywania badań na terenie istniejących obiektów magazynowania i dystrybucji paliw w celu sporządzenia oceny oddziaływania na środowisko*. Wyd. MOŚZNiL, Departament Geologii. Warszawa.
- ADAMEK M., KOŚLACZ R., ZIELIŃSKI W. 1995: *Wskaźówki metodyczne wykonywania rekultywacji gruntów i wód podziemnych zanieczyszczonych produktami naftowymi*. Wyd. MOŚZNiL. Warszawa.
- GRUBB G.D., SITAR N. 1994: *Evaluation of technologies for in-situ cleanup of DNAPL contaminated sites*. USEPA Publishing, Washington.
- KRYCH W. 1993: *Metodyka badań zawartości substancji ekstrahujących się eterem naftowym w wodzie, ściekach, glebie, szlamach, osadach i odpadach za pomocą ekstraktora SOXTHERM 2000, typ S 306 AK*, Wyd. ABB Zamech Ltd. Elbląg.
- MALINA G., SZCZEPAŃSKI A. 1994: *Likwidacja zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi w środowisku wodno-gruntowym*. Wyd. PIOŚ, Warszawa.
- SIUTA J., 1997: *Technologie odolejania gruntów, odpadów, ścieków*. Wyd. Ekoinżynieria, Lublin.

## Summary

**Application of washing process for remediation of petroleum contaminated soils.** This paper presents the most effective and simplest methods of soil remediation, respected in the whole world, generally in Western Europe and United States. In short content-related review there are characterized both advantages and disadvantages of these methods. In the experiment there was applied the soil washing process. Petroleum-polluted sand, specimen number 1 with background pollution 2253.2 p.p.m. and specimen number 2 with background pollution 26 143.6 p.p.m., were placed in Imhoffs funnels and treated for rewashing preparations: BIO-B(A), PETRO-CLEAN and SINTAN. The SINTAN was the most effective agent, giving the following size of contaminants reduction:

BIO-B(A) – up to 56.8%,  
PETRO-CLEAN – up to 42.4%,  
SINTAN – up to 91.3%.

In case of two-times or three-times soil washing, the effectiveness of decontamination process would surely increase but ventures expenditures would be very high.

### Author's address:

P. Wittbrodt  
Giermków St, 21,9  
82–300 Elbląg  
Poland

**Prof. Dr Eileen J. KLADIVKO**

Wydział Rolniczy, Uniwersytet Purdue

## **Modern Agriculture and Water Quality** **Wykład inauguracyjny na Wydziale Melioracji i Inżynierii** **Środowiska SGGW w Warszawie dnia 2 października** **1995 roku**

Inaugural address on the occasion of the opening of the academic year of the Faculty of Land Reclamation and Environmental Engineering, Warsaw Agricultural University, held on 2 October, 1995.

Good morning, ladies and gentlemen. I am pleased and honored to be able to speak with you today, as you begin your University studies. What I will try to do today, is to give you a few ideas of some of the opportunities and challenges that you will be able to work on, during your careers. I will discuss some interactions between modern agricultural practices and water quality. I will use examples from the USA, only to illustrate the types of scientific and engineering problems, that you will learn how to approach, during your studies. The particular problems that you face in Poland will be different, but these discussed today will illustrate the concepts.

Modern agricultural practices in the USA have brought us many improvements, in the lives of farmers and all citizens. But they have also presented us with new problems or challenges, that we as scientists and engineers have needed to address. Let me first discuss a few of the improvements that have occurred in agriculture during the last 40 years. Human labour is less arduous now than it was in the past. Our farmers still work very hard, physically and mentally, but their labor is not as arduous as in the past, and we would consider that to be a benefit. Our system gives us dependable, high crop yields. Certainly the yields vary from year to year based on weather conditions, but overall we can count on good crop yields. In general now we have less soil erosion than we did 40 years ago, so we are conserving the soil resource base for future generations. In general we also have less animal manure in streams

now than we did in the past. And finally, we tend to have more efficient production units than previously.

Along with the improvements, however, there have also been some new challenges or problems that have developed. Soil compaction has increased in many fields, due to large farm equipment and loss of soil organic matter. In many soils, the organic matter content and overall soil quality has declined. In some areas of the country, we find nutrients and pesticides in surface water or ground water. The increased specialization of our farmers has some advantages and disadvantages-increased specialization means that a farmer can become a real expert in one or two areas. But it may also mean that he loses the flexibility to change quickly into a different crop or system, for example, if the market conditions change.

So my main point is, there are always tradeoffs to consider. Each new practice brings advantages and disadvantages with it. As scientists and engineers, part of our job is to analyze the system in terms of costs/benefits, and to try to develop practices that improve the overall system while minimizing negative impacts.

As an example of some of these tradeoffs, I will consider water quality. There are four main categories of agricultural pollutants in water: sediment, bacteria, nutrients, and pesticides. Sediment originates from soil erosion, and it is still the major agricultural pollutant of surface water in many areas. Bacteria can also be a pollutant of surface waters, and may originate from animal manures, for

example. Nutrients such as nitrate may pollute both ground and surface waters. Phosphorus, however, is generally a pollutant in surface water only, since it is bound by soil particles as it leaches through the soil profile. Pesticides may move into ground or surface waters, depending on the pesticide chemical properties. Now we will look at each of these four categories, and give examples of how water quality has improved and also where we have some new problems.

*Sediment*—We have several major factors that have caused surface water quality to improve with respect to sediment, and several factors that may cause water quality to decline. No-till and other conservation tillage practices have greatly reduced soil erosion, and therefore less sediment is entering streams. This has been one of the major improvements in surface water quality in many agricultural areas. No-till is a system that uses a metal cutting blade to open a narrow slot in the soil, in which the seeds are planted without plowing or disturbing the rest of the soil. Crop residues from the previous crop remain on the soil surface, and protect the soil surface from the erosive effects of intense rainstorms. In some parts of the country, contour strip-cropping, terraces, and other conservation structures and practices have reduced soil erosion. On the other hand, the larger field sizes we have now, and the loss of windbreaks or fencerows, may increase wind or water erosion in some areas. Having fewer hay crops in the rotation, and a general loss of soil organic matter after

years of intensive cultivation, may also increase water runoff and soil erosion.

*Bacteria*—In general, we have fewer livestock animals that are free to graze directly in or near streams and ponds. This means less manure input to the surface water, and therefore less bacteria from the animals. The water runoff from feedlots is generally controlled so that it does not enter streams directly, again giving us an improvement in surface water quality. However, the high animal density produces large volumes of manure for disposal in small areas. Then manure is often viewed more as a problem for disposal rather than as a nutrient benefit to be used wisely.

*Nutrients*—Lower soil erosion rates also mean lower losses of nutrients that are bound to sediments (phosphorus, for example). So surface water quality has generally improved with respect to phosphorus inputs from agriculture. The use of inorganic N fertilizers provides a more predictable supply of nitrogen to crops, than does the use of legumes and manures alone. Thus the nitrogen supply can be better matched with crop requirements, providing another opportunity to improve water quality. However, the more intensive use of fertilizers and animal manures can lead to excess nitrate leaching to ground water.

*Pesticides*—Pesticides help prevent crop losses from pests (insects, weeds, disease), and therefore more dependable crop production occurs from year to year. The more consistent yields result in more

complete use of other agricultural inputs such as fertilizers. A major water quality benefit of herbicide use, is that it reduces the need for excessive tillage to control weeds. Soil erosion is decreased and surface water quality is improved with respect to sediment. One potential disadvantage is that mobile pesticides may move by runoff or leaching into surface or ground waters. Leaching losses are generally most important on sandy soils.

This briefly summarizes some of the changes that have occurred over the past 40 years, with water quality and agriculture in the USA. I now will focus more directly, on some of the challenges that you will face during your careers.

Many interesting and important challenges await you in your career. During your lifetime, agriculture and the rural environment in Poland will undergo rapid, dramatic change. Because of this rapid change, you will need to continually learn new things. Your university studies are a good beginning, but are not the end of your education. This lifelong learning may include formal courses and workshops, reading, and self-study.

I encourage you to learn from others, both personally and professionally. Education now is international, and we can all learn much from each other. I am currently in Poland for 8 months sabbatical leave, to learn some things here that I cannot learn in the USA. Take advantage of opportunities to improve your language skills or to study or travel in other countries. Be creative in your thinking. Don't just take an agricultural system di-

rectly from some other country. Learn from the successes and failures of other countries, and then help develop a new and better way for Poland. Agriculture, and culture, is always evolving, and we all need to learn from today and from history.

Let me just list a few of the changes and challenges that will be opportunities for you in the future. Poland will most probably have larger farms and fewer farmers than you do now. This can mean greater production efficiency and lower food prices in the shops. It also means that new agricultural processing industries, or other rural businesses will be needed, to provide greater employment opportunities. Water supply and wastewater treatment in rural areas is a large and important need in Poland, and many of you will find challenging work in this area. Resource recovery is an area where all countries need some new and creative efforts, so we can do a better job of recycling, composting, and reusing waste materials. I think you have a real opportunity in Poland in the area of ecology, to better integrate agriculture and the natural environment. With some creative thinking, you can avoid some of the problems that have developed in some of our intensive agricultural systems in the USA.

I will end with a few final words of encouragement and challenge to you. I encourage you to be bold, courageous, and creative in your thinking. Use your talent and opportunities, to serve your country and to help improve life during this period of rapid change. Use your time at the University to learn new skills,

and to begin to develop a new vision for yourself and for your country. This will require your hard work and personal commitment. Your studies and jobs will be enjoyable but will also require your commitment, but it is worth the effort. You will be faced with tremendous changes and opportunities in your lifetime, and each of you can contribute something to your country's transformation. Poland is a crossroads of a new Europe, and agriculture is a crucial piece of Poland's growth during this transition. These are really exciting and challenging times in Poland, and you can look forward with much hope and anticipation.

I wish you all the best as you begin your studies at this University!

Dziękuję.

## Streszczenie

Współczesne rolnictwo wielkoobszarowe w USA przyczyniło się do istotnej poprawy życia całego społeczeństwa. W szczególności praca rolników stała się lżejsza, a poziom ich życia zaczął odpowiadać standardowi reszty społeczeństwa. Stan rolnictwa w USA zapewnia powszechny dostęp do taniej i zdrowej żywności. Jednocześnie należy podkreślić, że współczesne rolnictwo niesie ze sobą liczne zagrożenia, które w poważnym stopniu decydują o jakości środowiska. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć:

- zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych różnego ro-

dzajami związkami chemicznymi (nawozy, herbicydy, pestycydy),

- nadmierne wyczerpywanie zasobów i ich nieodnawianie,
- zmniejszenie naturalnej produktywności gleb przez erozję, zagęszczenie i utratę substancji organicznych,
- utratę genetycznej różnorodności uprawianych i naturalnie egzystujących roślin i zwierząt hodowlanych,
- traktowanie rolnictwa jako fabryki, a nie jako kierowanego ekosystemu.

Należy podkreślić, że w USA poczyniono znaczne postępy w przeciwdziałaniu erozji gleby oraz zanieczyszczeniu rzek i jezior. Wyzwaniem dla współczesnego pokolenia jest tworzenie rolnictwa jako zrównoważonego układu przyrodniczo-techniczno-ekonomicznego. Inżynierowie kształtujący środowisko wiejskie, szczególnie w Polsce, muszą się liczyć z koniecznością daleko idących przemian. Przemiany te muszą w szczególności odpowiadać światowej koncepcji zrównoważonego rozwoju. Koncepcja ta podkreśla ścisłą zależność pomiędzy wzrostem ekonomicznym i szeroko rozumianą ochroną środowiska. Zatem

muszą zdawać sobie Państwo sprawę że niezbędna jest ciągła poprawa sytuacji w zakresie zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków, poszukiwanie lepszych sposobów odzyskiwania surowców i ponownego ich użycia, postęp w technologii uprawy gleby oraz nawożenia.

W szczególnej sytuacji jest Polska, stoi bowiem w przededniu przystąpienia do wielkiej organizacji gospodarczej jaką jest Unia Europejska. Z tego względu konieczne są również działania o charakterze restrukturalizacyjnym.

Kultura amerykańska, a w tym rolnictwo są w ciągłym rozwoju. Mam zatem nadzieję, że będziecie Państwo uczyć się na naszych błędach, korzystając z naszych doświadczeń i tworzyć nowe, lepsze drogi rozwoju dla swego kraju.

Wykorzystajcie czas spędzony na tej Uczelni, aby osiąść nowe umiejętności i rozpocząć tworzenie nowej wizji dla swojego kraju i siebie samych. Czekam Was okres wyteżonej pracy i trudnych decyzji, które w efekcie prowadzą do rozwoju kraju i indywidualnej satysfakcji.

**Tomasz BRANDYK**  
**Andrzej CIEPIEŁOWSKI**  
**Janusz KUBRAK**

## **O potrzebie utworzenia nowej dyscypliny naukowej zgodnej z kierunkiem kształcenia na wydziałach melioracji i inżynierii środowiska**

Rozwój nauki, realizowana przez państwo polityka ekorozwoju oraz zmiany polityki gospodarczej, jakie nastąpiły w Polsce po 1989 roku, wymagają dostosowania zakresu badań naukowych i kształcenia na wydziałach melioracji i inżynierii środowiska.

Od pewnego czasu trwa dyskusja na temat określenia dyscypliny naukowej, która byłaby zgodna z działalnością naukową i dydaktyczną na tych wydziałach. Władze Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW wraz z Komisją Nauki, uznając ten problem za istotny, proponują przedyskutować go nie przesądzając o nazwie dyscypliny.

W okresie międzywojennym uformował się w Polsce pogląd na melioracje jako prace techniczne, których celem jest podniesienie środkami technicznymi produktywności i rentowności gospodarstw rolnych. W kształceniu kadr melioracyjnych przeważa kierunek hydrotechniczny, gdyż meliorantów przygotowywały politechniki. Podstawy przyrodnicze melioracji traktowane były na tych

wydziałach w sposób encyklopedyczny. Gdy koncepcje co do społecznej i przyrodniczej roli melioracji znalazły uznanie w Ministerstwie Rolnictwa utworzono w roku 1946 Oddział Melioracji Rolnych przy Wydziale Rolniczym SGGW, który w 1950 roku przekształcono w samodzielny Wydział Melioracji Rolnych. Program kształcenia obejmował szeroki zakres nie tylko czysto technicznych zagadnień, ale również przedsięwzięć proekologicznych, odnoszących się do siedlisk użytkowanych rolniczo (agroekosystemów) i stosowania zabiegów fito- i agromelioracyjnych oraz przeciwerozryjnych. (Ostromęcki 1978, Somorowski 1993).

W roku 1954 nastąpiła zmiana nazwy wydziału na Wydział Melioracji Wodnych, której konsekwencją było ograniczenie zakresu kształcenia do zagadnień związanych tylko z regulacją czynnika wodnego przy kształtowaniu rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Prowadzona od lat 70. polityka rolna państwa, dążąca do zwiększania za wszelką cenę wielko-

ści produkcji rolnej, powodowała niszczenie środowiska naturalnego.

W celu przeciwdziałania tym niekorzystnym zjawiskom, do programów kształcenia na wydziałach melioracji wodnych wprowadzono elementy ochrony środowiska przyrodniczego przy jednoczesnym jego racjonalnym przekształcaniu dla produkcji rolniczej. Poszerzenie zakresu kształcenia doprowadziło do usankcjonowania nowej dyscypliny naukowej „kształtowanie środowiska” (Somorowski 1996, Pierzgański 1997). Dyscyplina ta osadzona w dziedzinie nauk rolniczych zajęła się celami, metodami i sposobami kompleksowego i zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich, przewidywaniem skutków działalności w środowisku oraz poprawą jego stanu (Pierzgański 1996).

Zachodzącym zmianom polityki gospodarczej państwa i sposobu traktowania środowiska towarzyszyła zmiana koncepcji kształcenia na wydziałach melioracji wodnych (Biernacka 1993, Brandyk i Hewelke 1997, Mosiej i Sokołowski 1991, Somorowski 1992).

Na przełomie roku 1989, dokonano zmiany nazwy wydziałów melioracji na wydziały melioracji i inżynierii środowiska.

Reakcja uczelni rolniczych kraju wyprzedziła i rozminęła się z koncepcjami tworzenia dyscyplin naukowych przez instytucje państwowe, powołane do sprawowania kontroli nad poziomem naukowym kadr (Centralna Komisja ds. Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych) i rozdziałem środków na cele naukowo-badawcze (Komitet Badań Naukowych).

Ostatnie zmiany kierunków kształcenia wprowadzone przez wydziały melioracji i inżynierii środowiska, podkreślające konieczność stosowania inżynierskich sposobów realizacji przedsięwzięć na obszarach wiejskich, spowodowały przekroczenie granic określonych dla dyscypliny „kształtowanie środowiska”, należącej według wykazu dziedzin i dyscyplin Centralnej Komisji zatwierdzonych uchwałą z dnia 25 lutego 1992 roku, do dziedziny nauk rolniczych, która objęła liczne elementy z dyscypliny należącej według wspomnianego wykazu do nauk technicznych – „inżynierii środowiska” (Grabarczyk 1997).

Jak wspomniano, dalszą niekonsekwencją było podjęcie przez Komitet Badań Naukowych uchwały nr 24/96 z dnia 18 września 1996 roku w sprawie podziału komisji KBN na zespoły oraz dziedziny i dyscypliny nauki należącej do poszczególnych zespołów.

Zagadnienia, które są przedmiotem badań i dydaktyki na wydziałach melioracji i inżynierii środowiska mieszczą się tam w następujących zespołach:

- nauk biologicznych, nauk o ziemi i ochronie środowiska  
(P.-4) p.2 biologia ogólna, ekologia, ochrona środowiska przyrodniczego,
- nauk rolniczych i leśnych (P.-6)  
P. – 6.1 produkcja roślinna w tym gleboznawstwo, uprawa roślin,  
P. – 6.3 technika rolnicza i technologia żywności, w tym eksploatacja maszyn i urządzeń w rolnictwie, gospodarka wodna w rolnictwie,  
P. – 6.5 organizacja i ekonomika rolnictwa, w tym kształtowanie środo-



wiska rolniczego, ekonomika rolnicza,

- chemii, technologii chemicznej oraz inżynierii procesów i ochrony środowiska (T – 9),

**T – 9.3** inżynieria procesów i ochrona środowiska.

Z zestawienia wyżej wymienionych dyscyplin wyraźnie widać, że są one rozproszone i do tej pory przypisywane były trzem różnym typom uczelni, tzn. uniwersytetom, politechnikom i uczelniom rolniczym.

Analizując działalność naukowo-dydaktyczną na wydziałach melioracji i inżynierii środowiska należy stwierdzić, że istnieje potrzeba i dostosowania jej do kierunków „Agricultural Engineering” i „Rural Engineering”, realizowanych na uczelniach w krajach Unii Europejskiej i USA.

Przyjęty u nas profil kształcenia należałoby wzbogacić o zagadnienia szeroko rozumianej inżynierii i ochrony środowiska wiejskiego. Jako sposoby realizacji przedsięwzięć wykonywanych w tej dyscyplinie wyróżnia się (Somorowski 1996):

- inżynierię sanitarną,
- inżynierię wodnomelioracyjną,
- inżynierię lądową,
- inżynierię ekologiczną i ochronę środowiska,
- planowanie i zagospodarowanie przestrzenne.

Sylwetka nowoczesnego inżyniera podejmującego działalność w zakresie inżynieryjnej infrastruktury rolnictwa i wsi powinna uwzględnić wszystkie uwarunkowania, jakie powodują zmieniające

się w naszym kraju stosunki gospodarcze i społeczne.

W związku z tym istnieje potrzeba utworzenia dyscypliny naukowej o charakterze techniczno-przyrodniczym. Konieczne staje się więc podjęcie działań w ramach Komitetu Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego PAN i na forum rad wydziałów melioracji i inżynierii środowiska, które określiłyby zakres problemowy proponowanej dyscypliny naukowej, zgodnej z realizowanymi kierunkami kształcenia.

W obecnej sytuacji wydziały melioracji i inżynierii środowiska napotykają wiele problemów, gdyż muszą starać się o uprawnienia zarówno do nadawania stopni naukowych w dziedzinie nauk rolniczych (w dyscyplinie kształtowanie środowiska), jak i w dziedzinie nauk technicznych (w dziedzinie inżynieria środowiska).

## Literatura

- BIERNACKA E. 1992: *O działaniach w zakresie przemian w procesie naukowo-dydaktycznym na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*. Przegląd Naukowy Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW, z.1. Wyd. SGGW, Warszawa.
- BRANDYK T., HEWELKE P. 1997: *Transformacja programów nauczania na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW w aspekcie ekorozwoju SGGW* (maszynopis).
- GRABARCZYK C. 1997: *Podstawowe TEZY naukowe do określenia specjalności naukowych wydziałów melioracji i inżynierii środowiska dla potrzeb nadawania stopni naukowych SGGW* (maszynopis).
- MOSIEJ K., SOKOŁOWSKI J. 1991: *Inżynierska sylwetka absolwenta Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska w świetle zmian zachodzących w gospodarce*. Mat. konf. „Kształto-

wanie umiejętności praktycznych inżyniera melioracji wodnych i specjalności zbliżonych”, Warszawa.

OSTROMECKI J. (red) 1978: *Melioracje Rolne*. Zeszyty Naukowe SGGW-AR.

PIERZGALSKI E. 1996: *Notatka z posiedzenia Zespołu ds. Dyscyplin Naukowych Komisji Nauki przy Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*. Warszawa.

PIERZGALSKI E. 1997: *Specjalności naukowe w dyscyplinie „Kształtowanie Środowiska” SGGW* (maszynopis).

SOMOROWSKI C. 1992: *O profilach kształcenia na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*. Przeg. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW. Wyd. SGGW, z. 1, Warszawa.

SOMOROWSKI C. (red), 1993: *Współczesne problemy melioracji*. Wyd. SGGW, Warszawa.

SOMOROWSKI C. 1996: *Kształtowanie Środowiska – nowa dyscyplina naukowa*. Nauka nr 2, Warszawa.

SOMOROWSKI C. 1996: *Studia Wyższe z zakresu inżynierii środowiska w SGGW*. Technika Rolnicza nr 5, Warszawa.

Uchwała Nr 24/96 Komitetu Badań Naukowych z dnia 18 września 1996 roku w sprawie podziału KBN na zespoły oraz dziedziny i dyscypliny nauki należących do własności poszczególnych zespołów w trzeciej kadencji Komitetu.

**Artur RADECKI-PAWLIK**

Katedra Inżynierii Wodnej AR w Krakowie

**Tomasz ROZBICKI**

Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW

## **Wybrane zagadnienia działalności naukowo-badawczej Katedry Soil Sciences na Uniwersytecie British Columbia w Vancouver**

University of British Columbia w Vancouver (UBC), najstarszy w prowincji Kolumbia Brytyjska, jedna z największych uczelni w Kanadzie kształci około 55 tys. studentów w wielu różnorodnych kierunkach, na 12 wydziałach. Od wielu lat na Wydziale Agricultural Sciences działa Fundacja Profesora i Pani Dekaban, sponsorująca wymianę naukową między polskimi uczelniami rolniczymi a UBC. Istnieją dwa rodzaje takiej wymiany: wizyty profesorskie i długoterminowe stypendia badawcze. W przypadku stypendiów długoterminowych, trwających pięć miesięcy polscy naukowcy uczestniczą w badaniach i projektach prowadzonych przez jedną z katedr Wydziału Agricultural Sciences. Niniejszy artykuł jest informacją na temat problematyki badawczej, jaką zajmowano się w ostatnich latach w dwóch instytucjach Katedry Soil Sciences-Water Resources Management oraz Biometeorology; jest także informacją o planach naukowych tych jednostek na następne

lata. Wiomości te mogą być szczególnie przydatne dla osób zainteresowanych współpracą z University of British Columbia i starających się o przyznanie stypendium z Fundacji Profesora i Pani Dekaban na długoterminowy wyjazd do Vancouver.

Faculty of Agricultural Sciences podzielony jest na 8 odrębnych jednostek: Department of Agricultural Economics, Department of Animal Sciences, Botanical Garden, School of Family and Nutritional Sciences, Department of Food Sciences, Landscape Architecture Program, Department of Plant Sciences, Department of Soil Science (obejmujący m.in. zakłady: Water Resources Management oraz Biometeorology).

Prace prof. Lesa Lavkulicha-obecnego kierownika Zakładu Water Resource Management wiążą się głównie z przepływem wód gruntowych oraz jakością gleby. Obejmuje to wietrzenie minerałów o właściwościach kwasowych i przenoszenie ich do gleby w postaci roztwo-

rów, a także przemieszczanie i rozprzestrzenianie produktów wietrzenia w glebie oraz wpływ tego zjawiska na rozkład metali ciężkich w tym środowisku. Działalność dydaktyczna koncentruje się, w ramach przedmiotu o nazwie „perspektywy surowców naturalnych i środowisko” na przedstawieniu studentom różnorodnych zależności i powiązań oraz skomplikowanej materii istniejących zasobów naturalnych Ziemi w aspekcie ich ciągłej wyczerpywalności. Prace prof. Hansa Schreiera, z tego samego zakładu dotyczą monitorowania zlewni górskich w aspekcie kontrolowania erozji gleby, rumowiska unoszonego i wleczonego, a także wpływu zmian środowiska naturalnego na charakterystyki hydrologiczne potoków oraz spływy powierzchniowe i odpływ wyrównany ze zlewni; tematy związane z wpływem zalesiania i wylesiania na procesy erozyjne w zlewniach górskich i podgórskich, a także zmiany produkcji roślinnej pod wpływem zróżnicowanej intensywności użytkowania gleby. Najnowsze prace to monitorowanie zlewni pod kątem zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego i przemysłowego z punktowych i niepunktowych źródeł oraz z przydomowych urządzeń oczyszczalni ścieków. W tego typu tematach wykorzystywany jest szeroko Geograficzny System Operacyjny (GIS) w celu interpretacji wielu danych z uprzednio założonych baz informacyjnych. Bez użycia GIS-u przestrzenna interpretacja wyników obróbki takich danych nie wydaje się możliwa.

Profesor Andy Black wraz ze swoim zespołem biometeorologicznym od 1994 roku uczestniczył w międzynarodowym

programie badawczym BOREAS (Boreal Ecosystems – Atmosphere Study), którego celem było ilościowe określenie wymiany energii i masy (pary wodnej, dwutlenku węgla i innych gazów) pomiędzy ekosystemem borealnych lasów północnych a atmosferą oraz lepsze zrozumienie mechanizmu tej wymiany. Jednym z zadań zespołu było dopracowanie metody pomiarowej (eddy correlation) i zebranie danych terenowych w skali lokalnej (danych w skali mikro), które wraz z danymi pochodzącymi z samolotów i satelitów badawczych (danymi w skali makro) pozwolą na opracowanie symulacyjnych modeli komputerowych wymiany masy i energii dla różnych rocznych przebiegów pogody. Po zakończeniu cyklu pomiarowego w 1996 roku (w ramach programu BOREAS) przystąpiono do opracowania tych modeli. Z drugiej strony opracowana przez zespół metoda pomiarowa służy do podobnych badań w innych ekosystemach (np: w lasach wybrzeża oceanicznego – już poza programem BOREAS). Obecnie ciągłe pomiary prowadzone są równolegle – powstają nowe punkty pomiarowe (w lasach wybrzeża Pacyfiku), a jednocześnie zbierane są dane z mikrometeorologicznych wież pomiarowych w lasach borealnych. Gospodarka prowincji Kolumbia Brytyjska w dużej mierze oparta jest na leśnictwie, stąd inne prace prowadzone w zespole biometeorologii także dotyczą tego środowiska. Są to: rozwinięcie modelu wymiany turbulencyjnej wewnątrz pokrywy roślinnej; wpływ wymiany turbulencyjnej na wymianę dwutlenku węgla między lasem a atmosferą podczas nocy (bez fotosyntezy); wpływ zagęsz-

czenia lasu na wymianę turbulentyną; wpływ wycinania lasów na charakterystyki wiatru.

Dla zespołu biometeorologii, a także dla całego Uniwersytetu ważnym wydarzeniem była Międzynarodowa Konferencja Naukowa Amerykańskiego Towarzystwa Meteorologicznego „Warstwa Graniczna i Turbulencja”. Odbывała się ona na UBC w dniach od 28 lipca do 1 sierpnia 1997 roku. Brali w niej udział badacze z wielu ośrodków północnoamerykańskich (m.in. zespół biometeorologii UBC prof. Blacka), a także z Europy, Australii, Nowej Zelandii i Japonii.

Z badań prowadzonych przez naukowców z innych jednostek Katedry Soil Sciences należy wymienić prace dotyczące rolnictwa na styku obszar rolniczy – obszar miejski (prof. Art Bomke) oraz prognozowanie letniej suszy na obszarach leśnych (prof. Tim Ballard).

Zarówno działalność dydaktyczna jak i tematyka prac badawczych Katedry Soil Sciences jest ciągle modyfikowana. Polega to na poszukiwaniu nowych zagadnień związanych tematycznie z glebą, jej ochroną, a także na wykorzystywaniu najnowszych zdobyczy techniki w procesie nauczania. Dowodem na to niech będzie fakt, że jeszcze w 1994 roku (a więc 3 lata temu) jednym z wiodących projektów w Katedrze był temat związany z monitorowaniem i eksploatacją rolniczą zlewni górskich w Nepalu, gdzie naukowcy przez ponad 8 lat zajmowali się kłopotami związanymi z erozją gleby i wylesieniem zlewni rzecznych tego kraju. Już w 1997 roku powstało kilka opracowań (case studies) zarządzania zlew-

niami na ternie Kolumbi Brytyjskiej w Kanadzie na bazie doświadczeń nepalskich (głównie z wykorzystaniem GIS-u przy interpretacji danych zebranych na terenie zlewni). Ukoronowaniem pracy było powstanie w lecie 1997 roku ogólnodostępnego kursu zarządzania zlewniami. Został on wydany na CD-romie (dostępny jest także w Internecie) i obejmuje tematy związane z hydrologią, geologią, geomorfologią, hydrauliką wód podziemnych, zarządzaniem i eksploatacją zlewni. Kurs ten znalazł się wśród, jednych z wielu proponowanych dla studentów UBC w roku akademickim 1997/1998. Jest on obecnie testowany i oceniany przez ekspertów-praktyków z dziedziny gospodarki wodnej spoza Uniwersytetu. Z pierwszych opinii tego środowiska wynika, że jest to kurs niezbędny dla każdego inżyniera i menedżera chcącego mieć cokolwiek wspólnego z pracą na terenie zlewni górskiej.

Ważnym momentem w życiu naukowym wydziału i katedr są wizyty gości zagranicznych – osób mających wpływ na całokształt nauki światowej. Przykładem takiej wizyty może być cykl wykładów prof. Bruno Messerliego z Uniwersytetu w Bernie. Jest on także konsultantem ONZ, a tematem jego interdyscyplinarnych badań są interakcje klimat – środowisko – ekosystem – człowiek. Podczas swojej wizyty na UBC prof. Messerli wygłosił wiele referatów, spośród których najważniejsze i jednocześnie dotyczące zmian w ekosystemie całej naszej planety to: „Floods in Bangladesh: Is the Deforestation of the Himalayas Responsible for the Floods in Bangladesh?”, „Climate and Environmental Change in

the Arid Zones: the Atacama Desert in Comparison with the Sahara” i „Mountain Ecosystems: the Last Frontier”.

Ciągła promocja Katedry, a co za tym idzie i całego Wydziału Agricultural Sciences, na zewnątrz Uniwersytetu wiąże się bezpośrednio z przyciąganiem nowych studentów. Katedra zapewnia szeroki zakres kursów na studiach magisterskich i doktoranckich, a także dla ludzi z zewnątrz UBC, chcących wzbogacać swoją wiedzę zawodową i nadążać za najnowszymi osiągnięciami techniki i oprogramowania komputerowego (np. wspomniany wyżej GIS – w różnych konfiguracjach programowych, czy też pakiet programowania Toolbook) zawsze obecnymi w laboratoriach katedry Soil Sciences.

Reasumując, aby mówić o University of British Columbia jako o najlepszej

uczelni w Kanadzie, należy podkreślić, że na ukształtowanie się takiej opinii miały wpływ prace wielu jednostek organizacyjnych, w naszym rozumieniu – katedr. Bez możliwości elastycznych zmian tematyki prac naukowych i nauczania (w świetle codziennych zmian rynku pracy, nieuchronnie kończących się zasobów naturalnych Ziemi, zanieczyszczenia atmosfery i wód oraz przenawożenia terenów rolniczych) nie może być mowy o nowoczesnej prawidłowej pracy katedry, a co za tym idzie całego UBC. Katedra Soil Sciences spełnia wszelkie wymagania kładzione na nowoczesnej placówce naukowo-badawczej, czego dowodem może być nie słabnąca popularność studiów na University of British Columbia w Vancouver.

*Vancouver, listopad 1997 r.*