



KIL

Akademia Rolnicza *im. Augusta Cieszkowskiego*,  
60-637 Poznań, ul. Wojska Polskiego 28,  
Katedra Inżynierii Leśnej, 60-623 Poznań, ul. Mazowiecka 41  
Tel./Fax. 061 848-7366, NIP 777-00-04-960



## ***SPRAWOZDANIE KOŃCOWE***

***Nr zadania: 18***

***Tytuł: OPRACOWANIE STRATEGII OCHRONY  
OBSZARÓW MOKRADŁOWYCH NA TERENIE  
LEŚNYCH KOMPLEKSÓW PROMOCYJNYCH  
NA PRZYKŁADZIE LKP LASY RYCHTALSKIE***

***Opracowanie wykonane dla  
DYREKCJI GENERALNEJ LASÓW  
PAŃSTWOWYCH  
ul. WAWELSKA 52/54  
00-922 WARSZAWA***

***Autorzy:***

**Prof. dr hab. inż. ANTONI T. MILER – kierownik tematu**

**Prof. nadzw. dr hab. inż. BOGUSŁAW KAMIŃSKI**

**Dr hab. inż. ANDRZEJ CZERNIAK**

**Dr inż. SYLWESTER GRAJEWSKI**

**Dr inż. BERNARD OKOŃSKI**

**Mgr inż. ANNA KRYSZTOFIK**

**Mgr inż. MAŁGORZATA SOBALAK**

**Inż. KAMIŁA PRZYSIECKA**

**MACIEJ KAMIŃSKI**

**Poznań 2007**

## **SPIS TREŚCI**

	<i>Strona:</i>
1. WSTĘP.....	3
2. LEŚNY KOMPLEKS PROMOCYJNY LASY RYCHTALSKIE.....	5
3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POWIERZCHNI DOŚWIADCZALNYCH I ZAKRESU BADAŃ.....	21
4. METODY OBLICZANIA TRENDÓW I OKRESOWOŚCI ZMIAN KLIMATYCZNYCH (TEMPERATUR POWIETRZA, OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH).....	23
5. STAN AKTUALNY ORAZ PROGNOZA ZMIAN STOSUNKÓW WODNYCH NA OBSZARACH MOKRADŁOWYCH LEŚNEGO KOMPLEKSU PROMOCYJNEGO LASY RYCHTALSKIE.....	35
6. MODELOWANIE ODPLYWU Z LEŚNEJ ZLEWNI MOKRADŁOWEJ.....	40
7. POTENCJALNA ZDOLNOŚĆ RETENCYJNA OBSZARÓW LEŚNYCH NADLEŚNICTWA DOŚWIADCZALNEGO SIEMIANICE.....	53
8. STANY WÓD GRUNTOWYCH W LATACH HYDROLOGICZNYCH 2003-2006 NA OBSZARZE ZLEWNI DOŚWIADCZALNEJ ROWU G-8 W LEŚNICTWIE MARIANKA W LZD SIEMIANICE.....	72
9. JAKOŚĆ WÓD POWIERZCHNIOWYCH I GRUNTOWYCH.....	79
10. POZIOM METALI CIĘŻKICH W WODACH GRUNTOWYCH ORAZ W GRUNTACH W BEZPOŚREDNIM SĄSIEDZTWIE SZLAKÓW KOMUNIKACYJNYCH.....	95
11. SYTUACJA DROGOWA NA TERENIE LKP LASY RYCHTALSKIE.....	102
12. ZMIANA ODPLYWU WEZBRANIOWEGO W MAŁEJ ZLEWNI LEŚNEJ PO ZABUDOWIE CIEKU.....	111
13. DIOKSYNY.....	120
14. PIERWIASTKI ŚLADOWE W GLEBACH OBSZARÓW MOKRADŁOWYCH...	131
15. PODSUMOWANIE .....	141
16. STRATEGIA OCHRONY OBSZARÓW MOKRADŁOWYCH .....	144
<i>Streszczenie – Summary</i> .....	148

## 1. WSTĘP

Pod pojęciem mokradła leśne określane są ekosystemy leśne, nadmiernie uwilgotnione, do których należy wstępnie zaliczyć te tereny, które w opisach taksacyjnych zakwalifikowano jako: Bb, BMb, LMb, Ol, OIJ i Lł. Ostatecznie o zakwalifikowaniu danej powierzchni do mokradeł można zdecydować dopiero po wizji w terenie.

Obecnie jednym z najistotniejszych problemów we współczesnej klimatologii jest zagadnienie ocieplania klimatu. Chociaż nie udowodnione ponad wszelką wątpliwość, wiele czynników świadczy o zmianie klimatu w przeciągu ostatniego krótkiego okresu czasu. Prezentowane w literaturze przedmiotu stanowiska są bardzo różnorodne – od skrajnych poglądów, przewidujących katastrofalne skutki w wielu regionach świata do oceny, że „problem zmian klimatu został wyolbrzymiony ponad wszelkie proporcje”.

Niektóre znane światowe ośrodki badawcze sugerują, że w wodach i glebach organicznych obszarów mokradłowych mogła zachodzić przez wiele lat intensywna akumulacja zanieczyszczeń chemicznych np. pierwiastków śladowych i dioksyn generowanych przez ośrodki przemysłowe. Stwierdzono np., że zawartość ołowiu, kadmu, niklu i cynku w bagnach na terenie Anglii wielokrotnie przekracza poziom uznawany za bezpieczny dla środowiska. Pierwiastkami śladowymi mogą być skażone również podmokłe tereny Eurazji i Ameryki Północnej. Brytyjscy naukowcy ostrzegają, że zachodzące zmiany klimatyczne mogą spowodować osuszenie terenów mokradłowych i uwolnienie z nich w skutek erozji wodnej i eolicznej dużych ilości toksycznych związków.

Na terenach Polski obszary leśne należą do ekosystemów najmniej przekształcanych i zanieczyszczanych przez człowieka. W świetle prognozowanych zagrożeń wynikających z uwalniania zanieczyszczeń chemicznych z podlegających osuszaniu się terenów bagiennych, przeprowadzono szeroki zakres badań chemicznych wód, gleb i drzewiastych bioindykatorów roślinnych terenów mokradłowych LKP Lasy Rychtaleskie.

Istotnym elementem infrastruktury technicznej terenów mokradłowych jest sieć drogowa. Gęstość oraz stan techniczny dróg leśnych w znacznym stopniu warunkują prawidłowe funkcjonowanie gospodarstwa leśnego. Trwałość nawierzchni drogowych zależy przede wszystkim od rodzaju podłoża gruntowego. Grunty bagienne mineralne a szczególnie organiczne cechują się niską nośnością, która najbardziej obniża się w okresach wysokich poziomów wód gruntowych. Około 79 % dróg leśnych posiada nawierzchnie gruntowe, które w okresach podwyższonej wilgotności stają się nieprzejezdne. Stąd zagadnienia dotyczące poprawy stanu dróg na leśnych terenach zabagnionych stanowią poważny problem.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników kilkuletnich kompleksowych badań terenowych (hydrologicznych, chemicznych i geotechnicznych) na obszarach mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie w celu scharakteryzowania stanu obecnego, prognozy zmian oraz wskazania zagrożeń stabilności tych i podobnych obszarów leśnych.



## 2. LEŚNY KOMPLEKS PROMOCYJNY LASY RYCHTALSKIE

Nazwa "leśny kompleks promocyjny" została oficjalnie użyta i opisana w uzasadnieniu do decyzji nr 23 ministra ochrony środowiska zasobów naturalnych i leśnictwa z dnia 8 listopada 1994 roku w sprawie ochrony i zagospodarowania Puszczy Białowieskiej. Formalne utworzenie leśnych kompleksów promocyjnych nastąpiło nieco później, tzn. z chwilą wydania przez dyrektora generalnego Lasów Państwowych zarządzenia nr 30 z dnia 19 grudnia 1994 roku.

Leśne Kompleksy Promocyjne godzą cele gospodarcze z celami aktywnej ochrony ekosystemów, propagują przyjazne środowisku technologie oraz promują badania naukowe. To nowatorskie rozwiązanie spotkało się z uznaniem leśników i badaczy w całej Europie. Mają one przede wszystkim być, miejscem promocji wielofunkcyjnej gospodarki leśnej, jako elementu zrównoważonego rozwoju. Tworzone są dla promocji proekologicznej polityki leśnej państwa.

Obecnie istnieje 19 Leśnych Kompleksów promocyjnych:

- LKP Bory Lubuskie
- LKP Bory Tucholskie
- LKP Lasy Beskidu Sądeckiego
- LKP Lasy Beskidu Śląskiego
- LKP Lasy Birczańskie
- LKP Gostynińsko-Włocławskie
- LKP Lasy Janowskie
- LKP Lasy Mazurskie
- LKP Lasy Oliwsko-Darżlubskie
- LKP Lasy Puszczy Białowieskiej
- LKP Lasy Rychtaleskie
- LKP Lasy Spalsko-Rogowskie
- LKP Lasy Warcińsko-Polanowskie
- LKP Lasy Warszawskie
- LKP Puszcza Kozienicka
- LKP Puszcza Notecka

- LKP Puszcze Szczecińskie
- LKP Puszcza Świętokrzyska
- LKP Sudety Zachodnie

Łącznie zajmują powierzchnię 990 469 ha.

Leśne Kompleksy Promocyjne powoływane są w celu:

- Wszechstronnego rozpoznania stanu biocenozy leśnej i kierunków zachodzących w niej zmian,
- Trwałego zachowania lub odtwarzania naturalnych walorów lasu metodami racjonalnej gospodarki leśnej prowadzonej na zasadach ekologicznych,
- Integrowania celów gospodarki leśnej z aktywną ochroną przyrody,
- Promowania wielofunkcyjnej i zrównoważonej gospodarki leśnej,
- Prowadzenia prac badawczych i doświadczalnictwa leśnego w aspekcie upowszechniania zasad ekorozwoju na całym obszarze działania LP,
- Prowadzenia szkoleń leśników i edukacji ekologicznej społeczeństwa.

Leśne kompleksy promocyjne stanowią większe, możliwie zwarte obszary leśne, wchodzące w skład jednego lub kilku nadleśnictw. Są jednostkami funkcjonalnymi, nieposiadającymi odrębnej administracji. Zarządzają nimi wchodzące w ich skład nadleśnictwa, pod nadzorem regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. Przy ustalaniu obszarów i granic leśnych kompleksów promocyjnych zwracano uwagę na to, aby wyznaczone obiekty reprezentowały różne jednostki regionalizacji przyrodniczo-leśnej, a co za tym idzie zmienność warunków siedliskowych, składu gatunkowego drzewostanów, walorów przyrodniczych, możliwości produkcyjnych oraz wiodących funkcji lasów. Wśród istniejących obecnie LKP znajdują się zarówno obszary leśne o wysokich walorach przyrodniczych, będące pozostałością puszczy (np. Puszcza Białowieska, Puszcza Bukowa i Puszcza Goleniowska, Puszcza Darżłubska, Puszcza Kozienicka), jak i tereny leśne silnie zmienione przez człowieka, do których można zaliczyć m.in. Bory Lubuskie, Bory Tucholskie, Lasy GostynińskoWłocławskie, Lasy Beskidu Śląskiego.

Leśny Kompleks Promocyjny „Lasy Rychtaleskie” został powołany dnia 1 lipca 1996 roku przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych w drodze zarządzenia Nr 18 w

sprawie Leśnych Kompleksów Promocyjnych na podstawie porozumienia zawartego w dniu 4 czerwca 1996 roku pomiędzy JM Rektorem Akademii Rolniczej w Poznaniu, a Dyrektorem Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu. Oprócz Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice w skład LKP „Lasy Rychtalskie” wchodzi jeszcze dwa Nadleśnictwa Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu: Syców i Antonin (rys.2.1).

Charakterystyczną cechą tego Kompleksu Promocyjnego jest przebieg na jego obszarze granic naturalnego występowania świerka, jodły, cisa, buka zwyczajnego, klonu jaworu i jarzębu brekinii.

Porastająca lasy tego obszaru sosna zwyczajna, zwana rychtalską, charakteryzuje się znakomitą jakością. Ma ona zdolności dostosowywania się do warunków glebowych i klimatycznych. Swoje walory zachowuje nawet powyżej 200 roku życia. W nadleśnictwie Syców (obręb Rychtal) znajduje się wydzielony drzewostan nasienny sosny rychtalskiej. Można tam podziwiać doborowe drzewa, z których pobierane są nasiona (*Mering 1997*).



Fot. 2.1 Zabytkowa aleja dębów czerwonych na drodze między Wieruszowem a Opatowem (fot. A. Krysztofiak)

O walorach przyrodniczych Lasów Rychtalskich świadczą utworzone tutaj szczególne formy ochrony przyrody między innymi liczne rezerваты przyrody (np. Stara Buczyna w Rakowie, Wydymacz, Studnica, Las Łęgowy w dolinie Pomianki), park krajobrazowy „Dolina Baryczy” (chroniący drzewostany świerkowe, jodłowe i bukowe) oraz obszary chronionego krajobrazu „Wzgórz Ostrzeszowskich i Doliny Odolanowskiej” oraz „Doliny Prosný”. Także występuje tu dużo pomników przyrody. Niektóre z nich to: w nadleśnictwie Antonin – cyprysik Lawsona, kasztanowiec biały, długosz królewski, choinka kanadyjska, w

Nadleśnictwie Syców – dąb szypułkowy, sosna pospolita, w LZD Siemianice – przestoje bukowe, lipowe, dębowe, aleje lipowe, dębowe. Występują tutaj także miejsca gniazdowania

chronionych i rzadkich gatunków ptaków (m.in. myszołowa, orlika krzykliwego i bociana czarnego). W Nadleśnictwie Syców można podziwiać głaz narzutowy „Diabelski kamień”. Z innych obiektów wartych odwiedzenia należy wymienić: hodowlę dziko żyjącego konika polskiego (LZD Siemianice), ścieżkę dydaktyczną w rezerwacie Wydymacz (Nadleśnictwo Antonin), szlak turystyczny prowadzący do rezerwatu „Studnica” (nadleśnictwo Syców) zabytkowy park krajobrazowy w Sycowie.



Fot. 2.2 Szlak turystyczny PTTK Wieruszów – Marianka Siemianiska Węzeł (fot. A. Krysztofiak)



Fot. 2.3 Klasa leśna przy bursie w Laskach (fot. A. Krysztofiak)

Z roślin chronionych występujących w LZD warto wymienić m.in.: długosza królewskiego, rosiczkę, widłaki (widłak goździsty, widłak jałowcowaty, widłak spłaszczony, widłak wroniec), wawrzynka wilczelyko, bluszcz pospolity, barwinka pospolitego, wiciokrzew pomorski, kosaćca syberyjskiego, kruszynę pospolitą, kalinę koralową, bagno zwyczajne, konwalię majową i grązel żółty.



Fot. 2.4 Wiewiórka pospolita (*Sciurus vulgaris*) (fot. B. Bródka)

Zwierzęta chronione występujące w LZD to m.in.: płazy (traszki, ropucha szara, żaba wodna, żaba trawna, kumak nizinny), gady (zaskroniec zwyczajny, padalec, żmija zygzakowata, jaszczurka zwinka, jaszczurka żyworodna), ptaki (bocian czarny, myszołów i orlik krzykliwy) oraz ssaki (wydra, jeż zachodni, kret, ryjówka aksamitna, wiewiórka, łasica, gacek wielkouch, nocek Natterera, nocek rudy).





Fot. 2.5 Miejsce na ogniska – Leśnictwo Marianka  
(fot. A. Krysztofiak)



Fot. 2.6 Ambona myśliwska – Leśnictwo Marianka  
(fot. A. Krysztofiak)

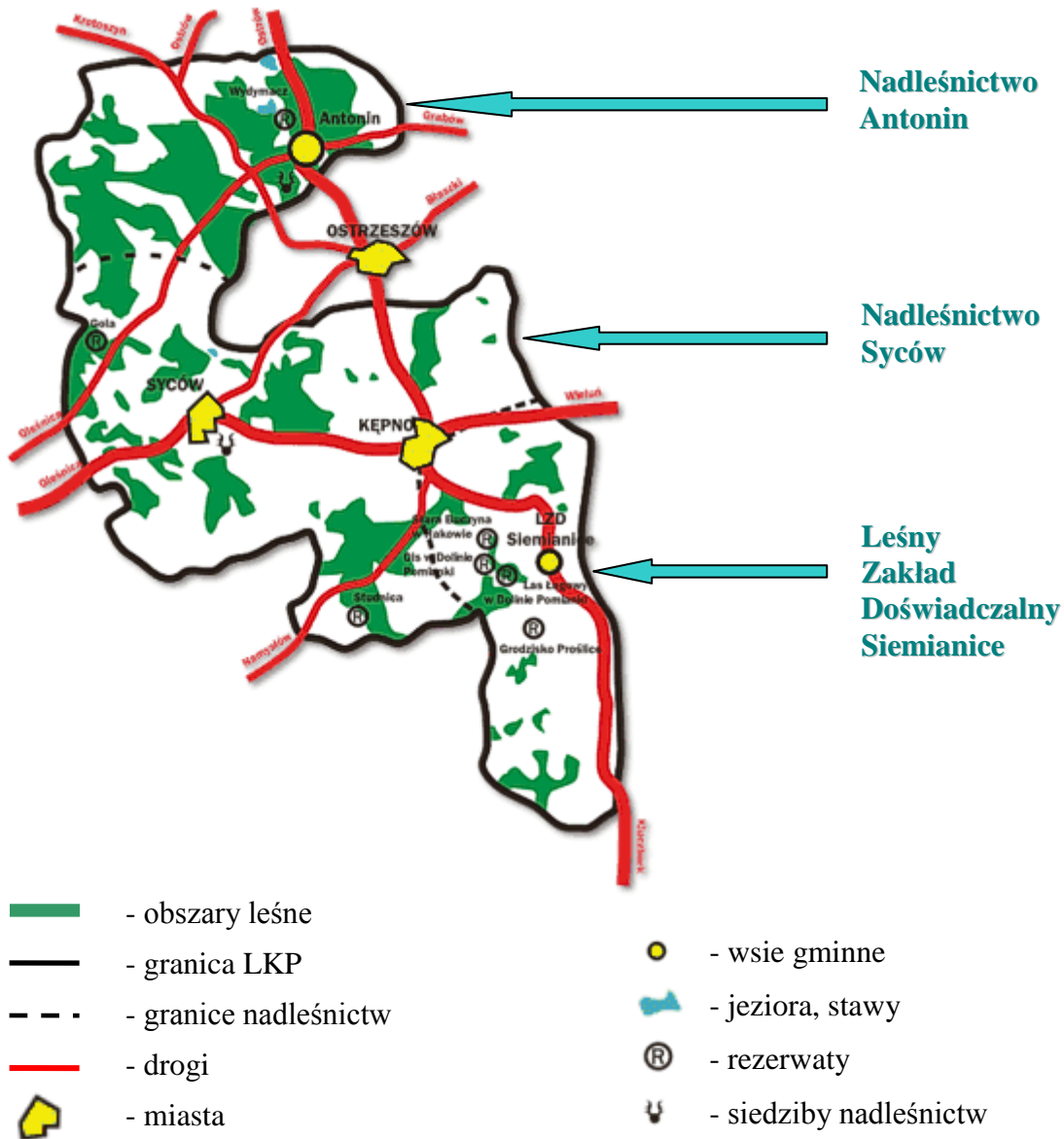
W Lasach Rychtalskich znajdują się także ciekawe obiekty dla ludzi spragnionych zabytków m.in. zabytkowy zespół parkowo-pałacowy w Siemianicach, czterokondygnacyjny drewniany pałac myśliwski z okresu 1822-1824 w Antoninie, drewniany kościół z 1711r. w Bralinie, grodziska stożkowe w Rydzynie

W Leśnym Kompleksie Promocyjnym Lasy Rychtalskie przyjęto następujące kierunki postępowania (*Kusiak 1997*):

- wzbogacenie strefy ekotonowej na obrzeżach pól i innych powierzchni nieleśnych oraz wód,
- wykorzystanie wszystkich możliwości naturalnego odnawiania lasu,
- ograniczenie zrębów zupełnych na rzecz rębni złożonych,
- opracowanie programów ochrony przyrody,
- zachowanie naturalnych formacji przyrodniczych na siedliskach olsowych, borów wilgotnych i lasów łęgowych,
- zachowanie w stanie nienaruszonym bagien, torfowisk, łąk śródleśnych, wrzosowisk, wydm i uznanie ich za użytki ekologiczne,
- odbudowanie zbiorników małej retencji,
- przebudowę drzewostanów rosnących na gruntach porolnych znajdujących się pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych,
- ograniczenie stosowania chemicznych zabiegów ochronnych,
- zachowanie właściwego stanu sanitarnego lasu,
- wzmożenie naturalnej odporności środowiska leśnego,
- wprowadzenie zasady nadrzędności kryteriów ekologicznych przed ekonomicznymi,

- poprawę struktury drzewostanów i produktywności siedlisk,
- zachowanie biologicznej różnorodności lasów.

W skład Leśnego Kompleksu Promocyjnego wchodzi Nadleśnictwo Antonin i Syców oraz Leśny Zakład Doświadczalny Siemianice.



Rys. 2.1. Leśny Kompleks Promocyjny Lasy Rychtałskie (źródło: <http://www.lasy.ipolska.info/>)

**Nadleśnictwo Antonin** tworzą trzy obręby leśne: Antonin, Świeca oraz Moja Wola, w tym 23 leśnictwa. Położone jest ono w całości na terenie województwa wielkopolskiego w powiatach: ostrzeszowskim (gminy Mikstat, Ostrzeszów) oraz ostrowskim (gminy Odolanów,

Przygodzice i Sośnie). Powierzchnia Nadleśnictwa Antonin wynosi 19 847,66 ha, w tym leśna 19 039,58 ha, a zasięg terytorialny obejmuje 39 181 ha.

Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej tereny Nadleśnictwa znajdują się w większości w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej (III), Dzielnicy Kotliny Żmigrodzko-Grabowskiej (9). Tylko południowo-wschodni skraj Obrębu Antonin zajmuje obszar Krainy Śląskiej (V), Dzielnicy Wrocławskiej (2). Pod względem geomorfologicznym obszar Nadleśnictwa położony jest w Pradolinie Barycko-Głogowskiej, w Kotlinie Odolanowskiej.

Utwory geologiczne, gleby i rzeźba terenu zostały ukształtowane przez zlodowacenie środkowopolskie (stadiał Warty). Rzeźbę terenu charakteryzują płaskie, podmokłe doliny rzek, gdzie znaczny udział mają siedliska wilgotne.

Lasy Nadleśnictwa Antonin położone są w większości na terenie malowniczej doliny Baryczy w obszarze Kotliny Odolanowskiej (Kotliny Milickiej), jedynie część lasów rozciąga się we wschodnim pasie Wału Trzebnickiego (w rejonie Wzgórz Ostrzeszowskich i Twardogórskich). Teren nadleśnictwa to przede wszystkim obszar Równin Czarnoleskiej i częściowo Kuźnickiej, a różnica w wysokości nad poziom morza wynosi na nim ponad 85 m (od 117 m n.p.m. w okolicach Możdżanowa do 199 m n.p.m. wzgórze Winna Góra w pobliżu Cieszyna). W kotlinie wyróżnić można terasę zalewową zajętą głównie przez wody i łąki oraz terasę akumulacyjną. Terasę akumulacyjną zajętą przeważnie przez lasy urozmaicają wydmy. Wydmy w kształcie kemów i ozów sięgają wysokości bezwzględnej 140–150 m n.p.m. i 10–15 m wysokości względnej.

W Nadleśnictwie dominują gleby bielcowe wytworzone z piasków rzecznych, o składzie mechanicznym piasków luźnych i słabo gliniastych, często z wysokim poziomem wód gruntowych. W obniżeniach terenu, a także wzdłuż cieków i zbiorników wodnych istotny udział w budowie gleb mają utwory organiczne (mursze lub torfy o różnym stopniu mineralizacji). Siedliska wilgotne, znajdujące się pod bezpośrednim wpływem wody gruntowej zajmują 34,1% powierzchni leśnej Nadleśnictwa.

Miejscowy klimat ma charakter przejściowy pomiędzy klimatem nizin a klimatem pasa wyżyn. Wielkości podstawowych czynników klimatycznych, charakteryzujących obszar Nadleśnictwa Antonin, przedstawia tabela 2.1.

Tabela 2.1. Podstawowe wielkości parametrów klimatycznych dla Nadleśnictwa Antonin

Czynnik klimatyczny	
średnia roczna suma opadów [mm]	500-600
średnia roczna temperatura [ <sup>0</sup> C]	7-8
długość okresu wegetacyjnego [dni]	210-217

Nadleśnictwo Antonin charakteryzuje się najwyższą lesistością w RDLP Poznań - na administrowanej powierzchni lasy zajmują blisko 49%. Na terenie tym gatunkiem dominującym jest sosna zwyczajna.

Pod względem hydrograficznym opisywany obszar położony jest w lewobrzeżnej części zlewni rzeki Barycz, należącej do dorzecza Odry. Na zlewnię rzeki Barycz składa się wiele potoków (np. Roguszna), stumieni (Goszczyński, Helenowski, Niedźwiedzi) i rzek (Olszówka, Strzegowa), ale także rowów melioracyjnych i kanałów. Dawniej wzdłuż licznych cieków budowano tutaj wiele młynów wodnych i foluszy, a niektóre z nich przetrwały jeszcze do 20. wieku, np. w Antoninie, Mojej Woli czy Kociembie.



Fot. 2.7 Rezerwat Wydymacz (Fot. W. Błaźniak)

Taki system tworzyło np. 6 stawów leśnych koło osady Strugi, z których obecnie istnieją tylko Goszczyn, Piec Dolny i Górecznik. Duży wpływ na gospodarkę wodną opisywanego obszaru mają zespoły stawów hodowlanych koło Przygodzic i Możdżanowa.

Obszar nadleśnictwa położony jest w obszarze strefy bezzeiornej, ale już od XIV-XV wieku budowano duże stawy w oparciu o istniejące wały wydymowe (np. stawy Trzcielina, Dębica), a także mniejsze, których usytuowanie w terenie tworzyło tzw. system paciorkowy.

Nadleśnictwo Antonin zostało scharakteryzowane na podstawie następujących źródeł: *Operat Urządzenia Gospodarstwa Leśnego dla Nadleśnictwa Antonin*, Kondracki 2001, <http://antonin.lasypanstwowe.poznan.pl/>.

**Nadleśnictwo Syców** składa się z czterech obrębów: Rychtal, Bralin, Syców i Międzybórz, w tym 20 leśnictw oraz leśnictwo szkółkarskie Gaszowice, a także Arboretum Leśne im prof. Stefana Białoboka. Obręby leśne Syców i Międzybórz położone są w województwie dolnośląskim, natomiast Obręby Bralin i Rychtal w województwie wielkopolskim. Tereny Nadleśnictwa obejmują swoim zasięgiem trzy powiaty (ostrzeszowski i kępiński położone w woj. wielkopolskim oraz oleśnicki należący do woj. dolnośląskiego). Powierzchnia ogólna nadleśnictwa (własność Skarbu Państwa w zarządzie Lasów



Państwowych – Nadleśnictwa Syców) wynosi 22.139,61 ha, w tym powierzchnia lasów 21.130,95 ha.

Nadleśnictwo położone jest na terenach zróżnicowanych pod względem warunków przyrodniczych. Według regionalizacji przyrodniczo – leśnej, północno – zachodnia część położona jest w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej (III), w Dzielnicy Kotliny Żmigrodzko-Grabowskiej (9). Pozostała zasadnicza część nadleśnictwa należy do Krainy Śląskiej (V), Dzielnicy Wrocławskiej (2).

W Nadleśnictwie Syców przeważają gleby bielcowe z przewagą skrytobielicowych. Wyspowo występują gleby brunatne, a w obniżeniach terenu głównie czarne ziemie.

Na warunki klimatyczne tego obszaru istotny wpływ ma duże zróżnicowanie morfologiczne terenu. Wielkości podstawowych czynników klimatycznych, charakteryzujących obszar Nadleśnictwa Syców, przedstawia poniższa tabela.

Tabela 2.2. Podstawowe wielkości parametrów klimatycznych dla Nadleśnictwa Syców

Czynnik klimatyczny	
średnia roczna suma opadów [mm]	500-600
średnia temperatura stycznia [ <sup>0</sup> C]	1,5
średnia temperatura lipca [ <sup>0</sup> C]	19
długość okresu wegetacyjnego [dni]	Przekracza 210

Lasy nadleśnictwa podzielono według grup pełnionych funkcji na:

- rezerwaty – 0,1 % powierzchni,
- lasy ochronne – 12,7 % powierzchni,
- lasy gospodarcze – 87,2 % powierzchni.

Całość lasów nadleśnictwa znajduje się w I strefie uszkodzeń przemysłowych, co powoduje, iż mamy do czynienia tutaj z obniżoną żywotnością drzew oraz ich produkcją.

Siedliska leśne na terenie nadleśnictwa należą do średnio zasobnych. Dominują siedliska boru mieszanego świeżego (31,7 %) i lasu mieszanego świeżego (33,2 %). Szczegółowy udział typów siedliskowych lasu w Nadleśnictwie Syców przedstawia poniższa tabela.

Tabela 2.3. Udział typów siedliskowych lasu w Nadleśnictwie Syców

Typ siedliskowy	Udział [%]	Typ siedliskowy	Udział [%]
Bśw	7,5	OI	0,1
BMśw	30,7	OIJ	1,0
BMb	2,9	Lł	0,1
LMśw	23,9	BMwyż	6,2
LMw	4,4	LMwyż	7,8
Lśw	3,9	Lwyż	0,8
Lw	1,7		

Zestawienie gatunków panujących w lasach Nadleśnictwa (z wyraźnym panowaniem sosny zwyczajnej zajmującej z modrzewiem europejskim 86,8 % powierzchni) prezentuje tabela 2.4. Średni wiek drzewostanów w nadleśnictwie wynosi 56 lat.

Tabela 2.4. Procentowy udział gatunków drzew w Nadleśnictwie Syców

Gatunek drzewa	Udział [%]
sosna, modrzew	86,9
Świerk	2,3
Buk	0,1
dąb, klon, wiąz, jesion	5,3
brzoza, akacja, grab	3,2
Olsza	1,9
osika, lipa, wierzba, topola	0,3



Fot. 2.8 Bagno – projektowany użytek ekologiczny (<http://sycow.lasypanstwowe.poznan.pl/>)

Tereny nadleśnictwa leżą głównie w dorzeczu rzeki Odry i jej dopływu Widawy. W obrębie Bralin zaznaczają się wododziały Proсны i Baryczy, w obrębie Rychtal źródłiska rzeczki Studnicy. Należy zauważyć, że jest to teren ubogi w ciek i zbiorniki wodne, jeziora nie występują na tym terenie w ogóle.

Nadleśnictwo Syców zostało scharakteryzowane na podstawie następujących źródeł: *Operat Urządzenia Gospodarstwa Leśnego dla Nadleśnictwa Syców*, Kondracki 2001, *Publiczne streszczenie Planu Urządzenia Lasu Nadleśnictwa Syców*, <http://sycow.lasypanstwowe>.

**Leśny Zakład Doświadczalny w Siemianicach**, będący składową LKP Lasy Rychtałskie, jest jednostką organizacyjną Akademii Rolniczej w Poznaniu. Lasy Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice wchodzi w skład obrębu Laski. Obręb ten podzielono na sześć leśnictw. Szczegółowe dane odnośnie nazwy leśnictw, lokalizacji ich siedzib, numeracji oddziałów, jakie zawierają oraz powierzchni podlegającej każdemu leśnictwu obrazuje tabela 2.5.

Tabela 2.5: Podział Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice na Leśnictwa

Nr leśnictwa	Nazwa leśnictwa	Siedziba leśnictwa	Numery oddziałów	Pow. [ha]
01	Dobrygość	13 n	5, 6, 8, 9, 13-15, 17-19, 27-31, 39	660,73
02	Wielisławice	10 j	1-4, 7, 10-12, 16, 20-26, 32-38, 40, 41	806,34
03	Laski	65 g	42-56, 56A, 57-82	938,59
04	Marianka	100 b	83-121	902,25
05	Ciecierzyc	158 i	151-194	1003,63
06	Unieszów	220 i	195-263	1605,58
Razem obręb				5917,12

Nadleśnictwo Doświadczalne Siemianice, zgodnie z podziałem administracyjnym, położone jest na terenie województw wielkopolskiego, opolskiego i łódzkiego, w powiatach: kępińskim (gminy: Baranów, Kępno, Łęka Opatowska, Trzcinica), kluczborskim (gminy: Buczyna, Kluczbork, Wołczyn, Miasto Wołczyn) i wieruszowskim (gmina Wieruszów).

W skład Leśnego Zakładu Doświadczalnego wchodzi: Nadleśnictwo Doświadczalne Siemianice, Gospodarstwo Szkółkarskie Dobrygość, Doświadczalne Zakłady Przemysłowe (Tartak) w Laskach.

Nadleśnictwo prowadzi gospodarkę leśną na powierzchni 5 917,0924ha, z czego w powiecie kępińskim na 3 297,7226ha, kluczborskim na 2 609,2098ha i wieruszowskim na 10,16ha (tab. 2.6.).

Tabela 2.6. Zestawienie powierzchni gruntów w [ha] według grup i rodzajów użytków kategorii użytkowania z podziałem na województwa, powiaty, gminy

Gmina Powiat Województwo	Lasy			Grunty zadrzewione i zakrzewione	Użytki rolne	Grunty pod wodami	Użytki ekologiczne	Tereny różne	Grunty zabudowane i zurbanizowane	Nieużytki	Ogółem
	Grunty leśne zalesione	Grunty leśne nie zalesione	Grunty związane z gospodarką leśną								
Gmina Wieruszów	10,1100							0,0500			10,1600
Powiat wieruszowski	10,1100							0,0500			10,1600
Woj. Łódzkie	10,1100							0,0500			10,1600
Gmina Byczyna	569,5434	2,5114	13,6365	2,2000	93,7112	2,3900		0,4700	0,6422	0,5900	685,6947
Gmina Kluczbork	204,3940	7,3341	3,9019		14,9131			0,3200			230,8631
Gmina Wołczyn	126,5968	3,4907	3,3869		3,2089			0,6800	0,3200		137,6833
Gmina Wołczyn	1475,0199	7,5439	35,4009		29,4800			6,1140	0,6200	0,7900	1554,9687
Powiat kluczborski	2375,5541	20,8801	56,3262	2,2000	141,3132	2,3900		7,5840	1,5822	1,3800	2609,2098
Woj. Opolskie	2375,5541	20,8801	56,3262	2,2000	141,3132	2,3900		7,5840	1,5822	1,3800	2609,2098
Gmina Baranów	205,8672	0,3933	5,6726		10,0898			0,3700	0,7754	0,3500	223,5183
Gmina Kępno	116,7330		2,0770					0,1726	0,8200	0,5000	120,1300
Gmina Łęka Opatowska	1819,4570	30,8098	84,0100		81,9734	1,2900		1,7000	12,8374	1,3700	2031,9202
Gmina Trzcinica	879,8443		31,2487		4,6459	0,0568		2,2426	4,3784	0,2800	922,1541
Powiat kępiński	3021,9015	31,2031	123,0083		96,7091	1,3468		2,2426	18,8112	2,5000	3297,7226
Woj. Wielkopolskie	3021,9015	31,2031	123,0083		96,7091	1,3468			18,8112	2,5000	3297,7226

Według fizycznogeograficznej regionalizacji obszar Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice położony jest w prowincji 31., jaką jest Niż Środkowoeuropejski, podprowincji 318. Niziny Środkowopolskie. Podprowincja ta składa się z dziewięciu makroregionów, z czego dwa: Nizina Południowowielkopolska (318.1-2) w dorzeczu środkowej warty oraz Nizina Śląska (318.5) w dorzeczu Odry obejmują swoim zasięgiem analizowany obszar.

Każdy z wyżej wymienionych makroregionów podzielony jest na mniejsze mezoregiony, których jest odpowiednio 13 i 9. Teren Nadleśnictwa należy do mezoregionu Wysoczyzny Wieruszowskiej (318.24) oraz Równiny Oleśnickiej (318.56).

Duży mezoregion Równiny Oleśnickiej został podzielony na cztery mikroregiony, z czego mikroregion Równina Namysłowska (318.564) odpowiada części powierzchni Nadleśnictwa.

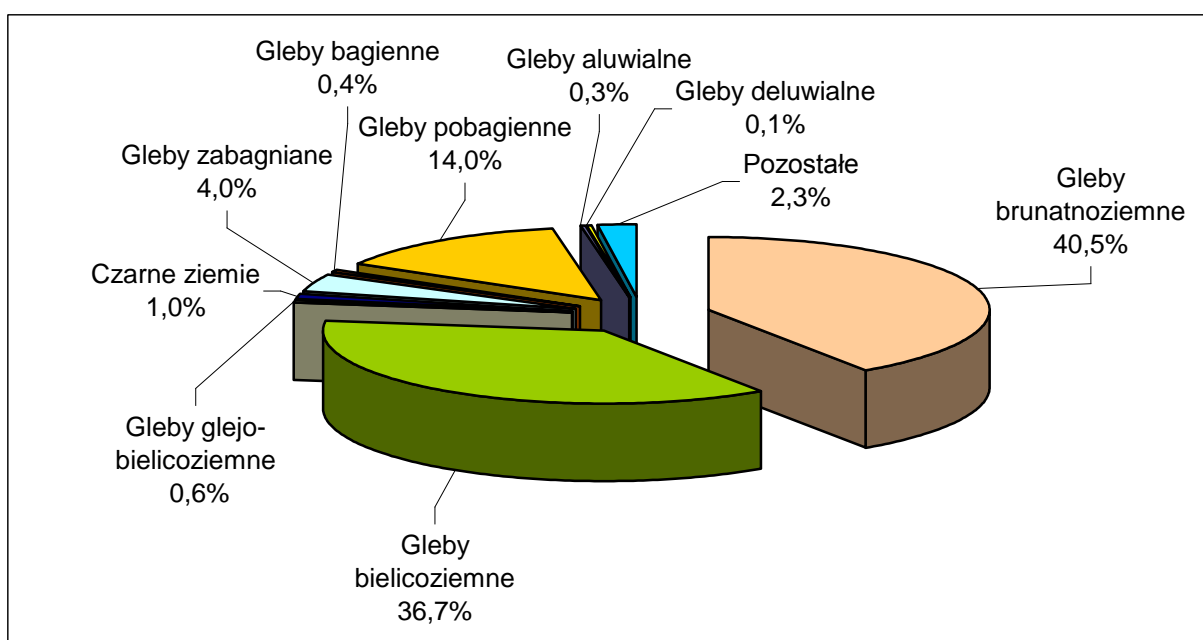
Zgodnie z podziałem przyrodniczo-leśnym lasy Nadleśnictwa Doświadczalnego położone są w Krainie Śląskiej (V), w Dzielnicy Wrocławskiej (2) a ściślej mówiąc w mezoregionie Równiny Oleśnickiej (g). Obszar ten znajduje się w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego - dominują tu krajobrazy staroglacjalne. Powierzchnię Dzielnicy Wrocławskiej tworzy głównie zdenudowana równina morenowa ze śladami ostańców, ozów, kemów i wzgórz morenowych. Większe doliny rzeczne i pradoliny wypełnione są przez piaski rzeczne tarasów akumulacyjnych.

Obszar zajmowany przez LZD Siemianice ma nizinny charakter równiny wodnolodowcowej i tarasów rzecznych. Na przeważającej części teren jest w zasadzie płaski lub lekko falisty, o stosunkowo słabym odpływie powierzchniowym. Elementem urozmaicającym rzeźbę terenu są wysoczyzny morenowe, ukształtowane w okresie zlodowacenia Odry, położone głównie w południowo-wschodniej części obszaru LZD. Charakteryzują się one stosunkowo znacznymi wysokościami względnymi, sięgającymi 10-30 metrów. Wzgórza moren czołowych na terenie obrębu Wołczyn, cechują się znacznymi deniwelacjami wynoszącymi od 10 do 30 m i stromymi stokami. Morfologię terenu miejscami urozmaicają dolinki młodych cieków.

Mimo pozornie równinnego ukształtowania terenu, dość znaczne są tu różnice w wysokości bezwzględnej: od 153 m n.p.m. (oddział 13), do 205 m n.p.m. (oddział 198).

Warunki glebowe zostały opracowane na podstawie Leśnej Mapy Numerycznej Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice z roku 2006.

Gleby rozpatrywanego obszaru są znacznie urozmaicone. Najliczniej na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice występują gleby bielicoziemne, które zajmują 36,7% powierzchni (Rys. 2.2.). Wśród tego typu gleb dominują gleby bielcowo-rdzawe (53%) i gleby brunatno-rdzawe (30%). Kolejnym typem gleb licznie występującym w LZD Siemianice są gleby brunatnoziemne (40,5%). Tu dominują gleby płowe typowe (32%), gleby brunatne kwaśne typowe (31%) oraz gleby płowe zbrunatniałe (15%). Dość licznie występuje typ gleb pobagiennych 14%. Gleby te składają się w 40% z gleb murszastych w 24% mineralno murszowych i 11% murszowatych właściwych. Nieliczne powierzchnie zajmują gleby deluwialne, aluwialne, bagienne i glejo-bielicoziemne.



Rys. 2.2.: Udział typów gleb na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice

Wielkości podstawowych czynników klimatycznych, charakteryzujących obszar LZD, przedstawia poniższa tabela.

Tabela 2.7. Podstawowe wielkości parametrów klimatycznych dla LZD Siemianice

Czynnik klimatyczny	
Średnia roczna suma opadów [mm]	630
Średnia roczna temperatura [ <sup>0</sup> C]	8,3
Średnia temperatura stycznia [ <sup>0</sup> C]	-2,3
Średnia temperatura lipca [ <sup>0</sup> C]	18,4
długość okresu wegetacyjnego [dni]	210-220
początek fenologiczny wiosny	28 marzec – 1 kwiecień
początek fenologiczny jesieni	1 września – 5 września

Zgodnie z „Operatem glebowo-siedliskowym i fitosocjologicznym LZD Siemianice” na terenie LZD Siemianice przeważają zbiorowiska roślinne grądu środkowoeuropejskiego (*Galio sylvatici-Carpinetum*), zajmujące ogółem około 38% powierzchni leśnej LZD. Znaczny jest tu także udział środkowoeuropejskiego acidofilnego lasu dębowego (*Calamagrostio arundinaceae-Quercetum*) (około 23% powierzchni). Łęgi jesionowo-wiązowe (*Ficario-Ulmetum*) zajmują około 10 %, podobnie jak subatlantycki bór sosnowy świeży (*Leucobryo-Pinetum*) i acidofilna buczyna niżowa (*Luzulo pilosae-Fagetum*). Udział pozostałych zbiorowisk roślinnych, w ujęciu roślinności potencjalnej, nie przekracza 5%.

Zgodnie z podziałem hydrograficznym Polski cała powierzchnia Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice należy do dorzecza Odry.

Według podziału głównych jednostek hydrograficznych obszar nadleśnictwa należy do dwóch zlewni. Są to zlewnie następujących rzek: Stobrawy (prawobrzeżnego dopływu Odry) oraz Proсны (lewobrzeżnego dopływu Warty). Pierwszy ciek jest rzeką II rzędu, natomiast Proсна to rzeka III rzędu. Zdecydowana większość terenów nadleśnictwa należy do zlewni rzeki Proсны. Do Stobrawy zakwalifikować można pas południowy.

Sieć hydrograficzna na tym obszarze jest dość dobrze rozwinięta. Warunki wodne nadleśnictwa można uznać za dobre dzięki rozległym podmokłym dolinom rzeczonym. Można jednak zaobserwować, iż w ostatnich latach wielkość terenów podmokłych uległa zmniejszeniu.

Naturalnych zbiorników wodnych na terenie nadleśnictwa nie ma. Jedyna większa powierzchnia wód stojących to stawy rybne w Kostowie, o powierzchni 57,54 ha.

Leśny Zakład Doświadczalny został scharakteryzowany na podstawie następujących źródeł: *Atlas podziału hydrograficznego Polski. Część 1, Atlas podziału hydrograficznego Polski. Część 2, Kondracki 2001, Koreferat Nadleśniczego Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice na II Komisję techniczno, Operat glebowo-siedliskowy i fitosocjologiczny LZD Siemianice, Referat na II KOMISJĘ TECHNICZNO-GOSPODARCZĄ „Leśny Zakład Doświadczalny Siemianice Obręb: Laski” wg stanu na 01.01.2004r, [www.lzd-siemianice.home.pl/main.htm](http://www.lzd-siemianice.home.pl/main.htm).*

Cytowana literatura:

- *Atlas podziału hydrograficznego Polski. Część 1. Mapy w skali 1:200 000. Praca zbiorowa pod kierunkiem Czarneckiej H. Warszawa 2005*
- *Atlas podziału hydrograficznego Polski. Część 2. Zestawienia zlewni. Praca zbiorowa pod kierunkiem Czarneckiej H. Warszawa 2005*
- <http://sycow.lasypanstwowe.poznan.pl/>
- <http://antonin.lasypanstwowe.poznan.pl/>
- *Kondracki J. (2001): Geografia regionalna Polski” Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.*
- *Koreferat Nadleśniczego Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice na II Komisję techniczno – gospodarczą. Analiza gospodarki leśnej ubiegłego okresu gospodarczego w LZD Siemianice 1.01.1994r. – 31.12.2003r. Siemianice styczeń 2005r.*
- *Kusiak W. (1997): Lasy Rychtałskie. Wydawnictwo Przegląd Leśniczy. Poznań.*
- *Mering K. (1997): Inną drogą. Lasy Rychtałskie. Echa Leśne Nr 2. str: 4-6.*
- *Operat glebowo-siedliskowy i fitosocjologiczny LZD Siemianice 1999*
- *Operat Urzędnictwa Gospodarstwa Leśnego dla Nadleśnictwa Antonin opracowany na okres 01.01.1994 – 31.12.2003*
- *Operat Urzędnictwa Gospodarstwa Leśnego dla Nadleśnictwa Syców opracowany na okres 01.01.2000 – 31.12.2009*
- *Publiczne streszczenie Planu Urzędnictwa Lasu Nadleśnictwa Syców Biuro Urzędnictwa Lasu i Geodezji Leśnej oddział w Poznaniu na okres 01.01.2000r. – 31.12.2009r. Zatwierdzony decyzją Ministra Środowiska nr BOA – lppul – 191/1729/2001 z dnia 20.07.2001r*
- *Referat na II KOMISJĘ TECHNICZNO-GOSPODARCZĄ „Leśny Zakład Doświadczalny Siemianice Obręb: Laski” wg stanu na 01.01.2004r. Akademia Rolnicza w Poznaniu Opracowano w Biurze Urzędnictwa Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Brzegu, styczeń 2005 r.*
- *Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. (1990): Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. PWRiL, Warszawa.*
- [www.lzd-siemianice.home.pl/main.htm](http://www.lzd-siemianice.home.pl/main.htm)
- <http://www.lp.gov.pl>



### **3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POWIERZCHNI DOŚWIADCZALNYCH I ZAKRESU BADAŃ**

Do szczegółowych badań wytypowano trzy powierzchnie doświadczalne – mikrozewnie (o powierzchniach: 8,58; 30,61 i 32,00 ha), które leżą prawie w całości, oprócz małych fragmentów w strefach wododziałowych, na leśnych terenach mokradłowych (Leśnictwa Marianka i Mariak) (rys. 8.1 i 8.2). Stanowi to istotę założonego doświadczenia, bowiem chodziło o oszacowanie odpływu właśnie z owych terenów nadmiernie uwilgotnionych.

W latach 2004-2007 prowadzono tam badania terenowe obejmujące m.in. limnigraficzne pomiary stanów wód w ciekach (3 przelewy Thomsona), cotygodniowe pomiary stanów wód gruntowych (51 studzienek), pobieranie próbek wód powierzchniowych, gruntowych i gleby do oznaczeń chemicznych (wykonywane dwa razy w roku) oraz badanie nośności nawierzchni dróg aparatem VSS (wykonywane okresowo). Dane meteorologiczne uzyskano ze stacji w Siemianicach.

Poszczególne składniki bilansu surowego uzyskano następująco: opad na podstawie standardowych pomiarów, ewapotranspirację obliczono metodą Konstantinowa, odpływ na podstawie stanów na przelewach, zmianę retencji oszacowano na podstawie zmian stanów wód gruntowych w studzienkach.

Ocenę warunków meteorologicznych (temperatury powietrza, opady atmosferyczne) w okresie badań przeprowadzono na podstawie danych ze stacji Siemianice, gdzie pomiary prowadzone są od 1975 roku. Do analiz przyjęto rok hydrologiczny 2004/2005, który w ocenie sum rocznych opadów atmosferycznych (514,5mm) i średnich rocznych temperatur powietrza (8,6°C) można zaliczyć do przeciętnych, ponieważ odchylenia powyższych wartości nie przekraczają 10% stosownych wartości średnich.

Prognozę zmian stosunków wodnych na tych terenach oparto na trendach czasowych: średnich rocznych temperatur powietrza oraz sum rocznych opadów atmosferycznych. Do modelowania odpływów wezbraniowych z terenów mokradłowych zastosowano konceptualny model Nasha, przy czym opad efektywny szacowano zmodyfikowaną metodą SCS-CN. Przedstawiono oryginalną metodę waloryzacji dla terenów Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice – jednego z trzech nadleśnictw składających się na Leśny Kompleks Promocyjny Lasy Rychtałskie, pod kątem potencjalnych możliwości retencjonowania wody. W ramach prowadzonych badań chemicznych wykonano: oznaczenia głównych wskaźników zanieczyszczeń wód gruntowych, powierzchniowych oraz gleb; ocenę

akumulacji metali ciężkich na podstawie rozkładu podatności magnetycznej gleb w układzie poziomym i pionowym; oznaczenia zawartości dioksyn w glebie. Oznaczenia chemiczne i badania geotechniczne wykonywano zgodnie z odpowiednimi polskimi normami (Miler i in. 2004-2006, 2005).

Cytowana literatura:

- Miler A.T., Kamiński B., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B., Stasik R., Krysztofiak A., Sobalak M., Poszyler-Adamska A., Przysiecka K., Kamiński M. (2004-2006): *Opracowanie strategii ochrony obszarów mokradłowych na terenie Leśnych Kompleksów Promocyjnych na przykładzie LKP Lasy Rychtalskie. Opracowania dla DGLP w Warszawie (maszynopisy).*
- Miler A.T., Kamiński B., Krysztofiak A., Sobalak M. (2005): *Inwentaryzacja obszarów mokradłowych na terenie Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtalskie oraz wstępne wyniki badań hydrologicznych. Infrastruktura i Ekologia Obszarów Wiejskich, PAN Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi 4: 85-98.*

#### 4. METODY OBLICZANIA TRENDÓW I OKRESOWOŚCI ZMIAN KLIMATYCZNYCH (TEMPERATUR POWIETRZA, OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH)

Podstawowe elementy klimatologiczne, takie jak: opad atmosferyczny i temperatura powietrza ulegają naturalnym zmianom w czasie. Są to wahania dobowe, sezonowe, roczne i wieloletnie, wywołane głównie ruchem obrotowym Ziemi, ruchem Ziemi wokół Słońca oraz zmianami aktywności Słońca (o okresach 11, 22, 35, 90 i 180 lat) (m.in. *Boryczka 1993, Woś 1994*). Ponadto ulegają one zmianom antropogenicznym, wynikającym np. ze wzrostu zawartości w atmosferze pyłów (absorpcja promieniowania słonecznego), jąder kondensacji pary wodnej i dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> (efekt cieplarniany atmosfery), czy też innych form działalności człowieka (melioracje, silna urbanizacja itd.).

Czynniki naturalne zmian klimatu wykazują okresowe (cykliczne) zmiany, natomiast czynnik antropogeniczny zmian klimatu cechuje stała tendencja zmian, tj. trend liniowy.

Czasowe zmiany klimatu zależą więc od:

- okresowości (cykliczności) – cecha naturalna,
- wzrostu zanieczyszczeń atmosfery – cecha antropogeniczna,
- przypadkowości.

#### Wybrane metody analizy statystycznej ciągów czasowych

Pierwszą najprostszą, bezpośrednią analizą ciągu czasowego danego parametru jest po prostu „ogład” wykresu przebiegu tego parametru w funkcji czasu. Dla łatwiejszej interpretacji trendów czy okresowości stosuje się „wygładzanie” przebiegów czasowych np. przez stosowne średnie konsekwtywne. Jednak najczęściej taka prosta analiza jest niejednoznaczna i trzeba stosować bardziej wyrafinowane metody analizy ciągów czasowych.

#### **Metoda szeregu Fouriera**

Ciąg chronologiczny - szereg czasowy  $F(t)$  dla danego parametru można opisać następująco :

$$F(t) = A_0 + A \cdot t + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T_i} \cdot t + \varphi_i\right) + \varepsilon(t), \quad (4.1)$$

gdzie :  $A_0$  - wartość stała,  $A$  - tendencja zmian,  $t$  - czas,  $A_i$  - amplituda,  $T_i$  - okres,

$\varphi_i$  - przesunięcie fazowe,  $i$  - numer harmonicznej,  $\varepsilon(t)$  - składnik losowy.

Do badania cykliczności szeregów czasowych stosowane są głównie dwie metody : analiza harmoniczna (bazująca na szeregu Fouriera) i analiza spektralna (metoda autokorelacyjna). W niniejszym opracowaniu opisano metodę analizy harmonicznej (aproxymacja szeregiem Fouriera) dającej więcej informacji niż metoda autokorelacyjna (Miler 1998).

Szeregiem Fouriera funkcji  $f(x)$  całkownalnej w przedziale  $[-\Pi, +\Pi]$  nazywamy wyrażenie :

$$\frac{1}{2} \cdot a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos nx + b_n \cdot \sin nx) , \text{ gdzie :} \quad (4.2)$$

$$a_n = \frac{1}{\Pi} \cdot \int_{-\Pi}^{+\Pi} f(x) \cdot \cos nx \cdot dx , \quad b_n = \frac{1}{\Pi} \cdot \int_{-\Pi}^{+\Pi} f(x) \cdot \sin nx \cdot dx , \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.3)$$

Można wykazać (Leja 1973), iż gdy funkcja  $f(x)$  jest przedziałami monotoniczna w przedziale  $[-\Pi, +\Pi]$  i okresowa o okresie  $2 \cdot \Pi$  to powyższy szereg (4.2) jest wszędzie zbieżny i ma sumę  $f(x_0)$  w każdym punkcie  $x_0$  ciągłości funkcji, a w każdym punkcie nieciągłości ma sumę  $(f(x_0+) + f(x_0-))/2$ . Da się zatem przedstawić za pomocą szeregu trygonometrycznego Fouriera w przedziale od  $-\Pi$  do  $+\Pi$  funkcje w pewnej mierze dowolne. Wzory (4.3) na współczynniki szeregu można otrzymać drogą interpolacji. W tym celu założmy, iż wielomian trygonometryczny stopnia  $n$  (zależny od  $2n + 1$  współczynników  $\alpha_k, \beta_k$ ) jest równy w punktach  $x_j$  wartości funkcji  $f(x_j)$ , czyli :

$$\frac{1}{2} \cdot a_0 + \sum_{k=1}^n (\alpha_k \cdot \cos k x_j + \beta_k \cdot \sin k x_j) = f(x_j) , \text{ gdzie :} \quad (4.4)$$

$$x_j = \frac{2 \cdot \Pi}{2 \cdot n + 1} \cdot j , \quad j = -n, -n + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, n .$$

Rozwiązując ten układ  $2n+1$  równań liniowych względem niewiadomych  $\alpha_v, \beta_v$  otrzymujemy następujące wzory :

$$\alpha_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \cos \nu x_j = \frac{1}{\Pi} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \cos \nu x_j \cdot \Delta x_j, \quad (4.5)$$

( $\nu = 0, 1, 2, \dots, n$ ),

$$\beta_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \sin \nu x_j = \frac{1}{\Pi} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \sin \nu x_j \cdot \Delta x_j, \quad (4.6)$$

( $\nu = 1, 2, \dots, n$ ),

gdzie :  $\Delta x_j = \frac{2 \cdot \Pi}{2 \cdot n + 1}$  .

Wartości (4.5) i (4.6) na  $\alpha_\nu, \beta_\nu$  gdy  $n \rightarrow \infty$ , a przyrosty  $\Delta x_j \rightarrow 0$  równocześnie dążą do  $a_\nu, b_\nu$  wyrażonych wzorem (4.3).

Oczywiście przedział  $[-\Pi, +\Pi]$  może być zastąpiony innym przedziałem, w szczególności przedziałem  $[0, T]$  . W tym przypadku rozważamy funkcję  $f(t)$  przedziałami monotoniczną w przedziale  $[0, T]$  i okresową o okresie  $T$ . Wzory (4.5) i (4.6) na współczynniki  $\alpha_\nu, \beta_\nu$  będą w tym przypadku miały postać :

$$\alpha_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=0}^{2n} f(t_j) \cdot \cos \nu \frac{2 \cdot \Pi}{T} t_j, \quad (\nu = 0, 1, 2, \dots, n), \quad (4.7)$$

$$\beta_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=0}^{2n} f(t_j) \cdot \sin \nu \frac{2 \cdot \Pi}{T} t_j, \quad (\nu = 1, 2, \dots, n), \quad (4.8)$$

gdzie :  $t_j = \frac{T}{2 \cdot n + 1} \cdot \left( \frac{1}{2} + j \right)$ ,  $j = 0, 1, \dots, 2n$  .

Natomiast wielomian trygonometryczny (4.4) będzie obecnie miał postać :

$$\frac{1}{2} \cdot \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sin \left( k \cdot \frac{2 \cdot \Pi}{T} \cdot t_j + \varphi_k \right), \quad (4.9)$$

gdzie :  $\gamma_k = \sqrt{\alpha_k^2 + \beta_k^2}$  - amplituda  $k$ -tej harmoniczej, (4.10)

$$\varphi_k = \arctg \frac{\alpha_k}{\beta_k} \quad - \text{ faza początkowa } k\text{-tej harmonicznej.} \quad (4.11)$$

Wartości  $\gamma_k$  (4.10) – tworzące widmo oscylacji danego parametru meteorologicznego (np. średniej rocznej czy miesięcznej temperatury, stosownych sum opadów atmosferycznych) – są podstawą oceny, która z harmonicznymi „odgrywa znaczącą rolę”.

Przykładowo (Miler 1998), obliczono amplitudy ( $\gamma_k$ ) 87 harmonicznymi dla średnich rocznych przepływów Warty w Poznaniu dla wielolecia 1822-1997. (Zbiór wartości dobowych przepływów Warty w Poznaniu należy do najdłuższych i najpełniej opracowanych zbiorów na świecie.) Znaczące wartości mają harmoniczne : 4 (dominująca), 10, 14, 22, 25 i 33. Wskazuje to na istnienie okresowości odpowiednio : 44 -, 17,5 -, 12,5 -, 8 -, 7 - i 5,3 - letnich. Cykliczność 44 - letnią można wiązać z cyklicznością aktywności Słońca, natomiast 8 - letnią z cyklicznością temperatur powietrza w Polsce (7,7 - letnią cykliczność temperatur powietrza w Polsce w latach 1951-90 wykazała Żmudzka (1995), taką samą cykliczność wykazują temperatury powietrza w Poznaniu w latach 1848-1995 Miler 1997).

Natomiast trend czasowy średnich rocznych przepływów ( $Q_{sr} = 89,2 + 0,084 \cdot T$  [m<sup>3</sup>/s],  $T$ -lata) jest statystycznie nieistotny (dla  $\alpha=0,05$ ) w całym okresie prowadzonych obserwacji tj. w latach 1822-1997.

### **Rangowa metoda oceny trendu Mann-Kendalla**

Rangowa metoda oceny trendu Mann-Kendalla (Michell 1966) służy ocenie czy kolejność rozkładu w czasie wartości mniejszych i większych jest przypadkowa czy nie. W tej metodzie w odniesieniu do każdej wartości w szeregu czasowym określa się liczebność następujących po niej wartości wyższych, a następnie oblicza się statystykę:

$$\tau = 4 \cdot P \cdot [N \cdot (N - 1)]^{-1} - 1, \quad (4.12)$$

gdzie:  $P = \sum n_i$ ,  $N$  – liczebność ciągu (niżej  $N = 50$ ),  $n_i$  – liczebność wartości wyższych od kolejnych wyrazów szeregu czasowego  $x_i$ .

Dodatnie wartości  $\tau$  oznaczają trend rosnący, tzn. wzrastającą w czasie częstość występowania wysokich wartości szeregu. Statystyka  $\tau$  ma rozkład zbliżony do normalnego

przy  $N > 10$  (Michell 1966), wartość oczekiwaną zero i wariancję  $(4N + 10)/9N(N - 1)$ . Można więc określić prawdopodobieństwo wystąpienia obserwowanej oceny trendu, tj. sprawdzić jego istotność (Kozuchowski i Żmudzka 2001).

Przykładowo w tabeli 4.1 znajdują się obliczone na podstawie 50-letnich (1951 – 2000) serii średnich miesięcznych i rocznych wartości temperatury w Polsce wartości statystyk  $\tau$  Mann-Kendalla; zaznaczono ich wartości znacząco różne od zera, przy założonym 5% poziomie istotności. Jak widać, szereg czasowy średnich rocznych wykazuje w badanym 50-leciu istotny trend rosnący. Najwyraźniejszą sekwencją rosnącą wyróżnia się średnia miesięczna temperatura w marcu, podobnie znacząca jest też tendencja temperatury w maju. Średnia temperatura w styczniu, lutym, kwietniu, lipcu, sierpniu, i październiku przejawia nieistotne trendy rosnące, a w czerwcu, wrześniu, listopadzie i grudniu – nieistotne trendy malejące. Upraszczając można więc stwierdzić, że w ciągu analizowanego okresu obserwowano nieprzypadkowe występowanie coraz wyższych średnich rocznych wartości temperatury, związanych z coraz wyższymi wartościami temperatury w sezonie wiosennym.

Tabela 4.1. Ocena rangowa trendu średnich miesięcznych i rocznych wartości temperatury w Polsce (1951-2000).

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
$\tau$	0,14	0,15	0,20	0,11	0,19	-0,10	0,10	0,11	-0,05	0,02	-0,08	-0,03	0,19

Test Kendalla-Manna (Mann 1945) – opierający się na statystyce korelacji rangowej Kendalla – pozwala wykryć występowanie zmian wewnątrz analizowanego ciągu w jego wartości średniej i wariancji. Test może być używany progresywnie w przód i wstecz według procedury zaproponowanej przez Sneyersa (1975) w przypadku rozważania zmian w wartości średniej. Z kolei jeżeli test Kendalla-Manna daje w rozpatrywanym ciągu podstawy do stwierdzenia występowania zmian, czyli niejednorodności w wartości średniej, to prowadzi się dalsze badania tego ciągu testem Lombarda.

### Test Lombarda

Test Lombarda (1988) pozwala określić liczbę punktów nagłej zmiany („skoku”) w wartości średniej rozpatrywanej realizacji.

Niech  $x_1, \dots, x_T$  będzie ciągiem niezależnych zmiennych losowych o liczebności  $T$ . Dystrybuantami rozkładu prawdopodobieństwa każdej z tych zmiennych są odpowiednio  $F(x-v_1), \dots, F(x-v_T)$ , gdzie  $v_1, \dots, v_T$  są wartościami średnimi rozpatrywanych zmiennych. Rozważana realizacja jest jednorodna gdy odpowiednie wartości średnie są sobie równe:

$$v_1 = \dots = v_T. \quad (4.13)$$

Równość ta stanowi hipotezę zerową  $H_0$  rozważanego testu, czyli:

$$H_0 (v_1 = \dots = v_T). \quad (4.14)$$

Nadrzędnym celem jest oszacowanie możliwości zmian w wartości średniej. W tym celu rozpatruje się unormowane wartości funkcji znanej w hydrologii pod nazwą krzywej całkowitej:

$$U_{t,T} = \frac{1}{\sqrt{T}} \cdot \sum_{i=1}^t \frac{(x_i - v_T)}{\sigma_T}, \quad (4.15)$$

gdzie  $v_T$  jest wartością średnią całej realizacji, a  $\sigma_T$  odchyleniem standardowym rozważanej serii czasowej, przy czym:

$$U_{0,T} = 0. \quad (4.16)$$

Jedną z najistotniejszych własności krzywej całkowitej jest ujawnianie wyraźnej zmienności, gdy w wartości średniej występują skokowe zmiany. W celu dostrzeżenia tej własności Lombard zaproponował wykonanie analizy Fourierowskiej krzywej całkowitej, po zbudowaniu ciągłej jej wersji ( $B_T(y)$ ):

$$B_T(y) = U_{t,T}, \quad (4.17)$$

gdzie  $Y = t/T$ ,  $t = 1, \dots, T$  i jest wykonywana liniowa interpolacja między punktami  $0, 1/T, \dots, 1$ .

Uwzględniając, że  $B_T(0) = B_T(1) = 0$ , ciąg Fouriera ma postać:

$$B_T(y) = \sqrt{2} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} Z_{k,T} \cdot \frac{\sin(k \cdot y \cdot \Pi)}{k \cdot \Pi}, \quad (4.18)$$



gdzie:

$$Z_{k,T} = \sqrt{2} \cdot k \cdot \Pi \cdot \int_0^1 B_T(u) \cdot \sin(k \cdot u \cdot \Pi) du . \quad (4.19)$$

Dla dużych  $T$  dyskretna wersja  $Z_{k,T}$  ma postać:

$$Z_{k,T} = \left(\frac{2}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \sum_{i=1}^T \cos\left(k \cdot \frac{(2 \cdot i - 1)}{2 \cdot T} \cdot \Pi\right) \cdot \frac{(x_i - \nu_T)}{\sigma_T} . \quad (4.20)$$

Skumulowane sumy zawierają sinusoidalne składowe, których współczynniki  $Z_{k,T}$  mają losowe amplitudy. Wariancja  $Z_{k,T}$  jest unormowana do wartości 1. Jeśli liczba  $k$  zmian w wartości średniej, odległych o mniej więcej taki sam przedział czasu, ujawni się w serii, to współczynnik Fouriera  $Z_{k,T}$  przyjmie największą wartość. W celu określenia liczby skokowych zmian w wartości średniej wystarczy stwierdzić największą wartość oszacowania współczynnika amplitudy. Musi to być uzupełnione oszacowaniem poziomu istotności, przy czym liczba  $n$  współczynników Fouriera musi być znacznie mniejsza od całkowitej liczby danych w realizacji.

Centralne twierdzenie graniczne orzeka przy niezależności składowych ciągu  $\{x_i\}$ , że przy dużym  $T$  zmienne  $Z_{k,T}$  są w przybliżeniu niezależnymi zmiennymi normalnymi o zerowej średniej i jednostkowej wariancji. Wykorzystując te własności wyznacza się przy dostatecznie dużym  $T$  prawdopodobieństwo tego, że wartość maksymalna wśród  $n$  wielkości  $Z_{k,T}$  jest większa od pewnej wartości  $T(\geq 0)$  traktowanej jako granica przedziału ufności testu:

$$P\left(\max_{1 \leq k \leq n} |Z_{k,T}| \geq \Gamma | H_0\right) = \alpha , \quad \alpha = 1 - (2 \cdot \Phi(\Gamma) - 1)^n , \quad (4.21)$$

gdzie  $\Phi$  jest wartością dystrybuanty rozkładu normalnego o zerowej średniej i jednostkowej wariancji. Prawdopodobieństwo (4.21) jest wyznaczone pod warunkiem prawdziwości hipotezy zerowej (4.14). Zależność (4.21) umożliwia dokonanie wyboru między hipotezą alternatywną (jedna lub więcej zmian w wartości średniej) i hipotezą zerową przy przyjętym poziomie istotności  $\alpha$ . Decyzja o przyjęciu lub odrzuceniu hipotezy zerowej zależy od wielkości prawdopodobieństwa – uzyskanego z zależności (4.21) – odpowiednio większego lub mniejszego od przyjętego wcześniej poziomu istotności  $\alpha$ .

Rozważany test pozwala jedynie oszacować liczbę zmian, a nie ich lokalizację czy wielkość. Innym ograniczeniem rozważanego testu jest jego niezdolność do detekcji kolejnych skoków o takim samym znaku.

Na początku badań należy arbitralnie przyjąć liczbę  $n$  analizowanych współczynników Fouriera. Jednak nie wiadomo, jak dobrać stosowną wartość  $n$ , chociaż przyjęcie lub odrzucenie hipotezy zerowej jest jednoznacznie zależne od wielkości tego parametru. Przyjęcie nadmiernie dużego  $n$  będzie zmieniać prawdopodobieństwo związane z największym współczynnikiem i może sztucznie umiejscowić statystykę testową wewnątrz rozważanego przedziału ufności. Założenie zbyt małej liczby współczynników może natomiast spowodować nieuzasadnione przyjęcie hipotezy zerowej. W każdym razie dobór wielkości współczynnika  $n$  zależy od oczekiwanej liczby zmian.

*Vannitsem i Nicolis (1991)* zanalizowali metodą Monte Carlo stosowalność testu Lombarda konfrontując go z seriami czasowymi o znanych właściwościach. Stwierdzili przede wszystkim, że zmiana nie jest pojęciem absolutnym i obiektywnym; zależy ona od długości realizacji i długości kroku próbkowania w stosunku do faktycznego czasu autokorelacji. Oznacza to, że test Lombarda może ujawniać zmiany w seriach stacjonarnych o ograniczonych liczebnościach, małych krokach próbkowania lub dużych czasach autokorelacji. Może on także całkowicie zignorować zmianę, jeśli:

- długość ciągu po domniemanej zmianie (przy przyjętej rozdzielczości) jest krótka względem całkowitej długości ciągu;
- kolejne zmiany są bliskie siebie;
- zmiany występują blisko końcowych punktów realizacji.

*Vannitsem i Nicolis (1991)* stosowali test Lombarda przy  $n=10$  i  $30$ , przy liczebności serii  $60 \leq T \leq 140$ . Wybór  $n=10$  jest wystarczający, jeśli oczekuje się do 3 zmian w serii.

*H. T. Mitosek (1992, 1994)* stwierdził także, że rozpatrywany test wykazuje także nieuzasadniony skok w przypadku serii, w której występuje trend w wartości średniej.

## Metoda sinusoid regresji J. Boryczki

Metoda J. Boryczki (1984) pozwala na wykrywanie rzeczywistych (optymalnych) okresów. Te optymalne okresy  $T$  zmian sekularnych wyznacza się przez eliminację sinusoid regresji:

$$y = a_0 + b \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T} \cdot t + c\right), \quad (4.22)$$

spośród  $T = 1, 2, \dots, n$ , gdzie  $n$  - liczba pomiarów.

Poszukiwane okresy optymalne  $T_j$  to minima lokalne wariancji resztkowej  $\varepsilon^2$  odpowiadające maksimum współczynnika korelacji wielokrotnej  $R = \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ , gdzie  $s$  jest odchyleniem standardowym zmiennej  $y$ . Model wykrywania optymalnych okresów jest weryfikowany za pomocą ostrego testu Fishera-Snedecora  $F = \frac{n-3}{2} \cdot \frac{R^2}{1-R^2}$ , o 2 i  $n-3$  stopniach swobody (Zieliński, 1972).

Znalezienie ukrytego okresu  $T_j - t_j$  optymalnej sinusoidy regresji sprowadza się do wyznaczenia równania płaszczyzny regresji:

$$y = a_0 + \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2, \quad (4.23)$$

względem zmiennych  $x_1 = \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T} \cdot t\right)$ ,  $x_2 = \cos\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T} \cdot t\right)$ . Amplituda ( $b$ ) elementu hydroklimatycznego i przesunięcie fazowe ( $c$ ) określone są wzorami:

$$b = (\alpha^2 + \beta^2)^{\frac{1}{2}}, \quad \operatorname{tg}(c) = \frac{\beta}{\alpha}, \quad (4.24)$$

gdzie kąt spełnia warunki  $\alpha = b \cdot \cos(c)$ ,  $\beta = b \cdot \sin(c)$ .

Metodą optymalnych okresów można wyznaczyć odcinek sinusoidy regresji o okresie dłuższym niż długość ciągu pomiarowego ( $T > n$ ). Można ją także stosować w przypadku

niekompletnych ciągów chronologicznych (braku danych obserwacyjnych w niektórych latach). Metoda ta jednak zakłada liniowość systemu (tylko wtedy można dokonywać stosownej superpozycji, czyli składania), co nie zawsze jest prawdziwe.

Znając optymalne okresy  $T_j$  możemy wyznaczyć trend czasowy elementu hydroklimatycznego według równania:

$$y = f(t) = a_0 + \sum_{j=1}^k b_j \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T_j} \cdot t + c_j\right), \quad (4.25)$$

minimalizując wariancję resztkową:

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [Y_i - f(t_i)]^2, \quad (4.26)$$

gdyż okresy  $T_j$  są niewspółmierne.

Przez ekstrapolację funkcji trendu czasowego  $f(t)$  analizowanych zmiennych można dokonać ich rekonstrukcji ( $t < 0$ ), bądź uzyskać prognozę ( $t > 0$ ) z dowolnym wyprzedzeniem czasowym.

Jeżeli do funkcji  $y = f(t)$ , aproksymującej okresowe (naturalne) zmiany wynikające z nakładania się rzeczywistych cykli, dodamy składnik liniowy  $\Delta y = a \cdot t$ , to model trendu czasowego  $F(t)$  rozdzielimy na dwa składniki:

$$y = F(t) = a_0 + a \cdot t + \sum_{j=1}^k b_j \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T_j} \cdot t + c_j\right), \quad (4.27)$$

$a_0 + a \cdot t$  - odpowiada za zmiany antropogeniczne,

$\sum_{j=1}^k b_j \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi}{T_j} \cdot t + c_j\right)$  - odpowiada za zmiany naturalne wynikające z cykli rzeczywistych  $T_j$ .

Składnik liniowy o stałej tendencji  $a = \text{constans}$  może wykazywać wpływ sukcesywnie postępujących zmian pochodzenia antropogenicznego. Jeżeli współczynnik regresji  $a > 0$ , to zmiany antropogeniczne mają tendencję wzrostową a gdy zaś  $a < 0$  – tendencję spadkową.

Cytowana literatura:

- Boryczka J. (1984): *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu. Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, nr 234, Warszawa.*
- Boryczka J. (1993): *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych.*
- Gutry-Korycka M., Boryczka J. (1990): *Długookresowe zmiany elementów bilansu wodnego w Polsce i w zlewisku Bałtyku. Przegląd Geofizyczny, zeszyt 3-4.*
- Kozuchowski K., Żmudzka E. (2001): *Ocieplenie w Polsce. Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. Przegląd Geofizyczny, zeszyt 1-2.*
- Leja F. (1973): *Rachunek różniczkowy i całkowy. Biblioteka Matematyczna 2. PWN, Warszawa.*
- Lombard F. (1988): *Detecting change points by Fourier analysis. Technometrics, t. 30, nr 3.*
- Mann H.B. (1945): *Nonparametric tests against trend. Econometrica, t. 13.*
- Michell J.M. (1966): *Climatic change. WMO, Technical Note No. 79, Geneva.*
- Miler A. (1997): *Okresowość odpływu ze zlewni Strugi Dormowskiej. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, 294, Melioracje i Inżynieria Środowiska 19, część 1.*
- Miler A. (1998): *Modelowanie obszarowych zmienności różnych miar retencji. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu.*
- Mitosek H.T. (1994): *Odzwierciedlenie wahań klimatu w miesięcznych ciągach przepływu rzecznoego – podejście statystyczne. Przegląd Geofizyczny, zeszyt 1.*
- Mitosek H.T. (1992): *Odzwierciedlenie wahań klimatu w rocznych seriach czasowych – podejście statystyczne. Przegląd Geofizyczny, zeszyt 1-2.*
- Sneyers R. (1975): *Sur l'analyse statistique des séries d'observations. OMM, Note Technique No. 10, Genève.*
- Vannitsem S., Nicolis C. (1991): *Detecting climatic transitions: Statistical and dynamical aspects. Beitr. Phys. Atmosph., t. 64, nr 3.*
- Woś A. (1994): *Klimat niziny Wielkopolskiej. Wyd. UAM, Poznań.*

- *Żmudzka E. (1995): Tendencje i cykle zmian temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-1990. Przegląd Geofizyczny, (rocznik 40) zeszyt 2.*

## 5. STAN AKTUALNY ORAZ PROGNOZA ZMIAN STOSUNKÓW WODNYCH NA OBSZARACH MOKRADŁOWYCH LEŚNEGO KOMPLEKSU PROMOCYJNEGO LASY RYCHTALSKIE

Celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie aktualnego stanu stosunków wodnych oraz prognozy ich zmian w nadchodzących latach na obszarach mokradłowych LKP Lasy Rychtalskie.

### Aktualny stan stosunków wodnych

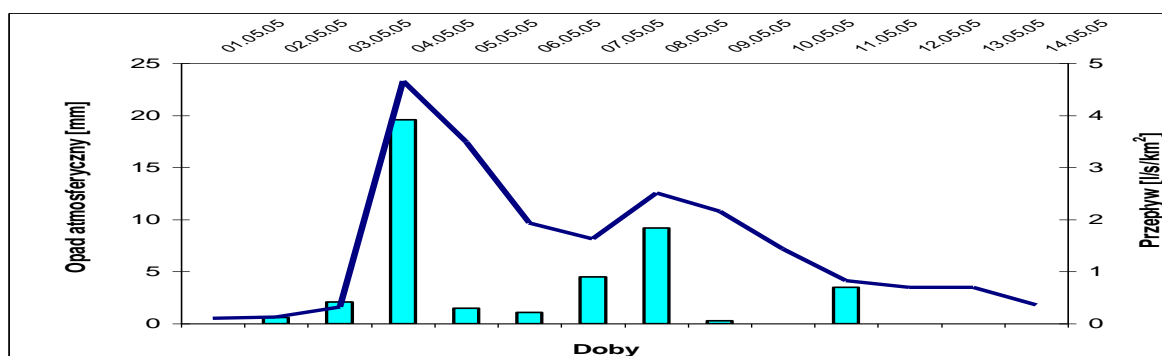
W tabeli 5.1 zestawiono wartości miesięczne i roczne składników zrównoważonego bilansu wodnego obszarów mokradłowych LKP Lasy Rychtalskie, obliczonego poprzez uśrednienie wyników z trzech powierzchni doświadczalnych, dla roku hydrologicznego 2004/2005.

Tab.5.1. Zrównoważony bilans wodny mokradel Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtalskie w roku hydrologicznym 2004/2005

Miesiące	Składniki bilansu wodnego [mm]			
	Opad	Parowanie	Odływ	Zmiana retencji
XI	77,5	10,7	0,5	+126,6
XII	22,9	11,3	0,5	+104,0
I	43,4	14,3	1,2	+51,0
II	8,0	13,9	2,2	+26,2
III	23,9	17,9	13,3	+5,8
IV	27,9	46,4	1,9	-15,0
V	93,3	78,8	0,8	-54,7
VI	33,7	80,5	0,0	-119,2
VII	58,0	90,0	0,0	-72,4
VIII	61,6	72,9	0,0	-36,4
IX	32,3	46,8	0,0	-25,8
X	8,2	25,5	0,0	+15,0
Rok	<b>534,6</b>	<b>509,1</b>	<b>20,5</b>	<b>+5,0</b>

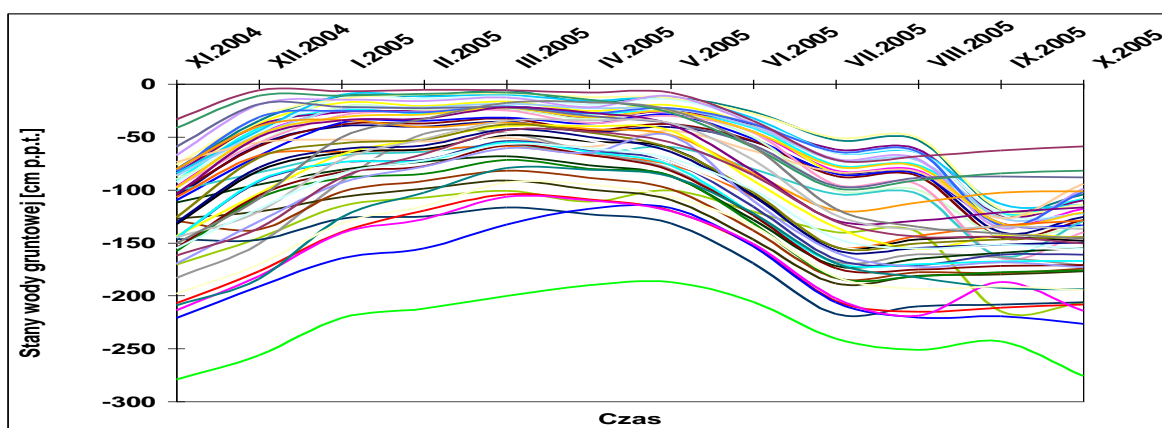
Odływ roczny z badanych terenów mokradłowych jest stosunkowo niewielki ok. 4-5 % sumy opadów rocznych. Okresowo cieki zanikają – odpływy notowane są w okresie około 200 dni w roku. W okresie prowadzonych badań nie odnotowano typowych wezbrań tzn. bazujących na spływie powierzchniowym, które w badanych mikrozewniach przy opadach nawalnych powinny trwać najwyżej parę godzin. Obserwowane wezbrania – podwyższone odpływy deszczowo-roztopowe lub deszczowe zasilane były z odpływów: podpowierzchniowego i gruntowego (rys. 5.1). Powyższe świadczy o stosunkowo bardzo

dużych zdolnościach retencyjnych badanych terenów mokradłowych (drzewostan, ściółka, zagłębienia terenowe, gleby).



Rys.5.1. Przykładowy hydrograf wezbrania (01-14.05.2005) na obszarach mokradłowych Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtalskie

Przeciętne stany wód gruntowych zalegają dość płytko około 1 m p.p.t., przy odchyleniu standardowym około 0,5 m. Głębokość lustra wody gruntowej zmienia się na badanych obszarach mokradłowych dość regularnie, nie zaznaczają się wyraźnie przesunięcia fazowe (rys.5.2). Odnotowano też krótkie okresy stagnowania wody na powierzchni terenu. Odpływy w ciekach występują, gdy stany wód gruntowych są wyższe niż w przybliżeniu ich wartości średnie roczne.



Rys.5.2. Stany wody gruntowej na obszarach mokradłowych Leśnym Kompleksie Promocyjnym Lasy Rychtalskie w roku hydrologicznym 2004/2005



## Prognoza zmian stosunków wodnych

Bazując na danych meteorologicznych z Siemianic (1975-2006), obliczono trendy: średnich rocznych temperatur powietrza (+0,041 °C/rok) oraz sum rocznych opadów atmosferycznych (-1,573 mm/rok). Powyższe trendy są statystycznie istotne odpowiednio na poziomach istotności  $\alpha=0,05$  i 0,25. Zmiany roczne dla sum rocznych opadów atmosferycznych i średnich rocznych temperatur powietrza odpowiednio dla poszczególnych miesięcy i całego roku zestawiono w tabeli 5.2.

Tab.5.2. Zmiany roczne dla miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych i średnich temperatur powietrza

Miesiące	Zmiana roczna	
	Opadu [mm]	Temperatury [°C]
XI	-0,06	+0,01
XII	+0,05	-0,01
I	-0,66	+0,02
II	+0,82	+0,09
III	+0,07	-0,01
IV	-0,04	+0,08
V	+0,40	+0,05
VI	-0,57	+0,07
VII	+0,08	+0,07
VIII	-0,30	+0,10
IX	-0,75	+0,02
X	-0,60	+0,01
Rok	<b>-1,573</b>	<b>+0,041</b>

Dodatni roczny trend średnich rocznych temperatur powietrza (+0,041°C/rok) będzie niewątpliwie stymulował wzrost ewapotranspiracji, lecz ta zależy, jak wiadomo, od wielu czynników m.in. od dostępności wody. Zatem w prognozie zmian stosunków wodnych badanych terenów przyjęto założenie, że ewapotranspiracja nie będzie ulegać istotnym zmianom. Odpływ z badanych terenów mokradłowych jest tak niewielki, iż można jego zmiany pominąć w prognozach.

Ostatecznie, prognozę zmian stosunków wodnych na badanych terenach mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie, wyrażającą się zmianami stanów wód gruntowych, oparto na ujemnym rocznym trendzie sum rocznych opadów atmosferycznych (-1,573mm/rok).

Jeżeli przyjąć założenie, że istotne zmiany w ekosystemach mokradłowych będą zachodzić, gdy średni poziom wód gruntowych spadnie o ok. 50cm (50% obecnego średniego stanu wód gruntowych), na skutek malejących sum rocznych opadów atmosferycznych, to można szacować, że nastąpi to po około 100 latach.

Przy przyjętych założeniach jak wyżej oraz porowatości gleb w warstwie wodonośnej 34%, po 100 latach malejące opady spowodują obniżenie stanów wód gruntowych średnio o 46,3cm. Takie oszacowanie może budzić wątpliwości, bowiem bazuje na tylko ok. 30-letnim ciągu obserwacji opadów w Siemianicach.

Gdyby „wydłużyć” ciąg obserwacyjny w Siemianicach, np. poprzez związek korelacyjny z ciągiem obserwacji opadów we Wrocławiu (LKP Lasy Rychtałskie oddalony jest o ok. 40km), gdzie obserwacje są prowadzone od 1860 roku, to obliczony trend sum rocznych opadów atmosferycznych wyniósłby zaledwie -8,8mm/100lat. Zatem praktycznie, malejący trend sum rocznych opadów atmosferycznych w tym wypadku nie stanowiłby zagrożenia degradacji badanych terenów mokradłowych.

To jednak także może budzić wątpliwości, bowiem opady atmosferyczne mają charakter lokalny oraz okresowy. Przykładowo Poznań charakteryzuje się bardzo stacjonarnym klimatem w dłuższym okresie 1848-2000, a jednocześnie występują trendy okresowe zarówno średnich rocznych temperatur powietrza jak i sum rocznych opadów atmosferycznych (*Miler A.T., Miler M. 2005*).

Ostatecznie, zasadne wydaje się przyjęcie dla prognozy zmian stosunków wodnych na obszarach mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie wyników pomiarów opadów i temperatur z Siemianic. Okres obserwacji 1975-2006 nie jest, co prawda zbyt długi, ale jednocześnie reprezentatywny i w miarę jednorodny („gwarancją” jest właśnie krótki okres obserwacji). Obliczone wyżej „100 lat ...” ma oczywiście charakter szacunkowy. Niemniej oddaje rząd wielkości, co do okresu, po którym możliwe jest takie przesuszenie leśnych terenów mokradłowych, iż zmienią one swój charakter, przestaną być siedliskami nadmiernie uwilgotnionymi.

Dodatkowo należy zaznaczyć, że oprócz trendów czasowych temperatury powietrza i opady atmosferyczne będą zmieniać się cyklicznie. Trzydziestoletnie dane meteorologiczne ze stacji w Siemianicach nie mogą być podstawą do obliczeń cykliczności. Przyjęto zatem, do obliczeń owych cykliczności dane ze stacji w Poznaniu, gdzie ciągłe obserwacje opadów atmosferycznych i temperatur powietrza prowadzi się od 1848 roku. Stosując analizę

harmoniczną (bazującą na szeregu Fouriera) (rozdz. 4) można wykazać, iż średnie roczne temperatury powietrza w Poznaniu charakteryzują się cyklicznością 7,7– 2,2– i 5,5– letnią, natomiast sumy roczne opadów atmosferycznych charakteryzują się cyklicznością 2,1– i 9,6– letnią.

Powyższe wartości mają oczywiście charakter szacunkowy dla terenów Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie. Niemniej potwierdzeniem zasadności takich oszacowań, w szczególności dla temperatury powietrza, mogą być wyniki średnich rocznych temperatur powietrza (oraz średnich amplitud rocznych) ( $^{\circ}\text{C}$ ) w latach 1961-1990 dla Poznania i Wrocławia wynoszące odpowiednio 8,2 (20,0) i 8,3 (19,5) (Kossowska-Cezak2000).

#### Cytowana literatura:

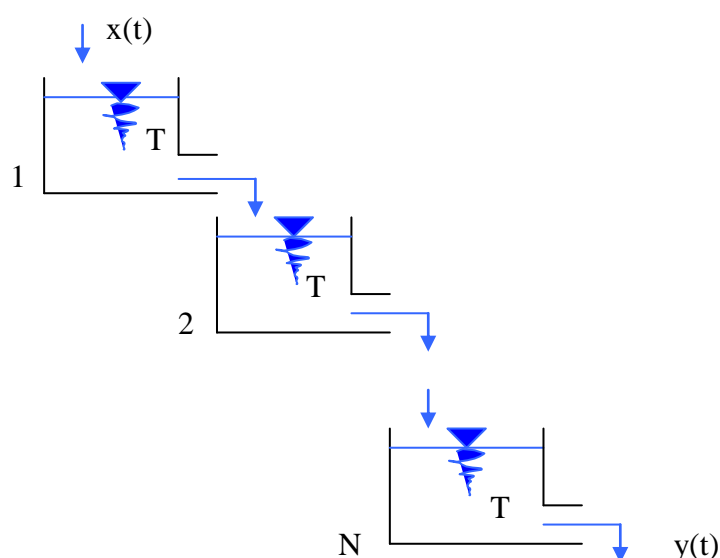
- Kossowska-Cezak U. (2000): *Meteorologia i klimatologia. Pomiar, obserwacje, opracowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.
- Miler A.T., Miler M. (2005): *Trendy i okresowości zmian temperatury oraz opadów dla Poznania w latach 1848-2000*. Zesz. Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Środ. Politech. Koszal., Inż. Środ. 22: 945-956.

## 6. MODELOWANIE ODPLYWU Z LEŚNEJ ZLEWNI MOKRADŁOWEJ

Do modelowania odpływów wezbraniowych z terenów mokradłowych zastosowano konceptualny model Nash'a, a opad efektywny próbowano szacować zmodyfikowaną metodą SCS-CN.

### Model Nash'a

Często stosowanym w hydrologii inżynierskiej modelem konceptualnym jest opracowany przez Nash'a (1958) model w postaci kaskady N liniowych, identycznych zbiorników o stałej czasowej T (rys. 6.1).



Rys.6.1. Schemat modelu Nash'a

Opad efektywny (histogram)  $x(t)$  można opisać w postaci szeregu sygnałów prostokątnych:

$$x(t) = \sum_{i=1}^{t_i + \Delta t_i \leq t} [x_i \cdot (\eta(t - t_i) - \eta(t - (t_i + \Delta t_i)))] \quad (6.1)$$

gdzie:  $\eta(t)$  - funkcja skoku jednostkowego Heaviside'a,  $t_{i+1} = t_i + \Delta t_i$ .

Można wykazać (Miler 1994), że odpowiedź kaskady zbiorników liniowych (człon inercyjny N-tego rzędu) na powyższe wymuszenie, opisane przez M sygnałów prostokątnych wyraża się wzorami:

dla  $N > 2$

$$\begin{aligned}
 y(t) = & \frac{1}{T^N \cdot (N-1)!} \cdot \sum_{i=1}^M (x_i \cdot (-\exp(-\frac{(t-t_i)}{T})) \cdot (T \cdot (t-t_i))^{N-1} + \\
 & + \sum_{l=1}^{N-2} (T^{l+1} \cdot (\prod_{j=0}^{l-1} (N-1-j)) \cdot (t-t_i)^{N-1-l}) + (N-1)! T^N) + \\
 & + \exp(-\frac{(t-t_i-\Delta t_i)}{T}) \cdot (T \cdot (t-t_i-\Delta t_i))^{N-1} + \sum_{l=1}^{N-2} (T^{l+1} \cdot \\
 & \cdot (\prod_{j=0}^{l-1} (N-1-j)) \cdot (t-t_i-\Delta t_i)^{N-1-l}) + (N-1)! T^N))
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

dla  $N=2$

$$\begin{aligned}
 y(t) = & \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^M (x_i \cdot (-\exp(-\frac{(t-t_i)}{T})) \cdot (t-t_i+T) + \\
 & + \exp(-\frac{(t-t_i-\Delta t_i)}{T}) \cdot (t-t_i-\Delta t_i+T))
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

dla  $N=1$

$$y(t) = \sum_{i=1}^M (x_i \cdot (-\exp(-\frac{(t-t_i)}{T}) + \exp(-\frac{(t-t_i-\Delta t_i)}{T}))) \tag{6.4}$$

Uproszczeniu ulegają powyższe wzory, gdy przyjąć  $t_i = 0$  i  $\Delta t_i = 1$  dla  $i=1, \dots, M$ .

Liczbę (N) zbiorników kaskady Nash'a można oszacować z zależności:

$$N = 3,329 \cdot (R_B / R_A)^{0,744} \cdot R_L^{0,072} \tag{6.5}$$

gdzie:  $R_B$  – wskaźnik bifurkacji,  $R_A$  – wskaźnik powierzchni zlewni,  $R_L$  – wskaźnik długości cieków, ( $R_B, R_A, R_L$  – wskaźniki geomorfologiczne – prawa Hortona) (Ostrowski 1988).

Stałą czasową (T) dobiera się w czasie kalibracji modelu dla danej zlewni.

W modelach opad-odpływ bardzo ważne jest właściwe oszacowanie opadu efektywnego. Przy obliczaniu opadu efektywnego, kształtującego odpływ bezpośredni, stosowane są cztery metody: stałej wysokości strat, stałego współczynnika strat, formuły wykładniczej i metoda SCS-CN. Dwie pierwsze proste metody nie wymagają komentarza. Metoda formuły wykładniczej określa opad efektywny w funkcji wykładniczej opadu całkowitego (Guillot i Duband 1979). Czwarta metoda SCS-CN, opracowana przez Służbę Ochrony Gleb (Soil Conservation Service) w USA, uważana jest za bardzo efektywną (Rallison Miller 1981).

## Model obliczania opadu efektywnego

Model SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) bazuje na założeniu, że czynniki decydujące o rozdziale opadu całkowitego (P) na opad efektywny (x) skutkujący wezbraniem zależą od pokrycia zlewni, rodzaju gruntu oraz wilgotności początkowej przed wystąpieniem opadu skutkującego wezbraniem. Syntetycznym parametrem ujmującym te cechy jest bezwymiarowy wskaźnik CN. Stąd opad efektywny (x) jest funkcją parametru CN (*USDA-NRCS National Engineering Handbook 1985*).

Podstawowe założenia modelu, to założenie równości proporcji retencji aktualnej do retencji maksymalnej zlewni oraz opadu efektywnego do opadu całkowitego pomniejszonego o stratę początkową (6.6), założenie bilansowe stanowiące, że opad całkowity (P) jest sumą straty początkowej (Ia) infiltracji aktualnej (F) oraz opadu efektywnego (x) (6.7). Parametr CN jest związany zależnością empiryczną z parametrem (S). Dodatkowo wartość straty początkowej (Ia) została związana na zasadzie zależności empirycznej z wartością maksymalnej potencjalnej retencji (S) (6.8) (*Mishra i Singh 2003*). Zatem:

$$\frac{F}{S} = \frac{x}{P - Ia} \quad (6.6)$$

$$P = Ia + F + x \quad (6.7)$$

$$Ia = \lambda \cdot S \quad (6.8)$$

Ustalono empirycznie, że zazwyczaj wartość  $\lambda \in [0; 0,3]$ . Typowa wartość parametru  $\lambda$  to 0,2.

Czyli

$$Ia = 0,2 \cdot S \quad (6.9)$$

Po prostych przekształceniach otrzymujemy:

$$x = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad \text{dla } P > Ia \quad (6.10)$$

$$x = 0 \quad \text{dla } P \leq Ia \quad (6.11)$$

Maksymalna retencja S związana jest z bezwymiarowym parametrem CN  $\in [1; 100]$ , dla wartości P i x wyrażonych w milimetrach S obliczana jest z zależności:

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (6.12)$$

Metoda SCS-CN pierwotnie opracowana została w zasadzie dla obszarów rolniczych. Las był rozpatrywany jako jednorodna pod względem budowy kategoria użytkowania terenu (*Mishra i Singh 2003*).

W odniesieniu do implementacji modelu SCS-CN dla zlewni typowo leśnych, sposób określania wartości CN według metody oryginalnej był niewystarczający i podlegał modyfikacji, doprecyzowaniu uwzględniającym specyfikę zróżnicowania budowy ekosystemów leśnych. Należy jednak przyznać, że próby takie były dotychczas nieliczne i nie prowadziły w zasadzie do wypracowania powszechnie stosowanych uogólnień (np. *USDA-NRCS National Engineering Handbook 1985*). W odniesieniu do ekosystemów leśnych Polski metodykę obliczania wartości parametru CN na bazie cech środowiska leśnego zaproponował *Okoński (2006)*.

W toku badań nad zastosowaniem metody SCS-CN wykazano, że wartości empiryczne parametru CN częstokroć odbiegają znacznie od wartości parametru według oryginalnej metody (*Hawkins 1979, Hawkins i Rietz 2001*). Dotyczy to również wartości parametru CN przyjętych dla obszaru Polski na podstawie metody oryginalnej (*Mishra i Singh 2003*). Różnice te wynikają z faktu, że wartości parametru CN zostały opracowane na podstawie maksymalnych rocznych, dobowych wartości sum opadu całkowitego, dla relatywnie wysokich wezbrań głównie z obszaru umiarkowanej strefy klimatycznej Ameryki Północnej. Metodę SCS-CN opracowano wprawdzie na bazie obszernego materiału badawczego, to jednak ostateczna postać metody była warunkowana przez specyfikę lokalnych warunków fizyczno-geograficznych. Warunki te były znacznie odmienne od warunków obszaru Polski. Stąd kluczowe zagadnienie dotyczące zastosowania metody SCS-CN w danych warunkach fizyczno-geograficznych, wiąże się z koniecznością dostosowania parametrów modelu - głównie wartości parametrów CN oraz  $\lambda$  (opracowania nowego zestawu krzywych rozdziału opadu całkowitego na efektywny) (*Mishra i Singh 2003*). Rozwiązanie zarysowanego tu problemu, dla lasów Polski, stanowi kluczowe zagadnienie badawcze związane ze stosowaniem metody SCS-CN na obszarach leśnych. Ostatnio zaproponowano uniwersalną i łatwą do przenoszenia na inne zlewnie metodykę adaptacji modelu SCS-CN, zakładającą dostosowanie parametru CN do warunków fizyczno-geograficznych zlewni. Metoda była testowana w zlewni położonej w Wielkopolsce dając zadawalające wyniki. Procedura tej metody została opisana niżej (*Okoński 2006*).

Dokonuje się wyodrębnienia epizodów wezbraniowych za rozważany okres. Z odpływu całkowitego wydziela się odpływ bezpośredni, tożsamy z opadem efektywnym ( $x$ ). Określa

się również wartości opadu całkowitego (P), których efektem były wezbrania. Zatem, dla każdego epizodu opadowego uzyskuje się pary wartości ( $P_i$ ,  $x_i$ ), które rozpatruje się oddzielnie dla każdej z grup wilgotności początkowych zlewni (AMC).

Z przekształcenia wzoru (6.10), otrzymujemy wzór:

$$S_i = 5 \cdot (P_i + 2 \cdot x_i - \sqrt{4 \cdot x_i^2 + 5 \cdot P_i \cdot x_i}) \quad (6.13)$$

gdzie:  $S_i$  – wartość maksymalnej potencjalnej retencji odpowiadająca parze wartości ( $P_i$ ,  $x_i$ ),  $P_i$  – wartość opadu całkowitego oraz  $x_i$  – wartość opadu efektywnego dla i-go epizodu wezbraniowego.

Na podstawie wzoru (6.13) oblicza się wartości maksymalnej potencjalnej retencji ( $S_i$ ) przypisane każdej parze wartości ( $P_i$ ,  $x_i$ ) związanych z epizodami opadowymi skutkującymi wezbraniem. Następnie oblicza się przeciętną wartość maksymalnej potencjalnej retencji ( $S$ ) dla zlewni. Z kolei, korzystając z przekształconego wzoru (6.12) dla przeciętnej empirycznej wartości maksymalnej potencjalnej retencji ( $S_{sr}$ ) oblicza się odpowiadającą jej wartość parametru CN ( $CN_{sr}$ ) (*Hawkins 1979*):

$$CN_{sr} = \frac{25400}{254 + S_{sr}} \quad (6.14)$$

gdzie:  $CN_{sr}$  – wartość empiryczna parametru CN,  $S_{sr}$  – przeciętna empiryczna wartość retencji maksymalnej dla zlewni.

Z ogólnych założeń metody SCS-CN wynika, że wartości parametru CN=1 i CN=100 są stałe dla każdej zlewni, w tym również w przypadku modyfikacji metody. Wartości te nie podlegają zmianie, dla warunków, gdy odpływ, niezależnie od wartości opadu, w zasadzie nie wystąpi, np.: opad na powierzchnię doskonale przepuszczalną (CN=1) oraz dla warunków, gdy opad całkowity w całości jest przekształcany w opad efektywny, np.: opad na powierzchnię wody lub powierzchnię całkowicie nieprzepuszczalną (CN=100).

Uwzględniając powyższe założenie dotyczące równości wartości skrajnych parametru CN a także biorąc pod uwagę wartości parametru CN obliczone według oryginalnej metody oraz odpowiadające im wartości empiryczne, można określić 3 pary korespondujących ze sobą wartości, odpowiednio dla oryginalnej metody i metody dostosowanej do warunków danej zlewni (wartość empiryczna). Następnie wykorzystuje się uogólnioną postać wzoru empirycznego opracowanego do przeliczania wartości parametru CN według metody oryginalnej na dostosowane do warunków konkretnej zlewni (*Woodward i in. 2003*):



$$CN_{emp} = \frac{100}{a \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1\right)^b + 1} \quad (6.15)$$

gdzie:  $CN_{emp}$  – empiryczna wartość parametru CN, CN – wartość parametru według oryginalnej metody, a, b – współczynniki empiryczne.

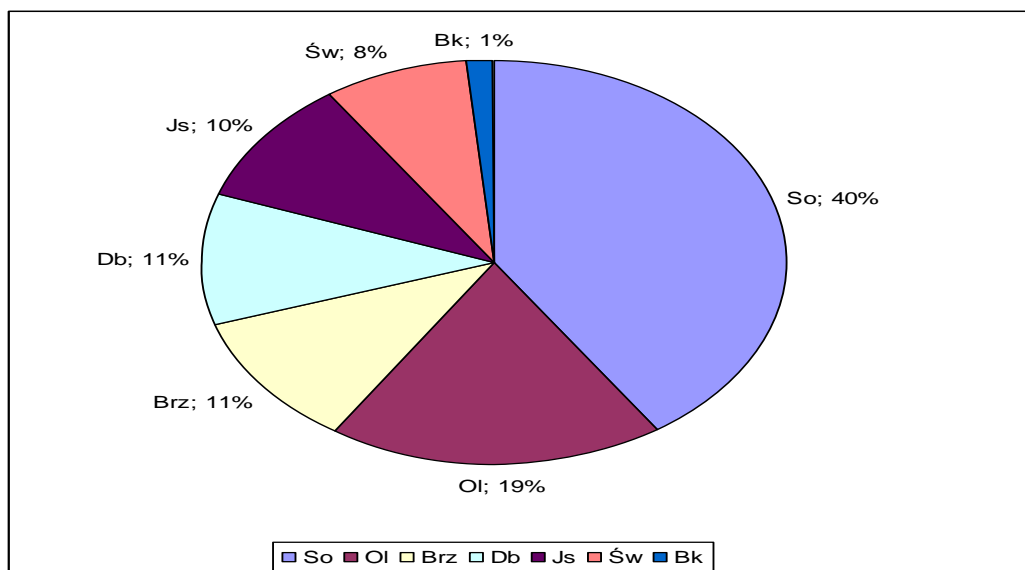
Wykorzystując określone wyżej pary odpowiadających sobie wartości parametru CN, z zależności regresyjnej oblicza się współczynniki a i b dla równania (6.15). Bazując na sparametryzowanym równaniu przelicza się wartości parametrów CN według metody oryginalnej na wartości parametrów CN uwzględniające warunki odpływu z danej zlewni oraz zróżnicowanie pokrycia leśnego.

Cechą charakterystyczną bilansu wodnego zlewni obszarów mokradłowych jest niewielki udział odpływu powierzchniowego w stosunku do opadu. Dla zlewni nizinnych na ogół roczny odpływ całkowity nie przekracza 10% wartości opadów, zaś w leśnych zlewniach mokradłowych wartość całkowitego odpływu powierzchniowego przyjmuje jeszcze mniejsze wartości. Podobnie odpływ bezpośredni, stanowiący niewielką część opadu całkowitego, w leśnych zlewniach mokradłowych występuje zazwyczaj epizodycznie. Możliwość wystąpienia odpływu wezbraniowego w leśnych zlewniach mokradłowych zależy jest od wielu czynników, do których należą między innymi natężenie i długość epizodu opadowego, wartości spadków i zbieżność zlewni, przepuszczalności, przemarznięcia czy wysycenia gruntu, wystąpienia zjawiska odwilży, pory roku, wypełnienia przestrzeni leśnej biomasa, fazy rozwojowej drzewostanów, ulistnienia.

Ocena możliwości wystąpienia odpływu bezpośredniego w leśnych zlewniach mokradłowych została przedstawiona na przykładzie zlewni rowu G-8. Zlewnia ta jest reprezentatywną zlewnią leśną dla obszarów mokradłowych. W zlewni tej występuje bardzo mały, nieprzekraczający 5% odpływ powierzchniowy. Okresowo cieką zanikają i nawet dość znaczne opady letnie: 41,2mm (22-26.8.2005), 66,4mm (3-9.8.2006) nie powodują na tyle podniesienia się stanów wody w ciekach, aby odnotowany został odpływ na przelewach. Rozchodowanie wody realizowane jest głównie w formie parowania terenowego. Stan taki można wyjaśnić występowaniem w zlewni utworów gruntowych podatnych na wysokie parowanie bezpośrednio z gruntu tj. piasków w przypowierzchniowych warstwach strefy aeracji na nieprzepuszczalnym podłożu stanowiącym spąg warstwy wodonośnej. Zlewnia ponadto cechuje się występowaniem niewielkich spadków terenu oraz zwierciadła wody pierwszego poziomu wodonośnego drenowanego przez rów G-8. Nieznaczne spadki decydują

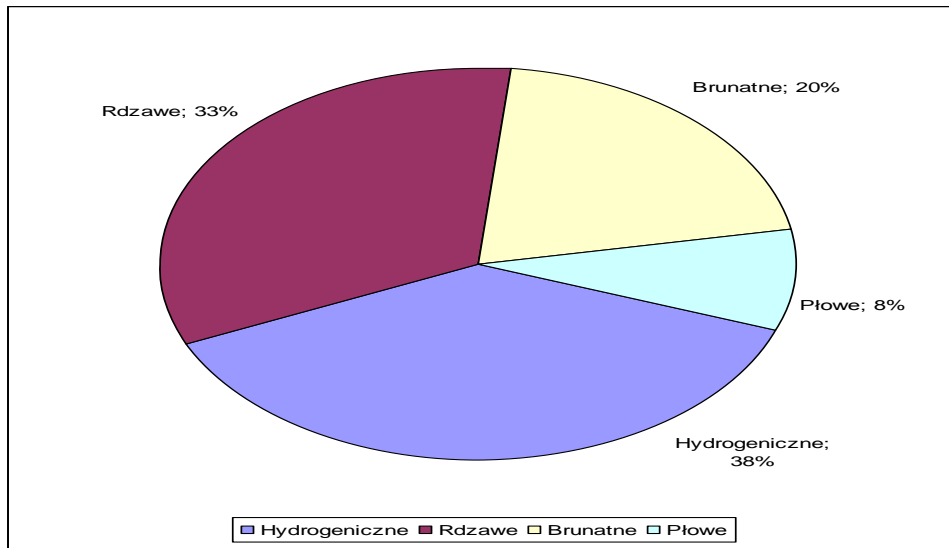
o wydłużeniu okresu kumulacji wezbrania oraz wydłużeniu okresu szczytowania wody na skutek parowania terenowego. Ponadto roślinność leśna stanowiąca pokrycie zlewni wpływała na zwiększenie parowania terenowego głównie na skutek stymulowania intercepcji oraz transpiracji. Wymienione wyżej cechy zlewni rowu G-8 nie sprzyjają powstawaniu odpływu wezbraniowego w ciekach. Stąd dla licznych epizodów opadowych, zwłaszcza w okresach roku o wysokim poziomie parowania terenowego odpływ wezbraniowy w ogóle może nie wystąpić, a ponadto w okresach przedłużającego się deficytu opadów, w przypadku braku zasilania gruntowego odpływ podstawowy w cieku może zaniknąć (odpływ powierzchniowy ze zlewni nie występuje).

Zlewnia rowu G-8 do profilu zamykającego zajmuje powierzchnię 32,33ha. Pokrycie zlewni stanowią drzewostany jednopiętrowe, na ogół wielogatunkowe (przeciętny udział gatunku panującego wynosi 7). W drzewostanach zlewni występuje łącznie 16 gatunków drzew. Dominującym gatunkiem panującym jest sosna (rys. 6.2). Przeważający wiek drzewostanów wynosi 54 lata. Stąd można sądzić, że drzewostany zlewni znajdują się w okresie kulminacji przyrostu biomasy, co wiąże się również z maksymalizacją zapotrzebowania na wodę. Przeważające zadrzewienie w zlewni wynosi 7,4.



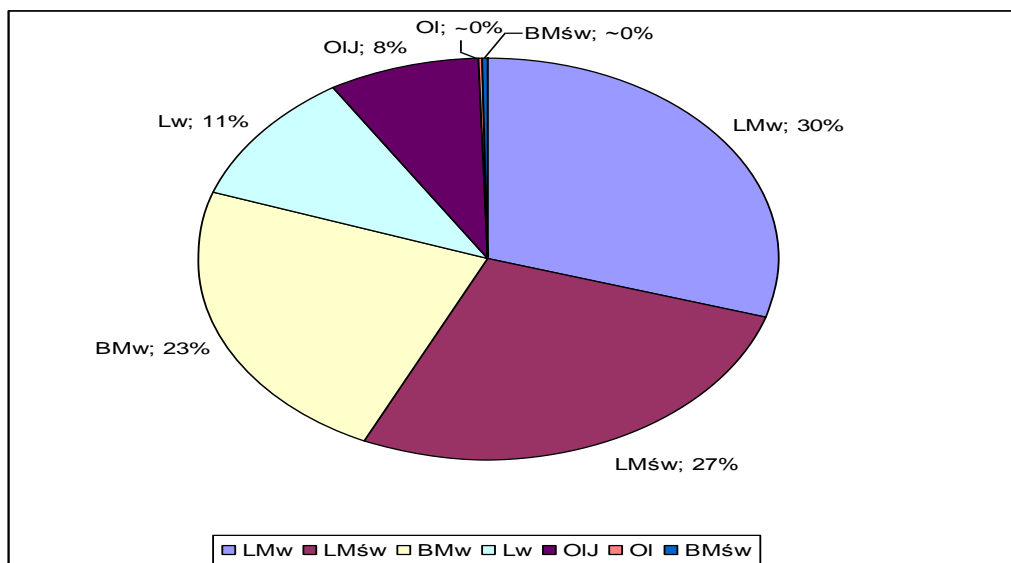
Rys. 6.2. Gatunki panujące w drzewostanach zlewni rowu G-8.

Pokrycie glebowe zlewni stanowią głównie gleby torfowe, torfowo-mułowe, rdzawe oraz brunatne wytworzone z pisaków(50%), pyłów (30%) oraz murszów (20%) (rys. 6.3).



Rys. 6.3. Typy i grupy typów gleb w zlewni cieką G-8

Siedliska występujące w zlewni to głównie siedliska umiarkowanie wilgotne (72%) i silnie świeże (28%) (rys. 6.4).



Rys. 6.4. Udział siedliskowych typów lasu w zlewni rowu G-8.

Modelowanie odpływu było prowadzone za pomocą modelu SCS-CN w wersji dostosowanej do warunków pokrycia leśnego Polski. W okresie bilansowym (przeciętny rok hydrologiczny 2004/2005) w zlewni rowu G-8 wystąpiły trzy okresy opadowe skutkujące odpływem wezbraniowym, które można zakwalifikować do określenia parametrów modelu SCS-CN (tab. 6.1).

Tabela 6.1. Epizody wezbraniowe w roku hydrologicznym 2004/2005 wybrane do modelowania.

Okres epizodu opadowego	Długość okresu opadowego	Poziom wilgotności gruntu wg oryginalnej metody SCS-CN	Poziom wilgotności gruntu skorygowany	Opad całkowity	Odływ bezpośredni (opad efektywny)
	t			P	Pe
	[doby]	[-]	[-]	[mm]	[mm]
17.01-28-01.2005	8	I	III	25,1	0,56
06.04-21.04.2005	3	I	II	24,3	2,75
01.05-14.05.2005	9	I	I	42,4	1,69

Dokonano korekty wilgotności gruntu w zlewni przed wystąpieniem odpływów wezbraniowych. Według metody oryginalnej wilgotność początkowa gruntu przed wystąpieniem opadu wezbraniowego jest określana na podstawie opadu pięciodniowego poprzedzającego wezbranie. Stwierdzono, że procedura taka nie oddaje faktycznej wilgotności gruntu w rozpatrywanej zlewni przed wystąpieniem wezbrań. Czynnikiem decydującym o faktycznym wysyceniu gruntu wodą w tym przypadku były wody roztopowe uwolnione w wyniku tajania pokrywy śnieżnej oraz rozmarzania gruntu. Pierwszy okres opadowy (17.01-28-01.2005) wystąpił po roztopach. Stąd w okresie tym wystąpiło maksymalne wysycenie gruntu wodą. Kolejne okresy wiązały się z przesuszaniem wierzchnich warstw oraz spadkiem aktualnej wilgotności gruntu, na skutek zwiększonego parowania terenowego oraz filtracji wody ku strefie wody gruntowej. Aktualne opady nie miały znaczącego wpływu na zahamowanie tych procesów. Stopień wysycenia gruntu wodą oszacowano na podstawie dynamiki stanów wody w strefie saturacji, która zalega stosunkowo płytko pod poziomem terenu w zlewni. Obliczono wartości empiryczne parametru modelu (CN) na podstawie opadu całkowitego (P) oraz opadu efektywnego (Pe) dla odpływów wezbraniowych ze zlewni rowu G-8. Następnie obliczono wartości parametru CN według metody oryginalnej uwzględniając cechy (uzyskane z opisów taksacyjnych) pokrycia leśnego zlewni rowu G-8. Z kolei korzystając z procedury kalibracyjnej z wykorzystaniem hydrometeorologicznych danych pomierzonych w zlewni przeliczono wartości parametru CN obliczone według metody oryginalnej na wartości dostosowane do warunków panujących w zlewni rowu G-8. Następnie dokonano obliczeń wartości modelowych odpływu

wezbraniowego ze zlewni. W zamieszczonej niżej tabeli przedstawiono wartości parametru CN dla dobrych warunków wilgotnościowych (tab. 6.2).

Tabela 2. Empiryczne wartości parametru CN dobre warunki wilgotnościowe (AMCIII) dla pokrycia leśnego oraz grup glebowych zlewni rowu G-8 (dla epizodu opadowego z 17.01-28-01.2005).

Kategoria użytkowania	Zadrzewienie	Grupy glebowe			
		A	B	C	D
Drzewostany	0,1	46,2	67,3	78,1	83,9
	0,2	44,2	66,3	77,1	83,0
	0,3	42,2	64,3	76,1	82,0
	0,4	39,1	63,3	75,2	81,0
	0,5	37,1	61,3	74,2	80,1
	0,6	36,0	60,3	73,2	80,1
	0,7	35,0	59,3	73,2	79,1
	0,8	33,0	58,3	72,2	79,1
	0,9	31,9	57,3	72,2	78,1
	≥ 1	30,9	56,3	71,2	78,1
Uprawy leśne do 3 lat		53,3	71,2	82,0	86,8
Uprawy leśne powyżej 3 lat		47,2	67,3	78,1	83,9
Halizny do 3 lat		49,3	69,3	80,1	84,9
Halizny powyżej 3 lat		43,2	65,3	76,1	82,0
Powierzchnie wiatrołomów i wiatrowałów		45,2	66,3	72,2	83,0
Bagna		98,2			
Wody otwarte		100			

Wyniki modelowania odpływów wezbraniowych ze pomocą modelu SCS-CN w wersji przystosowanej do warunków pokrycia zlewni na obecnym etapie badań można rozważać jedynie w kategoriach szacunkowych. Charakterystyka zlewni oraz zebrane dotychczas dane hydrometryczne wskazują na to, że odpływ wezbraniowy nie stanowi głównej kategorii odpływu ze zlewni. Stąd dane empiryczne niezbędne do kalibracji modelu uzyskiwane z tej jednostki przestrzennej w krótkim okresie są niewystarczające do zadowalającej kalibracji modelu. Dane te mogą być uzupełnione jedynie w dłuższym horyzoncie czasowym. Wyniki modelowania zestawiono w tabeli 6.3.

Tabela 6.3. Wyniki modelowania odpływu wezbraniowego zlewni rowu G-8.

Okres epizodu opadowego	Okres opadowy	Poziom wilgotności gruntu skorygowany	Przeciętna empiryczna wartość parametru CN dla zlewni	Opad całkowity	Odpływ bezpośredni	Empiryczny współczynnik odpływu	Odpływ bezpośredni wg modelu	Współczynnik odpływu wg modelu
	t	AMC	CN	P	Pe	$\alpha$	Pe	$\alpha$
	[doby]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
17.01-28.01.2005	8	III	76,4	25,1	0,56	0,022	1,12	0,0446
06.04-21.04.2005	3	II	33,9	24,3	2,75	0,113	Warunek modelu nie spełniony	
01.05-14.05.2005	9	I	20,4	42,4	1,69	0,04		

W uproszczeniu, kryterium brzegowym poprawnego funkcjonowania modelu SCS-CN w warunkach danej zlewni jest przyjmowanie odpowiednio wysokiego poziomu wartości opadu dla epizodu opadowego, którego rezultatem jest wezbranie. Wartość całkowitego opadu wezbraniowego jest związana z maksymalną potencjalną retencją (S). Wartość maksymalnej potencjalnej retencji jest stała dla każdej zlewni w warunkach stałego pokrycia i użytkowania gruntu w zlewni. Jednak wartość maksymalnej potencjalnej retencji podlega zmianom w zależności od uwilgotnienia gruntu przed wystąpieniem opadu skutkującego odpływem bezpośrednim. Zależności wyżej podane można zauważyć analizując wezbrania ujęte w Tabeli 6.3. Tak, więc im większa suma opadu całkowitego dla danego epizodu opadowego oraz wyższa wilgotność gruntu przed wystąpieniem epizodu opadowego, tym według metody SCS-CN zwiększa się możliwość wystąpienia odpływu wezbraniowego.. Na podstawie wyżej określonych przesłanek można określić potencjalne warunki wystąpienia wezbrania w leśnej zlewni mokradłowej rowu G-8 (tab. 6.4).

Tabela 6.4. Możliwości wystąpienia odpływu wezbraniowego w zlewni rowu G-8

Wilgotność początkowa gruntu w zlewni		AMCI	AMCII	AMCIII
Przeciętna empiryczna wartość parametru CN dla zlewni	CN [-]	20,4	33,9	76,4
Retencja maksymalna dla zlewni	S [mm]	991	495	78
Wartość minimalnego opadu całkowitego (warunek $P > 0,2 * S$ )	P [mm]	198,2	99	15,6

W przypadku małej oraz przeciętnej wilgotności gruntu w zlewni rowu G-8 (odpowiednio AMCII i AMCI), progowe wartości opadu całkowitego dla wezbrań są relatywnie wysokie. W okresie normalnego roku warunki przeciętnej oraz małej wilgotności gruntu przeważają w

zlewni. Z kolei, prawdopodobieństwo wystąpienia w rozpatrywanej zlewni epizodów opadowych o sumach opadów równych i większych od wartości progowych dla wystąpienia odpływu jest bardzo małe. Stąd dla warunków AMCII i AMCI wystąpienie odpływów wezbraniowych w zlewni rowu G-8 może nastąpić wyłącznie epizodycznie.

Jedynie w przypadku dużej wilgotności gruntu w zlewni możliwość wystąpienia wezbrań opadowych jest bardziej prawdopodobna (AMCIII) dla opadów przyjmujących typowe wartości. Jednak w okresie przeciętnego roku warunki takie trwają krótko po roztopach i na początku okresu wegetacyjnego.

Na podstawie aktualnie uzyskanych wyników można wnioskować, że dla zlewni mokradłowych model SCS-CN daje zadowalające wyniki w odniesieniu do okresów po wystąpieniu roztopów w przypadku wysokiego wysycenia gruntu w zlewni wodą. W przypadku pełnego rozmarznięcia gruntu procesy powstawania odpływu wezbraniowego są zgodne z założeniami modelu SCS-CN. Jedynie woda wysycająca grunt umożliwiającą powstanie odpływu powierzchniowego i płytkiego podpowierzchniowego jest głównie pochodzenia roztopowego a nie opadowego. Można spodziewać się, że model SCS-CS będzie dawał zadowalające wyniki w przypadku silnych opadów w dłuższych okresach znacznie obniżonej ewapotranspiracji (późnojesiennych oraz wczesnowiosennych) w przypadku braku warunków roztopowych. W odniesieniu do okresów wegetacyjnych o podwyższonej ewapotranspiracji na obecnym etapie wyniki modelowania są niezadowalające.

#### Cytowana literatura

- Guillot P., Duband D. (1979): *Function de transfer pluie – debit sur des basins versants de l'ordre 1000 km<sup>2</sup>. Session des Societe Hydrotechnique de France.*
- Hawkins R.H. (1979): *Runoff curve numbers from partial area watersheds. Proc. American Society of Civil Engineering, 105(IR4).*
- Hawkins R.H., Rietz D. (2001): *Curve Numbers, Recent Developments, [w:]Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR) Congress Proceedings, Beijing, China, 16-21 September 2001.*
- Ignar S. (1993): *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych. Wyd. SGGW, Rozpr. Nauk. i Monogr., Warszawa.*
- Miler A. (1994): *Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych. Rocz. AR, Rozpr. Nauk. z.258, Poznań.*

- Miler A.T., Kamiński B., Krysztofiak A., Sobalak M. (2005): *Inwentaryzacja obszarów mokradłowych na terenie Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtalskie oraz wstępne wyniki badań hydrologicznych. Infrastruktura i Ekologia Obszarów Wiejskich, PAN Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi 4.*
- Mishra S.K., Singh V.P. (2003): *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.*
- Nash J.E. (1958): *Determining runoff from rainfall. Proc. Of Institution of Civill Engineers, 10.*
- Okoński B. (2006): *Modelowanie odpływu bezpośredniego w zależności od stanów pokrycia zlewni leśnej. Seria Rozpr. Nauk. Zesz., 374, Wyd. AR, Poznań.*
- Ostrowski J.A. (1988): *Modelowanie hydrogramów wezbrań opadowych w małych zlewniach niekontrolowanych na podstawie sieci zlewni reprezentatywnych IMGW. (Cz. V) Wyniki testowania modelu opad-odpływ. Wiad. Inst. Meteorol. i Gosp. Wodnej, t. 11(32), z.3-4.*
- Rallison R.E., Miller N. (1981): *Past, present and future of SCS runoff procedure. Int. Symp. on Rainfall-Runoff Modelling. Mississippi State Univ.*
- *USDA-NRCS National Engineering Handbook (1985): Hydrology, Section 4, US Dept. of Agriculture, National Resources Conservation Service, Washington D.C.*
- Woodward D.E., Hawkins R.H., Jiang R., Hjelmfelt A.T., Van Mullem J.A., Quan D.Q. (2003): *Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. [W:] (P.Bizier, A.DeBarry eds.) World Water and Environmental Resources.*



## 7. POTENCJALNA ZDOLNOŚĆ RETENCYJNA OBSZARÓW LEŚNYCH NADLEŚNICTWA DOŚWIADCZALNEGO SIEMIANICE

Wykorzystanie technologii cyfrowych w badaniach naukowych stwarza nowe możliwości dla prowadzenia różnorodnych analiz. Coraz większą popularnością cieszą się programy typu GIS – Geographical Information System, których możliwości wykorzystania są ogromne, jednak ściśle zależne od dostępności, wielkości oraz „jakości” baz danych. To zakres i „jakość” informacji zawartych w bazach danych decyduje o możliwościach, precyzji, a także o szczegółowości prowadzonych analiz.

W niniejszym rozdziale zaproponowano, aby do szacowania wartości znanego z literatury przedmiotu miernika (wskaźnika) zdolności retencyjnej obszarów leśnych wykorzystać, jako powierzchnię elementarną, pododdział – najmniejszą jednostkę podziału przestrzennego stosowanego w lasach. Jednocześnie przyjęte metody badań pozwoliły na zastosowanie w obliczeniach danych zaczerpniętych z baz zawierających informacje drzewostanowe i siedliskowe gromadzone w trakcie prac urzędniowych prowadzonych na rzecz gospodarstw leśnych.

Dla wykazania zasadności opisanych poniżej założeń obliczono przykładowo wartości miernika zdolności retencyjnej obszarów leśnych Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu będących częścią Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Lasy Rychtałskie”.

Podstawą analiz były: Operat urządzenia gospodarstwa leśnego (*Operat... 2004*), materiały kartograficzne (*Mapa topograficzna..., Mapa hydrograficzna..., Mapa przeglądowa...*) oraz bazy danych dołączone do mapy cyfrowej Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice.

### **Metoda badań**

Pomysł obliczania miary zdolności retencyjnej dla zlewni rzecznych prezentowany był w literaturze przedmiotu już wcześniej (*Miler 1984, 1994, 1998; Miler i in. 2001*). Istota szacowania wartości miernika potencjalnej zdolności retencyjnej dla obszarów zalesionych sprowadza się do przypisania każdej elementarnej powierzchni (jednorodnej lub quasi-jednorodnej ze względu na wydzielone charakterystyki fizjograficzne) jednego parametru uwzględniającego sumaryczne oddziaływanie najbardziej istotnych w danym regionie parametrów fizjograficznych na potencjalne zdolności retencyjne.

Na tej podstawie każdemu z wydziełów leśnych (pododdziałów) przyporządkowano charakterystyki, które uznano jako determinujące jego potencjalną zdolność retencyjną.

Zaproponowano wykorzystanie następujących parametrów:

1. Średni spadek terenu [‰],
2. Wariant uwilgotnienia siedliska [-],
3. Odległość od sieci cieków [m],
4. Odległość od wód stojących (jezior, stawów) [m],
5. Średni ważony współczynnik filtracji gleb [ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ],
6. Wskaźnik zwarcia drzewostanu [-]
7. Rodzaj pokrywy gleby [-],
8. Wiek drzewostanu [lata],
9. Typ siedliska leśnego [-],
10. Gatunek drzewa panujący w drzewostanie [-].

Zakresy zmian wartości każdego z parametrów, podzielono na trzy klasy odpowiadające *małej*, *średniej* oraz *dużej* potencjalnej zdolności retencyjnej. Klasy te otrzymały odpowiednio kody „1”, „2” i „3”.

**Średni spadek terenu.** Obliczony został indywidualnie dla każdego oddziału na podstawie

następującego wzoru:  $I = \frac{\Delta H}{\sqrt{P}}$ , gdzie:

$I$  – średni spadek terenu w oddziale [‰];

$P$  – powierzchnia oddziału [ $\text{km}^2$ ];

$\Delta H$  – różnica pomiędzy najwyższą a najniższą rzędną terenu danego oddziału [m].

Wartości spadków dla pododdziałów przyjęto na podstawie wyliczonego średniego spadku terenu dla poszczególnych oddziałów, do których były one przynależne.

Podział zakresu zmienności średniego spadku terenu (od 0,41 do 59,19‰) przeprowadzony został z wykorzystaniem klasyfikacji stoku w zależności od nachylenia terenu Strzemeskiego (Strzemeski i in. 1973). Zgodnie z nim, pododdziałom o spadku z przedziału 0-35‰ przydzielono kod „3”, z zakresu od 36 do 52‰ kod „2”, natomiast powyżej 52‰ kod „1”.

**Wariant uwilgotnienia siedliska.** Stopniom i wariantom uwilgotnienia przydzielone zostały wartości liczbowe (kody) według zależności, im siedlisko bardziej suche tym zdolność retencyjna mniejsza. W szczególności uwilgotnieniu świeżemu, umiarkowanie świeżemu, silnie świeżemu – kod „1”, umiarkowanie wilgotnemu, wilgotnemu i silnie wilgotnemu – kod „2”, mokremu odwadnianemu, mokremu, bardzo mokremu oraz bagiennemu – kod „3”.

**Odległość od sieci cieków.** Przyjęta została jako długość odcinka łączącego granicę pododdziału z najbliższym ciekim naturalnym lub sztucznym. Odległości pogrupowano na podstawie przyjętych trzech klas: do 50m (kod „1”), od 51 do 200m (kod „2”) oraz powyżej 200m (kod „3”).

**Odległość od wód stojących** (jezior, stawów). Przyjęta została jako długość odcinka łączącego granicę pododdziału z najbliższym zbiornikiem naturalnym lub sztucznym o minimalnej powierzchni 0,25ha. Odległość od wód stojących obliczono na podstawie materiałów kartograficznych (*Mapa topograficzna...*, *Mapa hydrograficzna...*, *Mapa przeglądowa...*). Odległości pogrupowano na podstawie przyjętych trzech klas: do 50m (kod „3”), od 51 do 200m (kod „2”) oraz powyżej 200m (kod „1”).

**Średni ważony współczynnik filtracji gleb.** Ustalono go w oparciu o gatunek gleby w pododdziale podawany przez *Operat...* (2004) oraz, przyjęte za Flisowskim (*Filisowski i in. 1986*), współczynniki filtracji utworów glebowych, przy czym wagami były miąższości poszczególnych warstw występujące w profilu glebowym. Kod „1” przydzielono wartościom współczynnika filtracji z zakresu od 1,000 do 0,031; kod „2” wartościom z zakresu od 0,030 do 0,010 natomiast kod „3” wartościom poniżej 0,010 mm·s<sup>-1</sup>.

**Wskaźnik zwarcia drzewostanu.** Ustalany jest w leśnych pracach inwentaryzacyjnych w czterostopniowej skali: *pełne*, *umiarkowane*, *przerywane* i *luźne*. Po uzupełnieniu tej klasyfikacji o kategorię *brak zwarcia* ustalono dla każdej z nich stosunek rzutów koron drzew w drzewostanie do powierzchni, jaką zajmuje ten drzewostan (zwarcie pełne 0,92; umiarkowane 0,80; przerywane 0,65; luźne 0,40; brak zwarcia 0,00 (*Włoczewski 1968*)). Wskaźnik zwarcia dla całego drzewostanu obliczono jako sumę stopni zwarcia I i II piętra. Wartościom wskaźnika zwarcia z zakresu 0,00÷0,40 przydzielono kod „1”, z przedziału 0,41÷0,79 kod „2” i wartościom powyżej 0,79 kod „3”.

**Rodzaj pokrywy gleby** – do określenia wartości liczbowych tego parametru wykorzystano dane literaturowe (*m.in. Gutry-Korycka 1989, Suliński 1993, Cebulska i Osuch 1998, Homa 1998*) przyjmując dla *braku pokrywy i ściółki* kod „1”, *zazielenionej, zadarnionej i zdziczałej* kod „2”, *silnie zadarnionej* oraz *mszystej* kod „3” (nazwy na podstawie *Instrukcji...* (1994)).

Jako **wiek drzewostanu** przyjęto wiek gatunku panującego w drzewostanie. Drzewostanom w wieku do 20 lat przydzielono kod „1”, z przedziału 21-80 lat kod „2”, natomiast powyżej 80 lat kod „3”.

**Typ siedliska leśnego** – ustalono dla każdego pododdziału na podstawie *Operatu...* (2004) przydzielając kody w następujący sposób: bór świeży (Bśw), bór mieszany świeży (BMśw) – kod „1”; bór mieszany wilgotny (BMw), las mieszany świeży (LMśw), las mieszany wilgotny

(LMw), las świeży (Lśw), las wilgotny (Lw) – kod „2”; ols (Ol), ols jesionowy (OlJ), las łągowy (Lł)– kod „3”.

**Gatunek panujący w drzewostanie** – ustalono go dla każdego pododdziału na podstawie *Operatu...* (2004) przyjmując dla gatunków iglastych kod „3”, a dla liściastych kod „1”. Kodu „2” nie przydzielono.

Uogólniając przy wprowadzaniu kodów kierowano się następującymi założeniami: **małą** potencjalną zdolność retencyjną danego pododdziału (kod „1”) utożsamiano z dużymi spadkami terenu, suchym wariantem uwilgotnienia siedliska, małymi odległościami od sieci cieków, dużymi odległościami od zbiorników wodnych, dużymi współczynnikami filtracji gleb, niskim wskaźnikiem zwarcia drzewostanu, nagą pokrywą gleby, drzewostanami młodymi, suchymi siedliskami borowymi oraz gatunkami liściastymi;

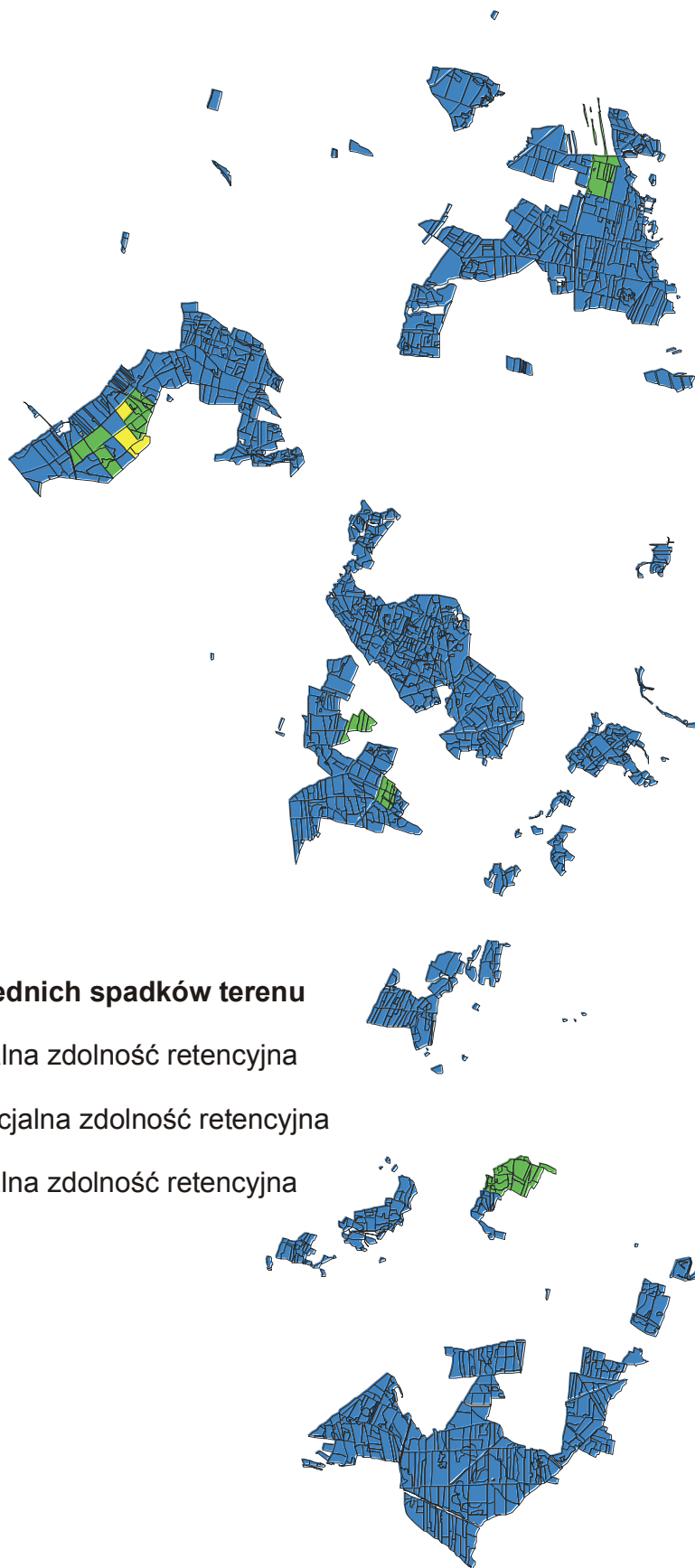
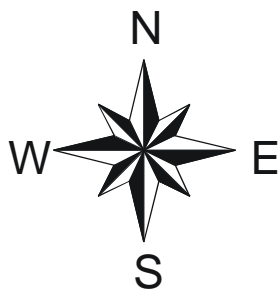
**dużą** potencjalną zdolność retencyjną danego pododdziału (kod „3”) utożsamiano z małymi spadkami terenu, bagiennym stopniem uwilgotnienia siedliska, dużymi odległościami od cieków, małymi odległościami od zbiorników wodnych, niskimi wartościami współczynnika filtracji gleb, wysokim wskaźnikiem zwarcia drzewostanu, mszystą pokrywą gleby, drzewostanami dojrzałymi, siedliskami bagiennymi i łągowymi oraz gatunkami iglastymi.

Na potrzeby późniejszych analiz porównawczych utworzono dla każdej charakterystyki mapę jej rozkładu przestrzennego na terenie obiektu badawczego (rys.7.1 ÷7.10).




W kolejnym kroku zsumowano kody wszystkich parametrów przypisanych każdemu pododdziałowi w wyniku czego otrzymano dla każdego z nich nową wartość odzwierciedlającą jego zdolność retencyjną. Ostatnim etapem było sporządzenie mapy przedstawiającej zmienność przestrzenną obliczonego *miernika*.

### **Wyniki i dyskusja**

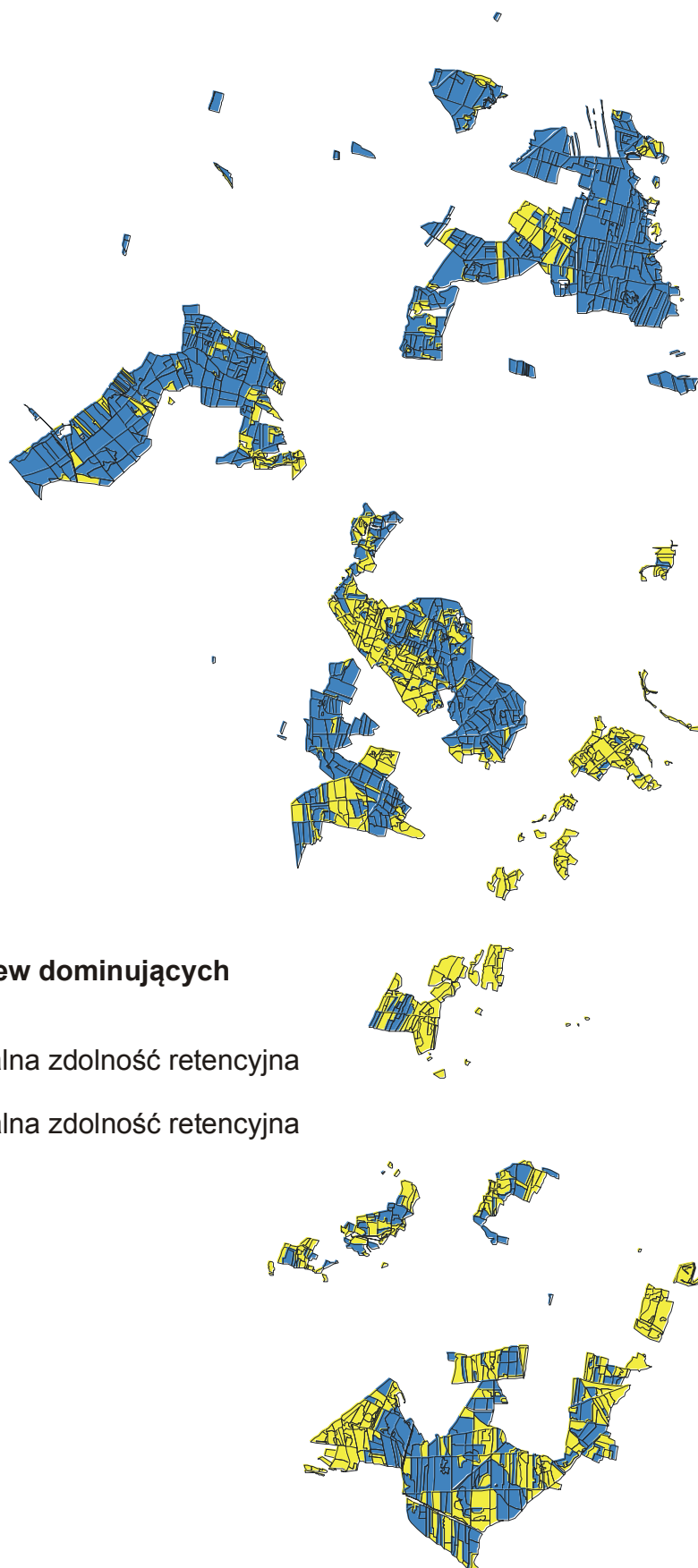
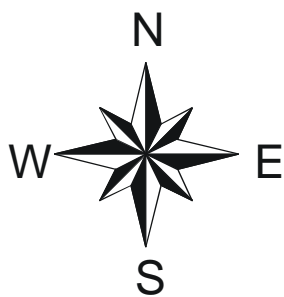
Materiałem wyjściowym do oszacowania zmienności obszarowej miernika potencjalnej zdolności retencyjnej terenów leśnych były ustalone dla każdej powierzchni elementarnej (pododdziału) wartości dziesięciu charakterystyk, mających wpływ na zdolności retencyjne obszaru badań. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z procedurą przedstawioną w poprzednim rozdziale.




**Przekodowane wartości średnich spadków terenu**


-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

Rys. 7.1. Mapa kodów dla średnich spadków terenu

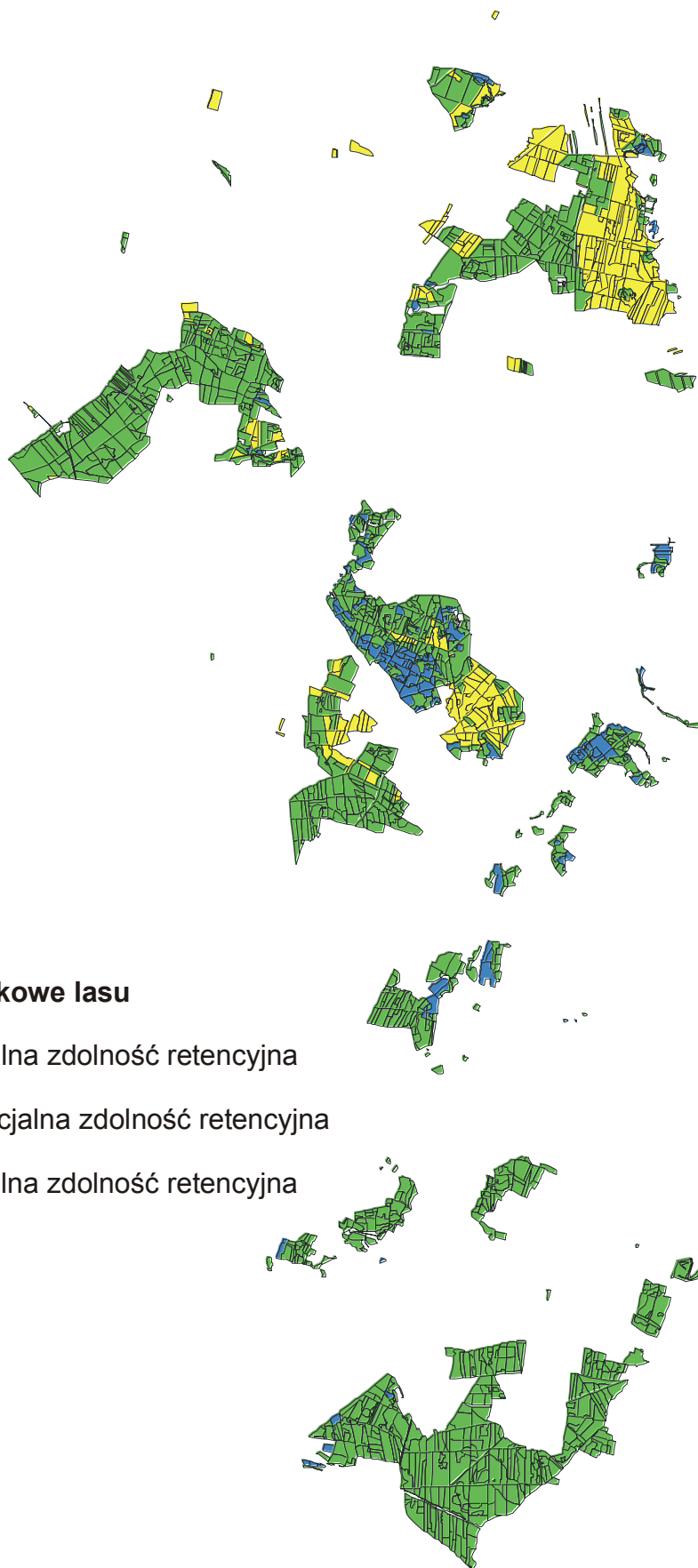
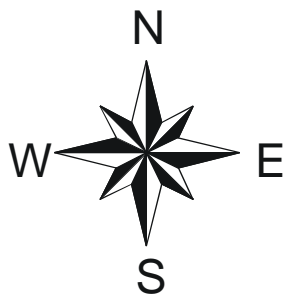


**Przekodowane gatunki drzew dominujących w drzewostanie**




 **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna

 **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

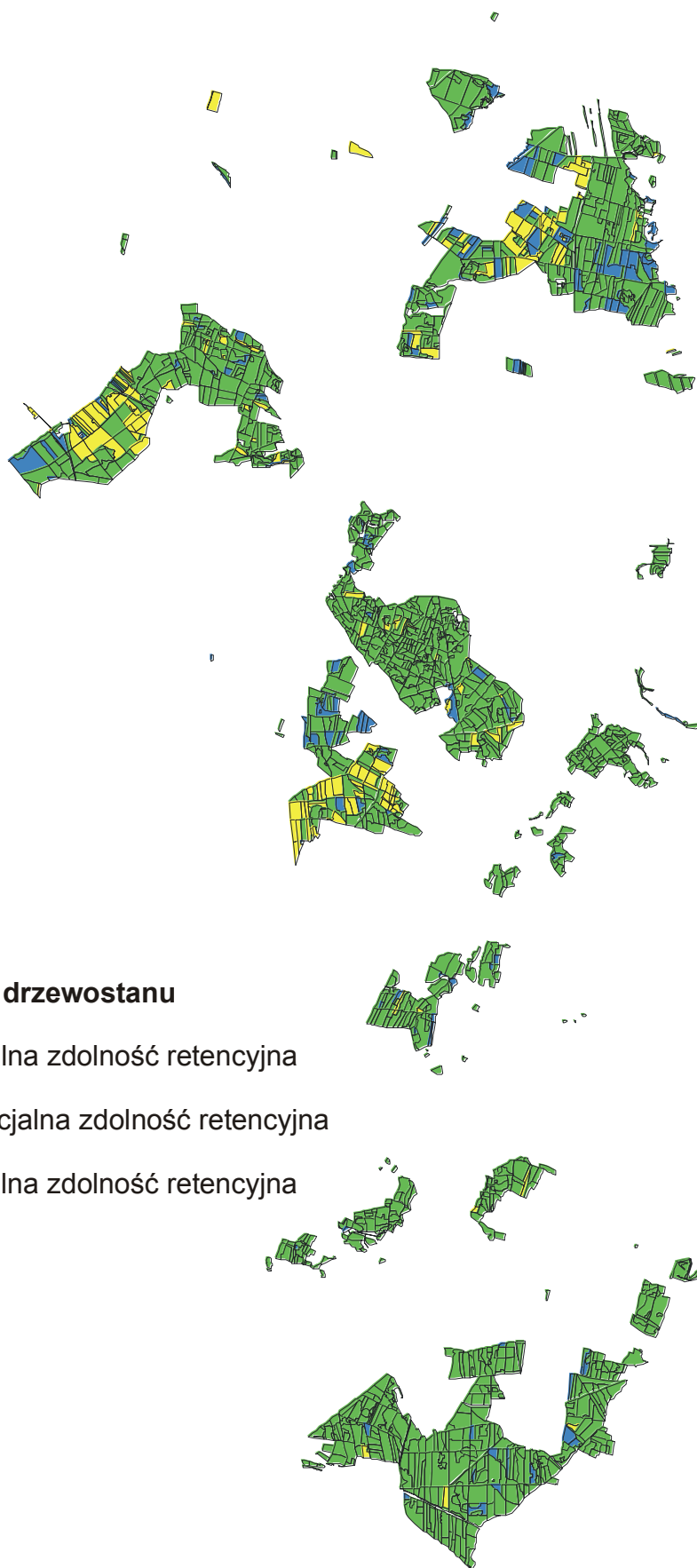
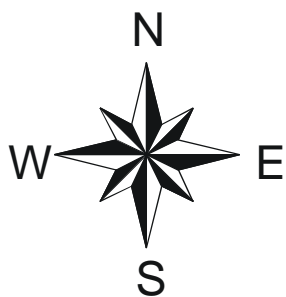
Rys. 7.2. Mapa kodów dla gatunków drzew dominujących w drzewostanie






**Przekodowane typy siedliskowe lasu**

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

Rys. 7.3. Mapa kodów dla siedliskowych typów lasu

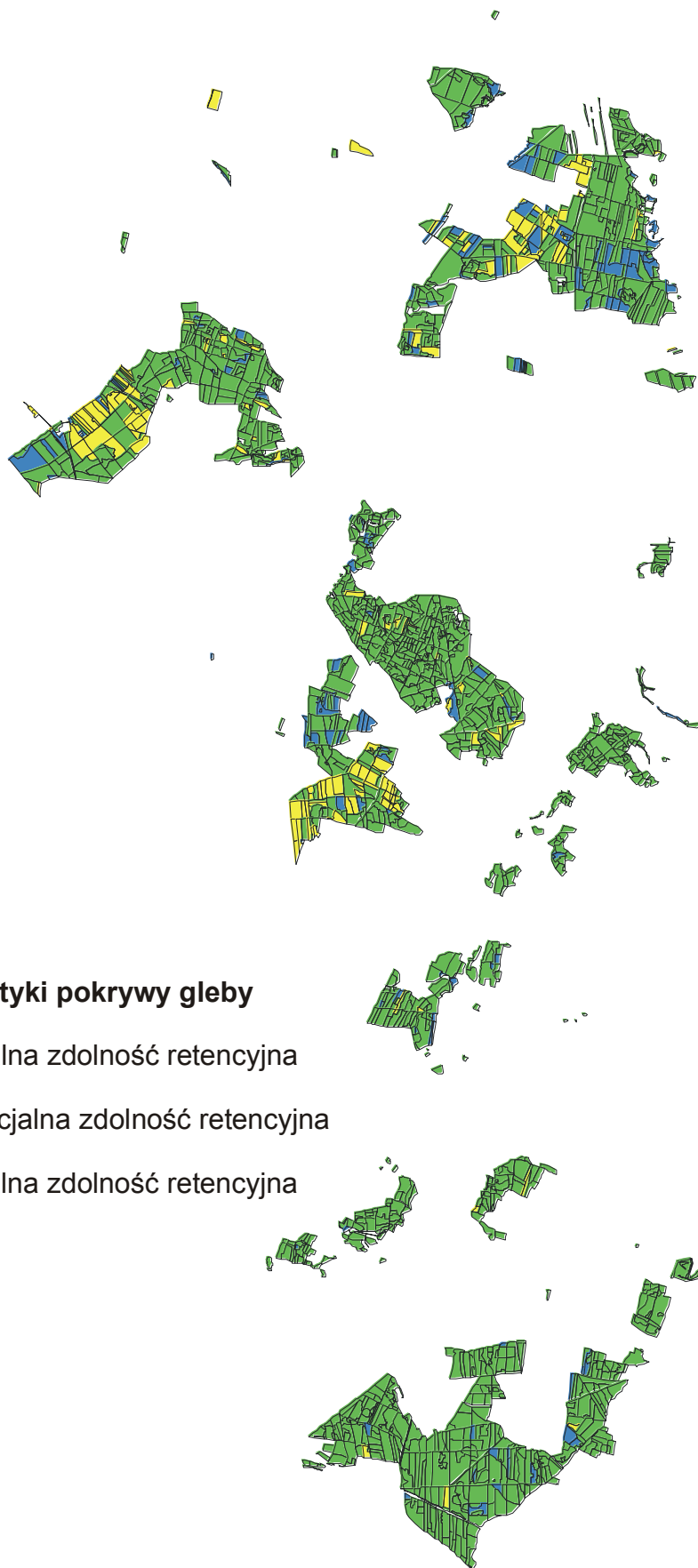
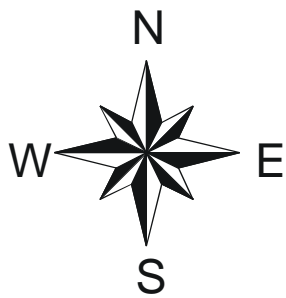


**Przekodowany średni wiek drzewostanu**




-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

Rys. 7.4. Mapa kodów dla średniego wieku drzewostanów

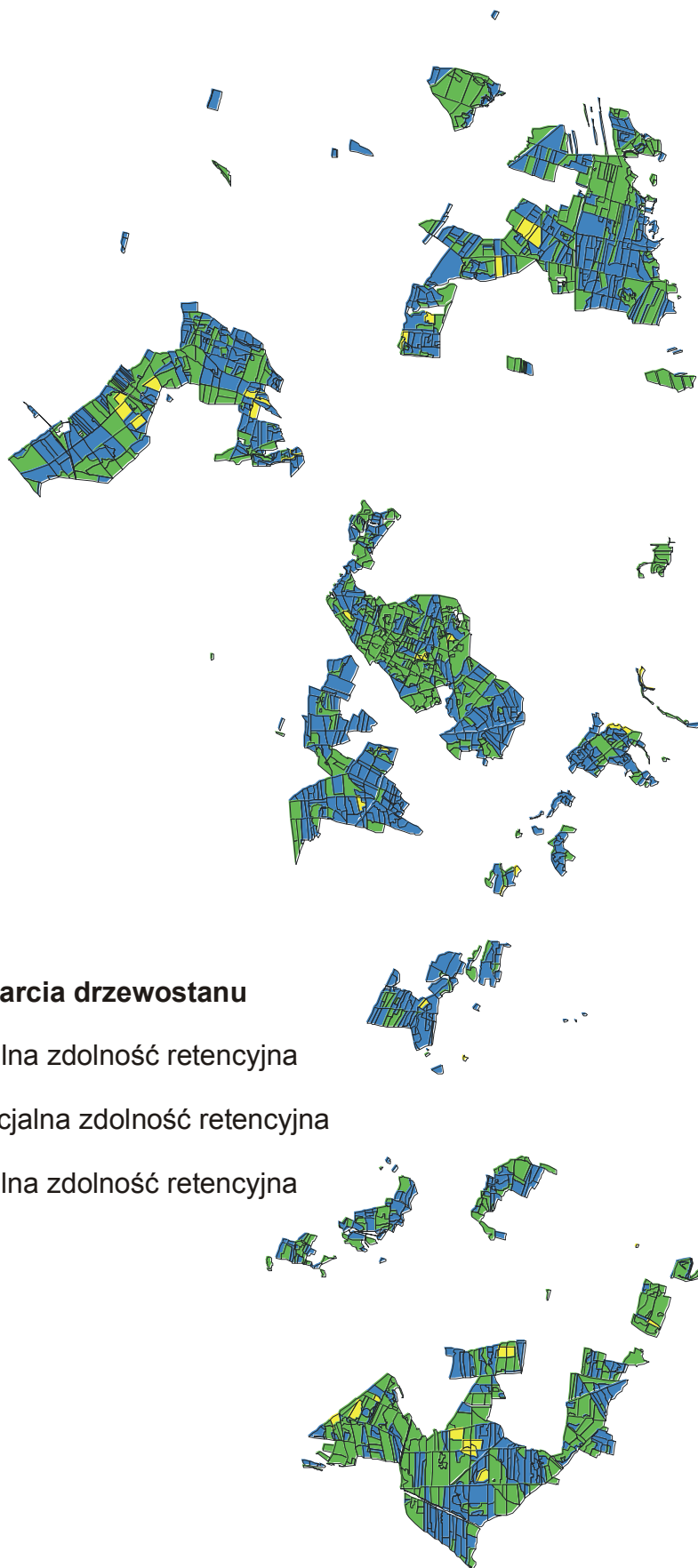
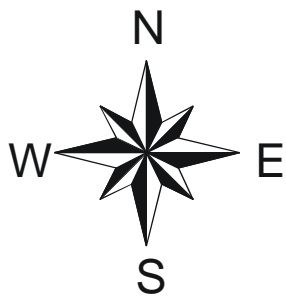







**Przekodowane charakterystyki pokrywy gleby**

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

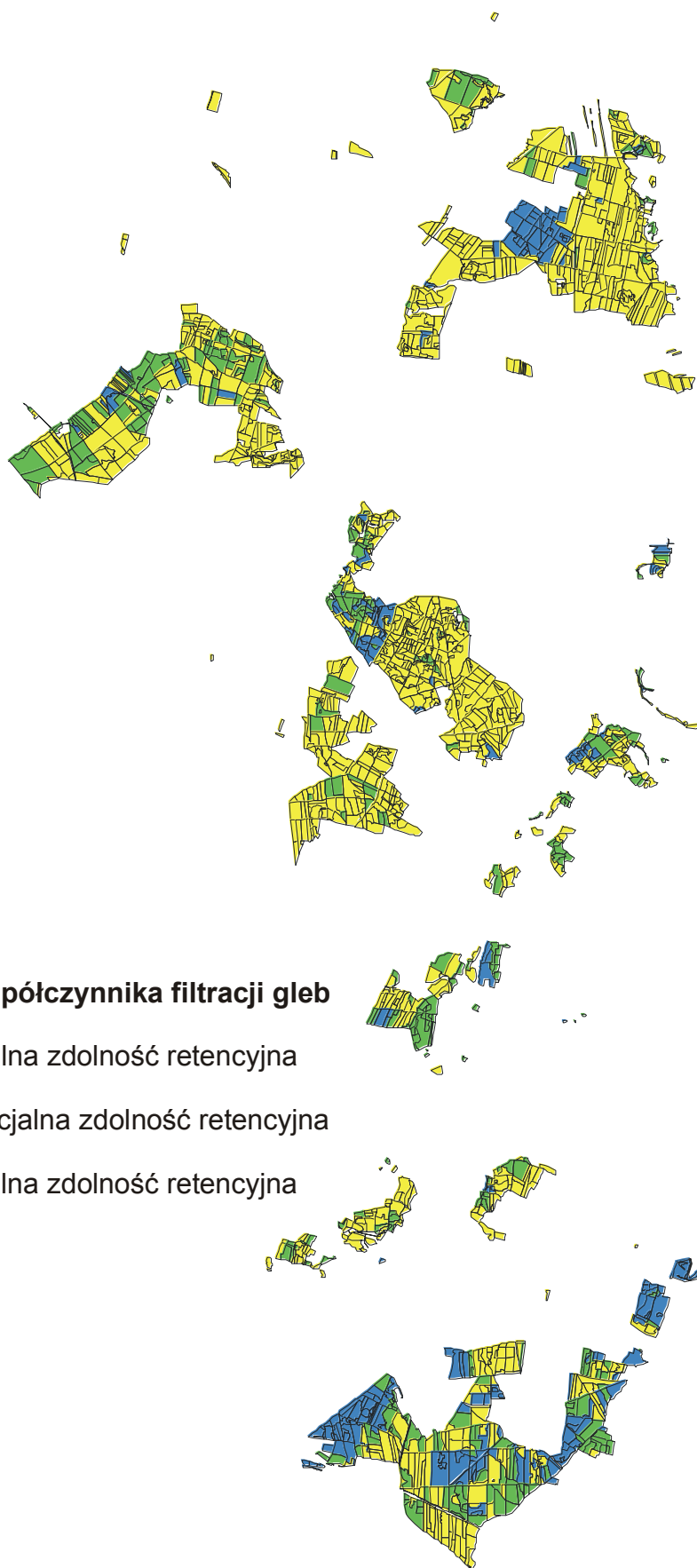
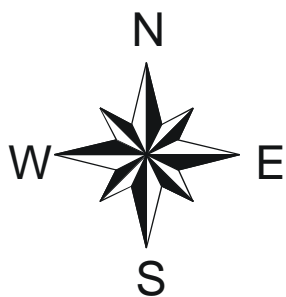
Rys. 7.5. Mapa kodów dla pokrywy gleby






**Przekodowane wartości zwarcia drzewostanu**

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

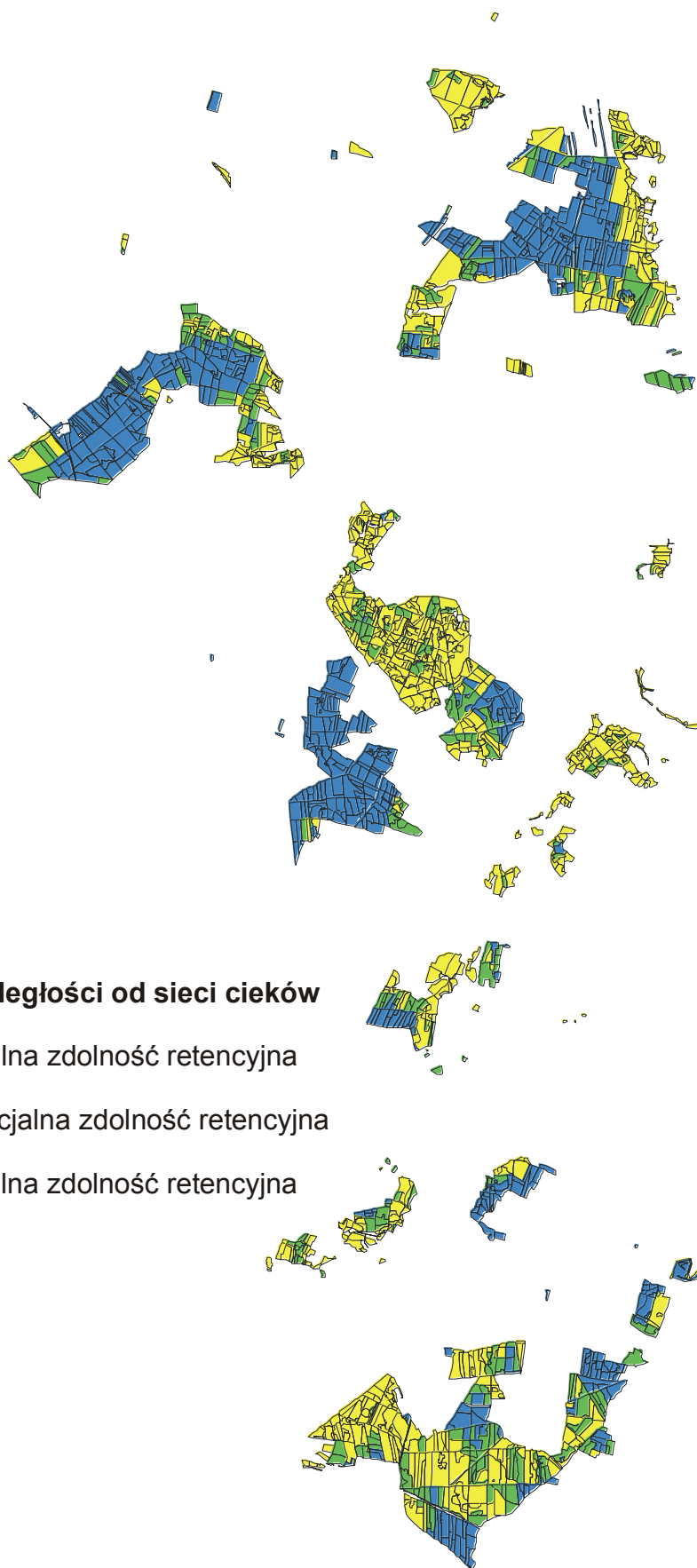
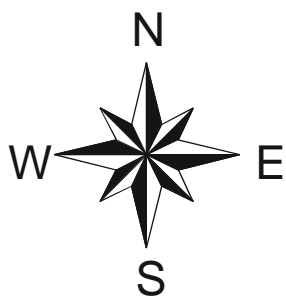
Rys. 7.6. Mapa kodów dla zwarcia drzewostanu






**Przekodowane wartości współczynnika filtracji gleb**

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

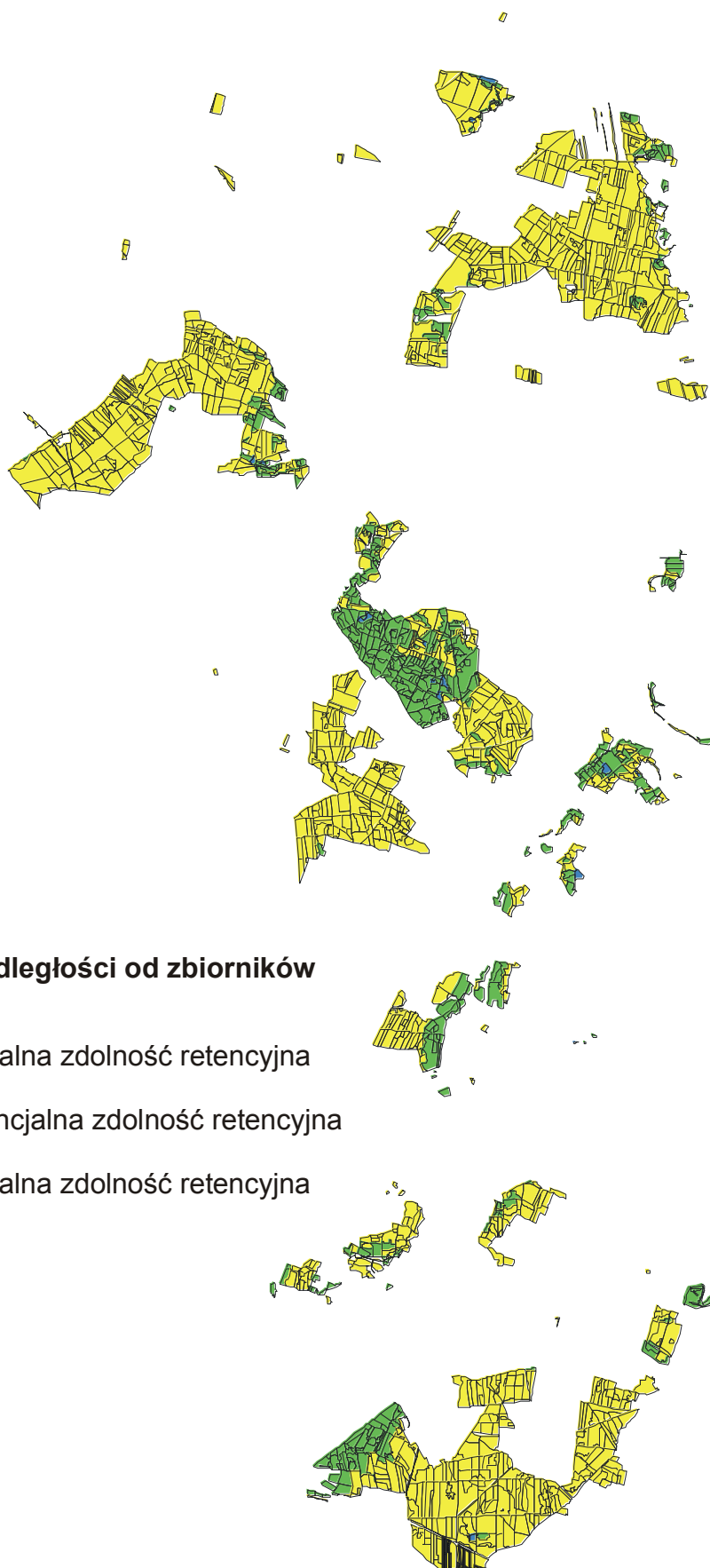
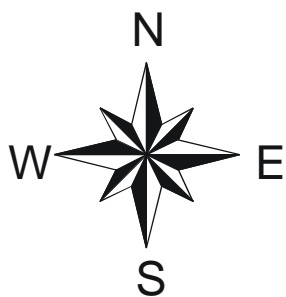
Rys. 7.7. Mapa kodów dla współczynnika filtracji gleb






**Przekodowane wartości odległości od sieci cieków**

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

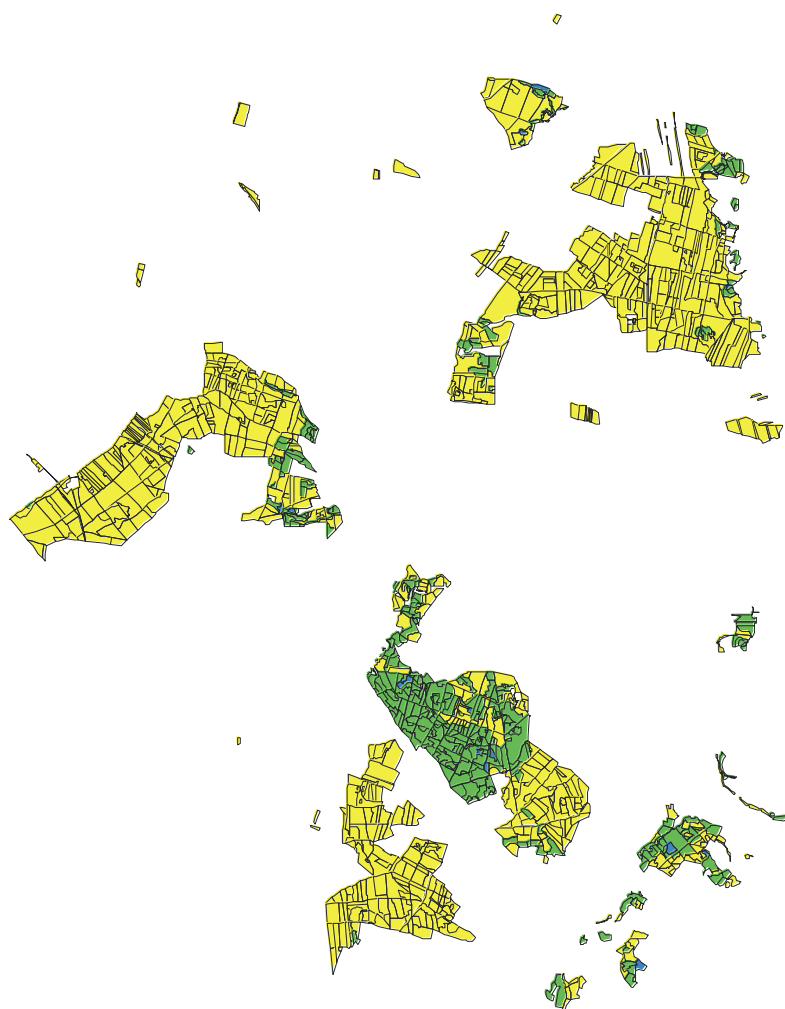
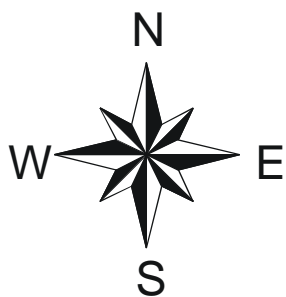
Rys. 7.8. Mapa kodów dla odległości od sieci cieków






**Przekodowane wartości odległości od zbiorników wodnych**

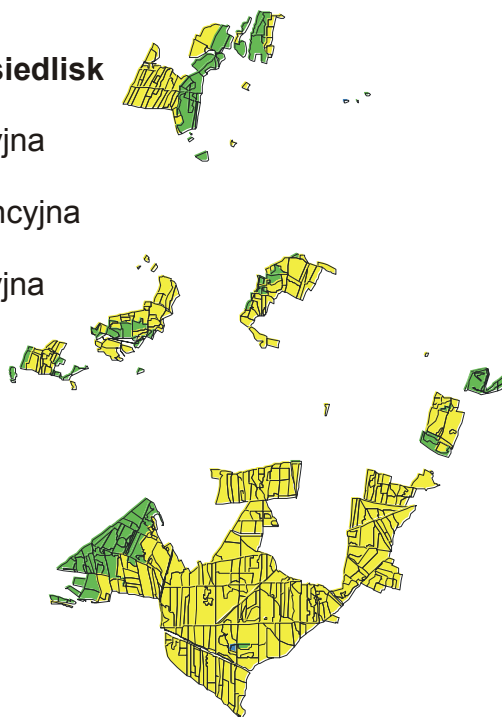
-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

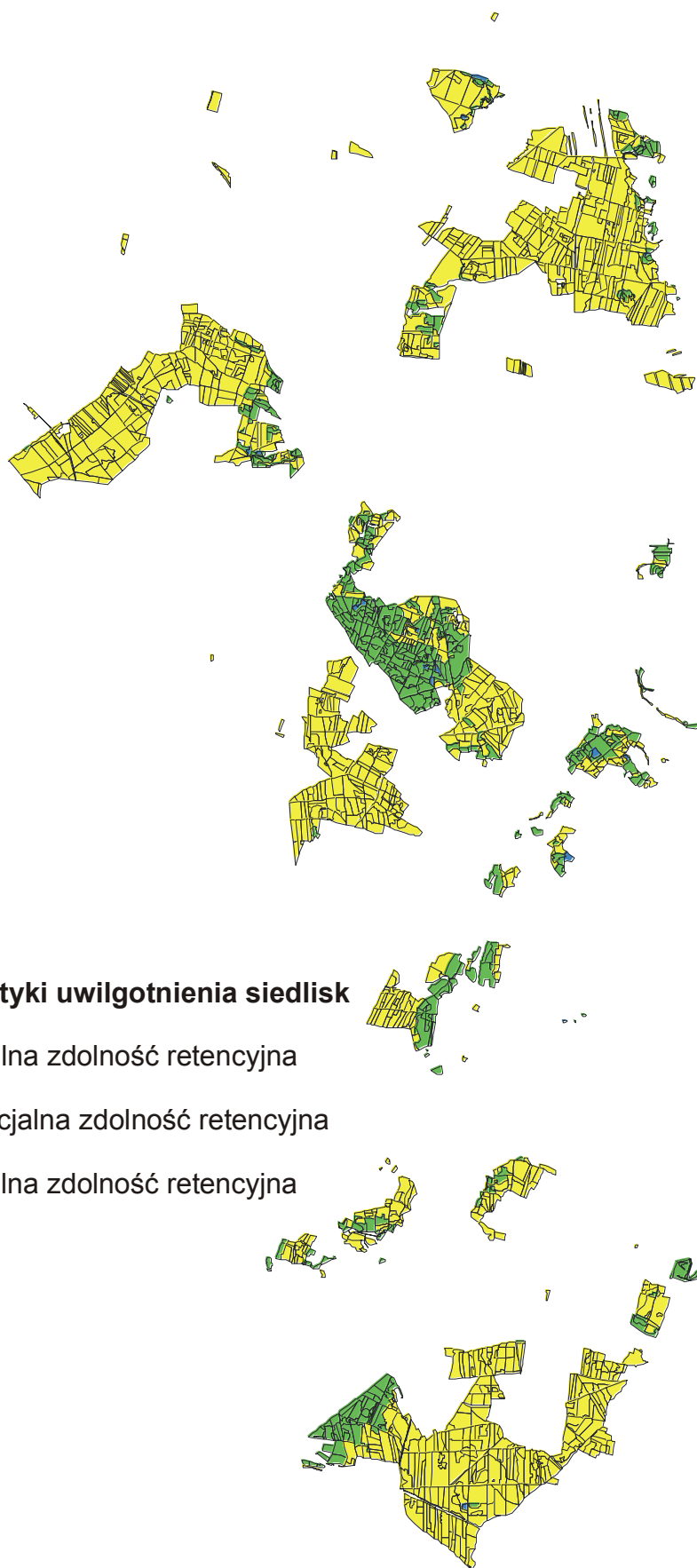
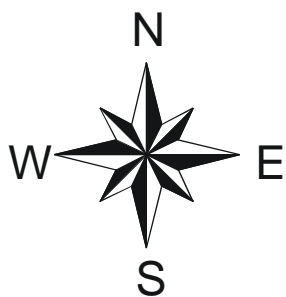
Rys. 7.9. Mapa kodów dla odległości od zbiorników wodnych






### Przekodowane charakterystyki uwilgotnienia siedlisk

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

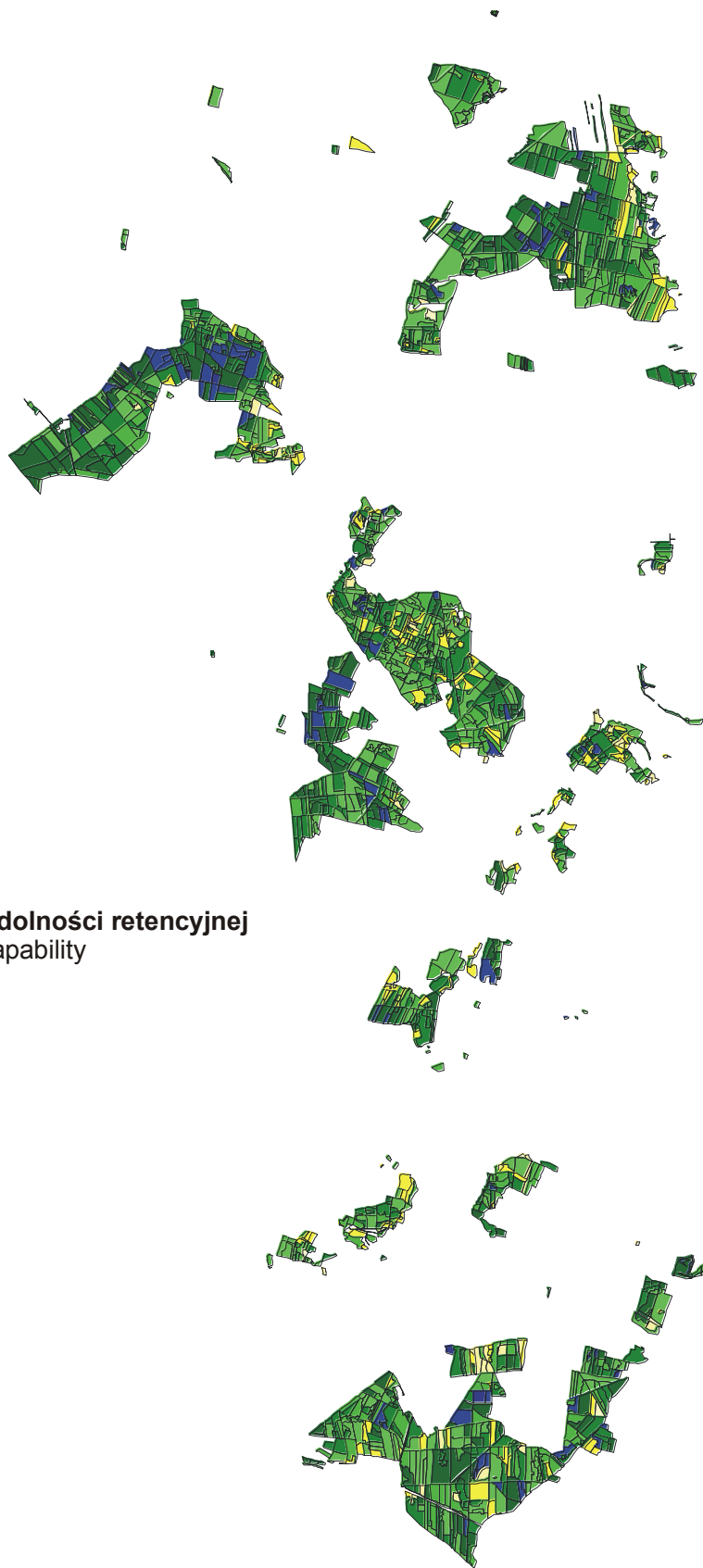
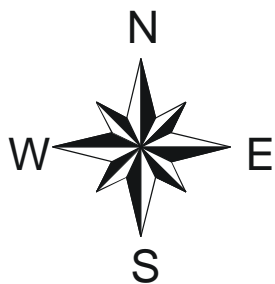














**Przekodowane charakterystyki uwilgotnienia siedlisk**

-  **Kod 1** - mała potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 2** - średnia potencjalna zdolność retencyjna
-  **Kod 3** - duża potencjalna zdolność retencyjna

Rys. 7.10. Mapa kodów dla stopni uwilgotnienia siedlisk



**Wartości miernika potencjalnej zdolności retencyjnej**  
Index value of potential retention capability

	15		20
	16		21
	17		22
	18		23
	19		24

Rys. 7.11. Rozkład miernika potencjalnej zdolności retencyjnej obszarów leśnych  
Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice



Analiza rozkładu miernika potencjalnej zdolności retencyjnej dla Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice wykazała, że charakteryzuje się on znaczną zmiennością przestrzenną (rys. 7.11). Największe skupienie wydzieleń leśnych o dużych zdolnościach retencyjnych występuje w północno-zachodniej części nadleśnictwa. Pozostałe obszary to tereny o mozaikowatym układzie potencjalnej zdolności retencyjnej bez tendencji do łączenia się pododdziałów w większe jednorodne płaty.

Zauważalny jest duży związek potencjalnej zdolności retencyjnej z odległością od sieci cieków oraz wartością średniego współczynnika filtracji gleb. Wraz ze wzrostem wieku drzewostanów rośnie potencjalna zdolność retencyjna wydzielenia leśnego. Podobnie do wyników uzyskanych przez Milera i współautorów (*Miler i in. 2001*) zaobserwowano przyczynowość pomiędzy kształtowaniem się wartości miernika potencjalnej zdolności retencyjnej a gatunkami drzew panujących w drzewostanie. Z mniejszą siłą związku przyczynowego rysuje się prawidłowość obecności obszarów o dużej potencjalnej zdolności retencyjnej na siedliskach bardziej żyznych, a obszarów o małej potencjalnej zdolności retencyjnej – na siedliskach słabszych.

Efekt prac przedstawiony w postaci mapy bardzo przejrzyste obrazuje potencjalną zdolność retencyjną badanego obszaru. Może stanowić materiał pomocniczy w ocenie stosunków wodnych, jak również ukierunkowaniu wytycznych w zakresie gospodarki wodnej zawartych w planach urządzania lasu.

Istnieje konieczność kontynuowania prac nad doborem najważniejszych parametrów siedliskowych i drzewostanowych służących ustalaniu wartości miernika potencjalnej zdolności retencyjnej.

### **Podsumowanie**

Przy szacowaniu miernika potencjalnej zdolności retencyjnej obszarów zalesionych w oparciu o pododdział uzyskuje się zbliżone wyniki do metod wykorzystujących jako powierzchnię elementarną raster (*Grajewski 2004, Miler A.T. i in. 2001*). Jednak w pierwszym przypadku w znacznym stopniu rozszerzyć można zakres zastosowanych charakterystyk, jak i ułatwić prowadzenie obliczeń poprzez bezpośrednie korzystanie z informacji zawartych w bazach danych interesującego nas obiektu leśnego. W wyraźny sposób może to przyspieszyć tok prowadzonych obliczeń oraz zwiększyć precyzję szacowania nie tylko w ujęciu ilościowym, ale także lokalizacji przestrzennej.

Przedstawiona koncepcja obliczania wartości miernika potencjalnej zdolności retencyjnej, stanowiącego statyczną charakterystykę retencji, umożliwiać może obiektywną ocenę zdolności retencyjnej określonego terenu, stwarzać możliwości do porównywania

pomiędzy sobą interesujących nas obszarów oraz dawać podstawy do ewentualnego przenoszenia informacji hydrologicznych z obiektów monitorowanych na nieobjęte kontrolą hydrometryczną.

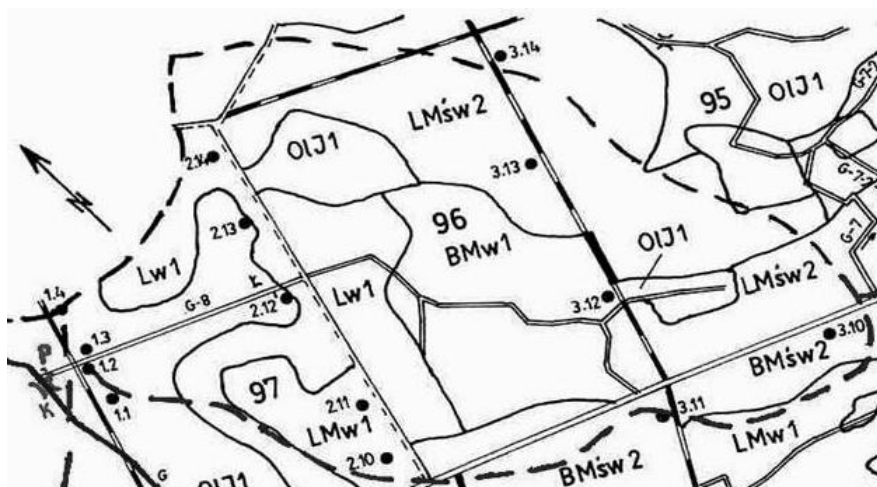
#### Cytowana literatura

- Cebulska M., Osuch B. (1998): *Określenie zdolności intercepcyjnej mchu na przykładzie płonnika strojnego (Polytrichum attenuatum Menz)*. Mat. z Między. Konf. Nauk. pt. Las i woda. 25-29 maja 1998r. Polit. Krak.: 271-279.
- Flisowski J., Iwanejko R., Trzos O., Wieczysty A., Brzozo-Wójcik M. (1986): *Prognozowanie wpływu piętrzenia rzek na wody podziemne i obliczanie systemów odwadniających*. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- Grajewski S. (2004): *Ocena zdolności retencyjnych siedlisk leśnych Parku Krajobrazowego Puszcza Zielonka*. Maszynopis. Kat. Inż. Leśnej AR w Poznaniu.
- Gutry-Korycka M. (1989): *Intercepcja pokrywy roślinnej*. W: U. Soczyńska (red.) *Procesy hydrologiczne: fizycznogeograficzne podstawy modelowania*. PWN. Warszawa: 102-145.
- Homa A. (1998): *Retencja wody w ściółce leśnej*. Materiały z międzynarodowej konferencji naukowej pt. Las i woda. 25-29 maja 1998r. Politechnika Krakowska: 280-289.
- *Instrukcja urządzania lasu (1994)*. MOŚZNiL i DGLP. Warszawa.
- *Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000; arkusze: M-34-25-C Buczyna, M-33-37-A Kluczbork, GEOPOL, Poznań (1998); arkusz M-34-25-A Wieruszów, GEOMAT Sp. z o.o., Poznań 2000.*
- *Mapa przeglądowa siedlisk Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice obrębu Wolczyn oraz obrębu Laski (1994)*. Skala 1:20 000. BUL i GL Oddz. w Poznaniu.
- *Mapa topograficzna w skali 1:50 000 arkusze: M-34-25-C Polczyn, M-33-37-A Kluczbork, M-34-25-A Wieruszów. Opracowanie kartograficzne (1997) WPGK GEOMAP Sp. z o.o. Poznań. Na podst. mapy kartograficznej w skali 1:10000 stan aktualności 1993r.*
- Miler A. (1984): *Problem określania charakterystyk fizjograficznych zlewni jako podstawa oceny warunków retencyjnych*. Pol. Tow. Geofiz., Wrocław. Semin. „Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych”.
- Miler A. (1994): *Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych*. Roczniki AR w Poznaniu. Rozprawy naukowe, z. 258.

- *Miler A. (1998): Modelowanie obszarowych zmienności różnych miar retencji. Wyd. AR Poznań.*
- *Miler A.T., Grajewski S., Okoński B. (2001): Stosunki wodne w wybranych ekosystemach Puszczy Zielonka. Monografia. Wyd. AR Poznań.*
- *Operat urzędzenia gospodarstwa leśnego dla Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice (2005). LZD Siemianice. Maszynopis.*
- *Suliński J. (1993): Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych. Zesz. Naukowe AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, roz. 179.*
- *Strzemski M., Siuta J., Witek T. (1973): Przydatność rolnicza gleb Polski. PWRiL, Warszawa.*
- *Włoczewski T. (1968): Ogólna hodowla lasu. PWRiL, Warszawa.*

## 8. STANY WÓD GRUNTOWYCH W LATACH HYDROLOGICZNYCH 2003-2006 NA OBSZARZE ZLEWNI DOŚWIADCZALNEJ ROWU G-8 W LEŚNICTWIE MARIANKA W LZD SIEMIANICE

Głębokość zalegania wody gruntowej stanowi jedną z podstaw klasyfikacji siedlisk leśnych. Wody gruntowe odgrywają bowiem kluczową rolę w ekosystemach leśnych, jako czynnik determinujący warunki siedliskowe korzystne lub niekorzystne dla określonych gatunków drzew. Wody gruntowe stanowią ważny element gospodarki wodnej danego terenu, jak również mogą być dobrym wskaźnikiem zmian retencji (*Kosturkiewicz i in. 2002*).

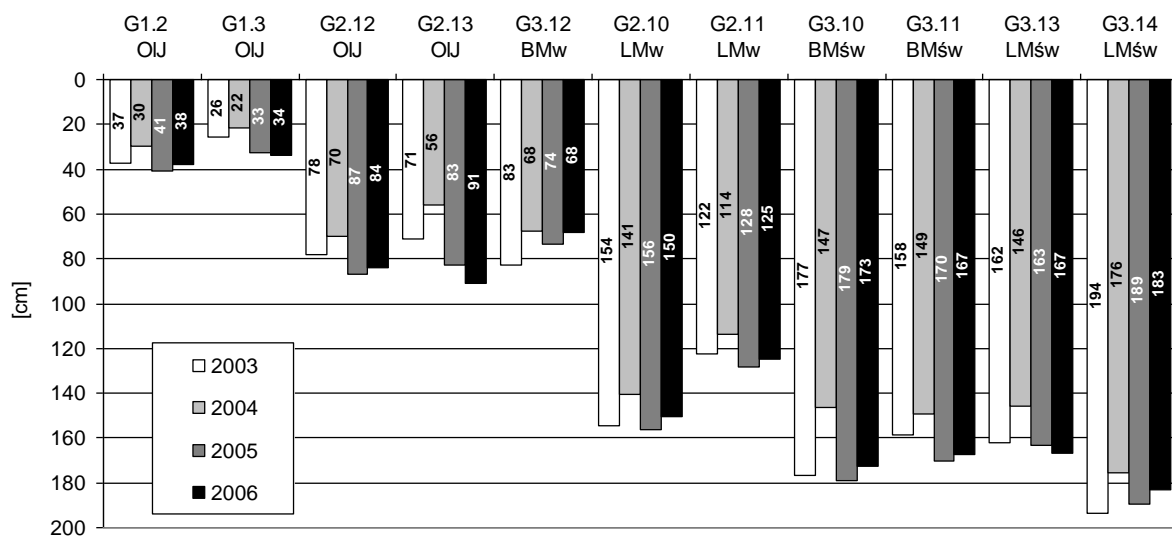


Rys. 8.1. Mapa siedliskowa zlewni rowu G-8

Na rysunku 8.1 przedstawiono uproszczoną mapę siedliskową zlewni rowu G-8, będącego prawobrzeżnym dopływem Rowu Rakowskiego, oznaczonego na mapach melioracyjnych jako rów G, znajdującego się na obszarze leśnictwa Marianka. Na mapce tej zamieszczono również lokalizację jedenastu studzienek do pomiarów stanów wód gruntowych założonych w poszczególnych typach siedliskowych lasu. Studzienki 1.2 i 1.3 położone są w olsie jesionowym w najniższej położonych partiach zlewni. Nieco wyżej, w bliskiej odległości od rowu G-8 zainstalowane są studzienki 2.12 i 2.13, położone również w osie jesionowym. W siedliskach wilgotnych położone są trzy studzienki: 2.10 i 2.11 w lesie mieszanym wilgotnym, oraz studzienka 3.12 w borze mieszanym wilgotnym. W najwyższej położonych partiach zlewni położone są studzienki 3.10 i 3.11, znajdujące się w borze mieszanym świeżym i studzienki 3.13 i 3.14 zlokalizowane w lesie mieszanym świeżym.

Na rysunku 8.2 Przedstawione zostały średnie roczne stany wód gruntowych w poszczególnych studzienkach w latach hydrologicznych od 2003 do 2006. Najpłycej wody

gruntowe występowały w studzienkach 1.2 i 1.3 w olsie jesionowym. W studziencie 1.2 stany wody gruntowej wyniosły od 30 cm w roku hydrologicznym 2004 do 41 cm w roku hydrologicznym 2005. W studziencie 1.3 wyniosły one od 22 cm w roku 2004 do 34 cm w roku 2006. Nieco głębiej wody gruntowe w siedliskach olsu jesionowego występowały w położonych wyżej w terenie studzienkach 2.12 i 2.13 i wyniosły odpowiednio od 70 cm (rok 2004) do 87 cm (rok 2006) oraz od 56 cm (rok 2004) do 91 cm (rok 2006). Zbliżone wartości średnich stanów wód gruntowych w wymienionych latach obserwowano także w studziencie 3.12 w borze mieszanym wilgotnym. Wyraźnie większe wartości średnich stanów wód obserwowano w studzienkach w lesie mieszanym wilgotnym.

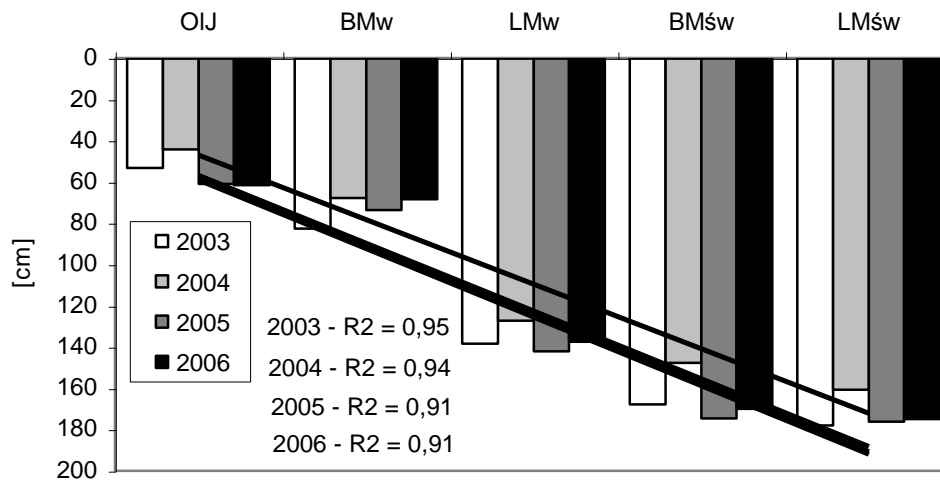


Rys. 8.2. Średnie roczne stany wód gruntowych (poniżej powierzchni terenu) w poszczególnych studzienkach w zlewni rowu G-8 w latach hydrologicznych od 2003 do 2006

W studziencie 2.11 wyniosły one od 114 do 128 cm a w studziencie 2.10 wody gruntowe zalegały na głębokości ok. 30 cm większej. Najgłębiej wody gruntowe występowały w położonych w najwyższych i wododziałowych partiach zlewni studzienkach w siedliskach świeżych: boru mieszanego świeżego i lasu mieszanego świeżego. W borze mieszanym świeżym w studziencie średnie stany wody gruntowej wyniosły w studziencie 3.10 od 147 do 179 cm, a w studziencie 3.11 odpowiednio od 149 do 167 cm. W lesie mieszanym świeżym stany te wyniosły w studziencie 3.13 od 146 do 167 cm, a w studziencie 3.14 od 176 do 194 cm.

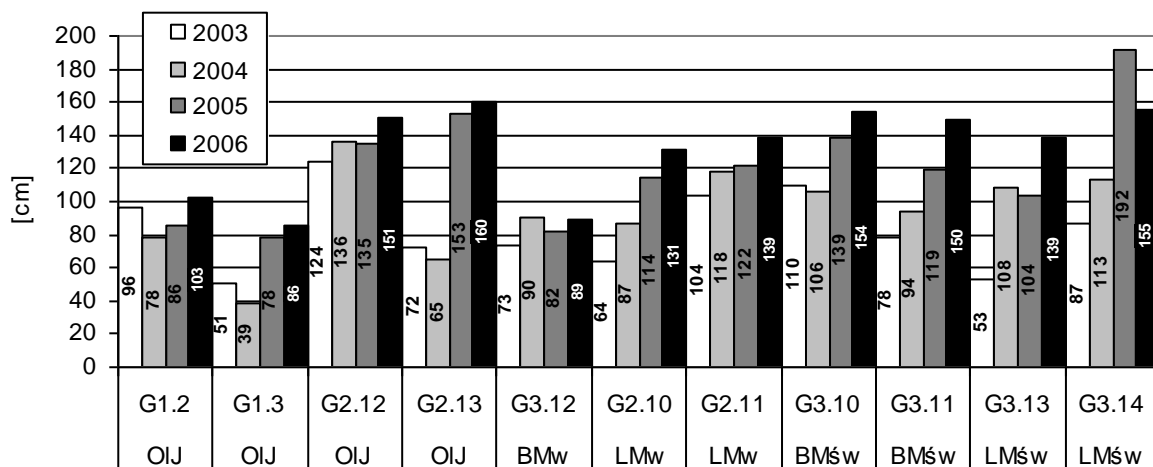
Takie wielkości średnich stanów wód gruntowych mogą być związane z przebiegiem warunków meteorologicznych, ale także z położeniem studzienek z rzeźbie terenu i co za tym

idzie z siedliskowym typem lasu. Potwierdzeniem tego może być wykres średnich stanów wody oraz wysoki współczynnik determinacji związku średnich stanów wód gruntowych z poszczególnymi typami siedliskowymi lasu, w analizowanych latach hydrologicznych od 2003 do 2006 (rys. 8.3).



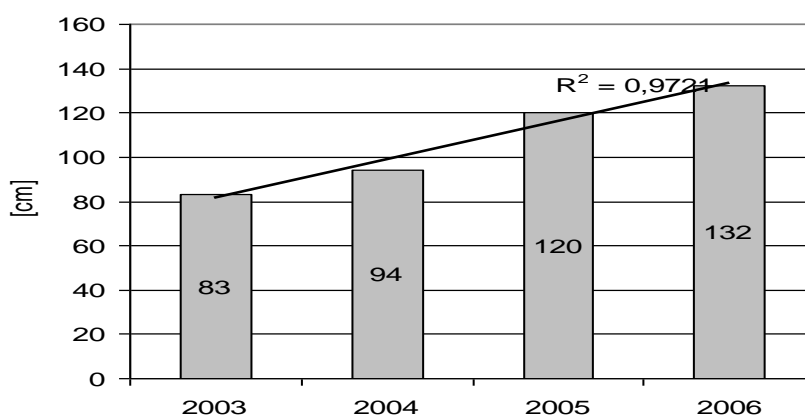
Rys. 8.3. Związki średnich rocznych stanów wód gruntowych (poniżej powierzchni terenu) z poszczególnymi typami siedliskowymi lasu w zlewni rowu G-8 w latach hydrologicznych od 2003 do 2006

Dla poszczególnych studzienek w zlewni rowu G-8 określono również amplitudy wahań stanów wód gruntowych w poszczególnych latach jako różnicę między maksymalnym (najgłębszym) a minimalnym (naj płytszym) stanem wody w danej studzience. Wielkość amplitud w poszczególnych studzienkach przedstawiono na rysunku 8.4. Amplitudy te były dość znacznie zróżnicowane zarówno w poszczególnych studzienkach, latach hydrologicznych jak i typach siedliskowych lasu.



Rys. 8.4. Amplitudy wahań stanów wód gruntowych w poszczególnych studzienkach w zlewni rowu G-8 w latach hydrologicznych od 2003 do 2006

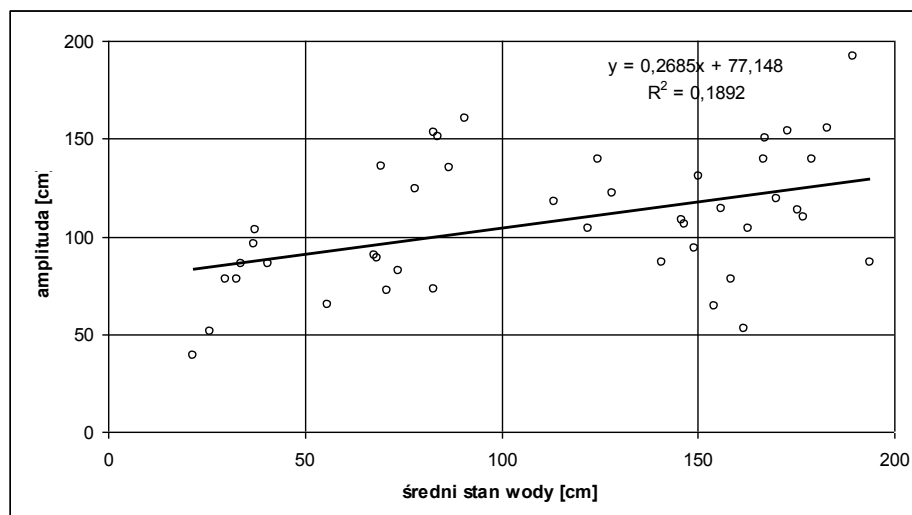
Najmniejsze wartości amplitud stanów wód gruntowych zaobserwowano w studzienkach 1.2 i 1.3 w olsie jesionowym, podczas gdy w pozostałych dwóch studzienkach w tym typie siedliskowym lasu były one już wyraźnie wyższe, szczególnie w studziencie 2.12. Podobne zróżnicowanie wielkości amplitud obserwowano także w innych studzienkach zlokalizowanych w zlewni rowu G-8. Największe amplitudy wahań stanów wody stwierdzono w studziencie 3.14 w lesie mieszanym świeżym. Amplitudy stanów wody w poszczególnych studzienkach były także nieco wyższe w latach hydrologicznych 2005 i 2006 w porównaniu z latami hydrologicznymi 2003 i 2004. Potwierdza to kolejny wykres przedstawiający średnie wartości amplitud dla wszystkich analizowanych studzienek w badanych latach (rys. 8.5)



Rys. 8.5. Średnie wartości amplitud średnich stanów wody badanych studni w poszczególnych latach hydrologicznych w analizowanym okresie do 2003 do 2006

W roku hydrologicznym 2003 średnie amplitudy były najniższe i wyniosły 83 cm. W latach hydrologicznych 2004 i 2005 amplitudy te wyniosły odpowiednio 94 i 120 cm. Najwyższe amplitudy wahań stanów wody stwierdzono natomiast w roku hydrologicznym 2006, w którym wyniosły one średnio 132 cm.

Dla sprawdzenia czy istnieje zależność pomiędzy średnimi stanami wody w studzienkach a amplitudami wahań ich stanów obliczono liniowy związek pomiędzy tymi wielkościami dla poszczególnych studzienek (rys. 8.6). Jak wynika z ryciny i przedstawionej niskiej wartości współczynnika korelacji takiej zależności dla studni zlokalizowanych w obszarze zlewni nie stwierdzono. Można zatem stwierdzić, że dla warunków glebowo siedliskowych zlewni G-8 roczne amplitudy wahań stanów wody nie są skorelowane ze średnimi rocznymi stanami wody w poszczególnych siedliskach.



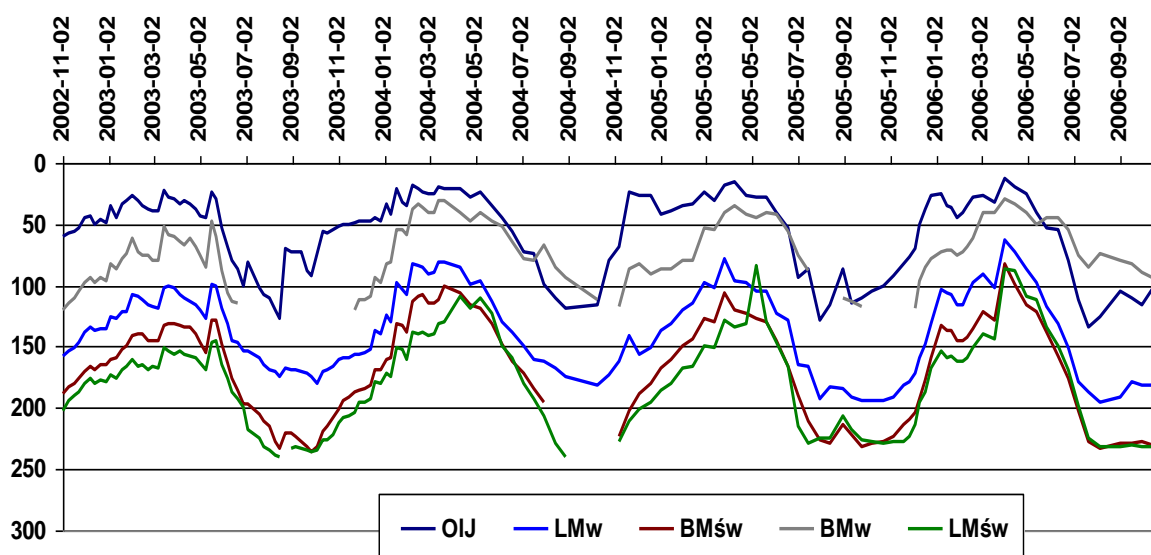
Rys. 8.6. Związek rocznych amplitud wahań stanów wody ze średnimi rocznymi stanami wody w poszczególnych studzienkach w latach hydrologicznych od 2003 do 2006

Bardziej szczegółowe badania dotyczące amplitud wahań stanów wody gruntowej przeprowadzono dla sąsiedniej zlewni rowu G (*Stasik i in. 2004*). W pracy tej analizując amplitudy wahań stanów wód gruntowych w sześciu typach siedliskowych lasu stwierdzono, że inne są w poszczególnych siedliskach amplitudy wahań stanów wód gruntowych w półroczach letnich, a inne w półroczach zimowych. W zimowych półroczach hydrologicznych amplitudy wahań stanów wód gruntowych są niższe niż w półroczach letnich i ściśle związane ze średnimi stanami wód gruntowych. Amplitudy w tych półroczach wzrastają od najmniejszych w olsach jesionowych i lasach wilgotnych oraz kolejno w lasach mieszanych wilgotnych, borach wilgotnych i świeżych, do największych w lasach mieszanych świeżych. Taki sam jest układ średnich stanów wód gruntowych, od najwyższych w olsach jesionowych do najniższych w lasach mieszanych wilgotnych. Ogółem średnie stany wody gruntowej w półroczach zimowych są wyższe niż w półroczach letnich, a amplitudy wahań stanów wód gruntowych są niższe. Wyraźnie występuje to na siedliskach wilgotnych, a zwłaszcza w olsach jesionowych i lasach wilgotnych. Te różnice są najbardziej widoczne przy porównaniu wartości średnich dla obu letnich i zimowych półroczy hydrologicznych. Wysokie, w porównaniu z zimowymi półroczami hydrologicznymi, są w półroczach letnich amplitudy wahań w olsach jesionowych, lasach wilgotnych i lasach mieszanych wilgotnych w siedliskach świeżych różnice te są małe. W olsach jesionowych amplitudy wahań stanów wód gruntowych w półroczach letnich są ponad 100% wyższe od amplitud w półroczach zimowych, w lasach wilgotnych o około 70%, lasach mieszanych wilgotnych 51% i 21% w borach mieszanych wilgotnych (*Stasik i in. 2004*).



W lasach mieszanych świeżych i borach mieszanych świeżych badane amplitudy są bardziej zbliżone do siebie. Wyższe w półroczach letnich amplitudy stanów wód gruntowych w siedliskach wilgotnych wiążą się z bardziej intensywną transpiracją drzewostanów, przy wyższych stanach wód gruntowych niż w siedliskach świeżych. Tyszka (1995) zwraca uwagę na nasilenie w okresie letnim procesu transpiracji, który na siedliskach wilgotnych wpływa na zmniejszenie zasobów wody glebowej.

Jak wiadomo przebieg stanów wód gruntowych, a co za tym idzie także zmiany retencji nie tylko na obszarach leśnych, są determinowane głównie przez przebieg warunków meteorologicznych. Jak wykazały wcześniejsze prace badawcze prowadzone na obszarze zlewni LZD Siemianice (Korytowski i in. 2005a, b) w półroczach zimowych obserwuje się przyrosty stanów wód gruntowych a także związanej z nimi retencji, natomiast w półroczach letnich następuje ich obniżanie. Taki przebieg stanów wody gruntowej w glebach analizowanych siedlisk można również zaobserwować w omawianej zlewni rowu G-8. Najpłycej, podobnie jak to miało miejsce w przypadku średnich stanów wody (rys. 8.1) wody gruntowe występowały w glebach olsu jesionowego, nieco głębiej w siedliskach wilgotnych lasu i boru mieszanego wilgotnego zaś najgłębiej występowały w siedliskach świeżych – lasu i boru mieszanego świeżego.



Rys. 8.7. Przebieg stanów wód gruntowych w glebach siedlisk leśnych w zlewni rowu G-8 w latach hydrologicznych od 2003 do 2006

W roku 2003 w półroczu zimowym obserwowano podnoszenie się zwierciadła wód gruntowych. Wyraźny ich spadek nastąpił na początku półrocza letniego. W okresie tym, w

sierpniu zaobserwowano najgłębsze występowanie zwierciadła wód gruntowych w glebach wszystkich siedlisk leśnych, a okresowo nawet ich zanik w zlokalizowanych tam studzienkach (rys. 8.7). Podobny przebieg stanów wód gruntowych w glebach siedlisk leśnych zlewni rowu G-8 obserwowano także w kolejnych analizowanych latach hydrologicznych. W półroczach zimowych wody gruntowe stopniowo podnosiły się i najczęściej w okresie wczesnej wiosny osiągały najniższe wartości (zalegały najbliżej powierzchni terenu). natomiast w półroczach letnich po rozpoczęciu okresu wegetacyjnego wody gruntowe obniżały się i osiągały wartości maksymalne (najgłębsze zaleganie wód) okresowo nawet zanikając. Takie przebieg stanów wód gruntowych jak już wspomniano wiązać można z przebiegiem warunków meteorologicznych. Zgromadzona w półroczach zimowych woda jest następnie w półroczach letnich wykorzystywana w intensywnym procesie transpiracji drzewostanów, co znacząco wpływa na obniżanie się zwierciadła wód gruntowych.

#### Cytowana literatura:

- Korytowski M., Stasik R., Szafranski Cz. (2005a): *Zmiany retencji w zlewni śródleśnego oczka wodnego i możliwości ich szacowania. Zesz. Nauk. Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej, Inżynieria Środowiska 22, 877-888.*
- Korytowski M., Stasik R., Szafranski Cz. (2005b): *Zmiany retencji w mikrozwlewni leśnej w roku wilgotnym i suchym. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. z. 506, Warszawa, 261-268.*
- Kosturkiewicz A., Korytowski M., Stasik R., Szafranski Cz. (2002): *Amplitudy wahań wody gruntowej w glebach siedlisk leśnych jako wskaźnik ich zdolności retencyjnych. Roczniki AR w Poznaniu, Melior. i Inż. Środ. t. 338, z. 22, Poznań, 55-64.*
- Stasik R., Szafranski Cz., Korytowski M. (2004): *Stany wody gruntowej i ich związki ze stanami wody w cieku w małej zlewni leśnej. Roczniki AR w Poznaniu, Melior. i Inż. Środ. t. 357, z. 25, Poznań, 2004: 557-564.*
- Tyszka J. (1995): *Rola i miejsce lasu w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni rzecznej. Sylwan, Rok CXXXIX, Nr 11: 67-80.*

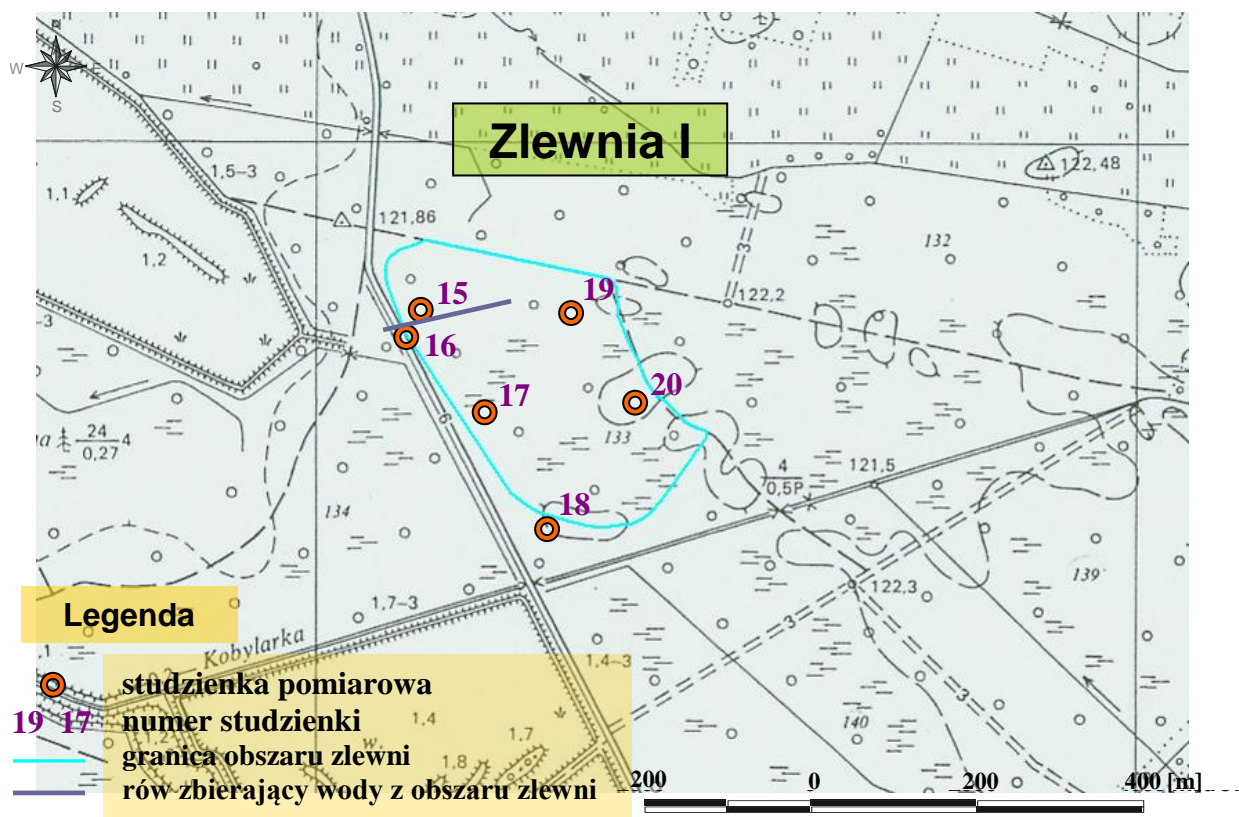
## 9. JAKOŚĆ WÓD POWIERZCHNIOWYCH I GRUNTOWYCH

Analizy jakości wód powierzchniowych i gruntowych wykonano w Zakładzie Analizy Wody i Gruntów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz w Katedrze Chemii na Wydziale Technologii Drewna Akademii Rolniczej w Poznaniu. Technika poboru próbek, pojemniki do poboru próbek wody oraz przechowywanie i transport próbek wody zostały przeprowadzone zgodnie z odpowiednimi normami (PN-76/C-04620/03, PN-87/C-04632/01, PN-87/C-04632/02, PN-88/C-04632/03, PN-88/C-04632/04, PN-EN ISO 5667/3). Zakres i metody oznaczeń wskaźników zanieczyszczeń analizowanych próbek wód powierzchniowych i gruntowych przedstawia poniższa tabela.

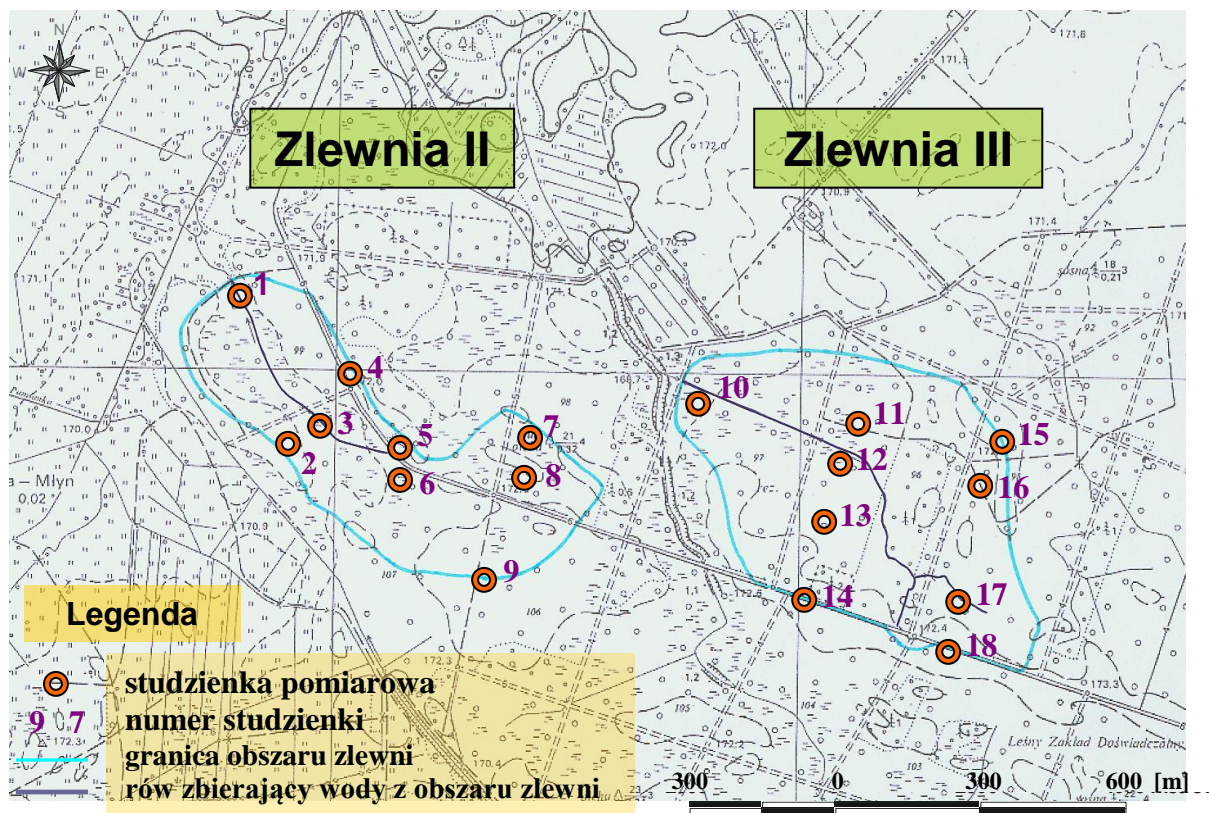
Tabela 9.1. Zakres i metody oznaczeń wskaźników zanieczyszczeń analizowanych próbek wód powierzchniowych i gruntowych z terenu badanych zlewni

Zakres oznaczeń	Metody oznaczeń
Odczyn pH	PN-90/C-04540
ChZT <sub>Cr</sub>	PN-74/C-04578
Azot amoniakalny N-NH <sub>4</sub>	PN-C-04576
Azot azotynowy N-NO <sub>2</sub>	PN-C-04576
Azot azotanowy N-NO <sub>3</sub>	PN-C-04576
Siarczany –SO <sub>3</sub>	PN 74/C-04566
Chlorki –Cl	PN-75/C-04617
Ortofosforany – P-PO <sub>4</sub>	PN-88/C-04537
Sód Na	PN-ISO-9964-3
Potas K	PN-ISO-9964-3
Wapń Ca	PN-91/C-4551
Magnez Mg	PN-91/C-4562
Twardość	PN-71/C-04554
Przewodnictwo elektrolityczne	PN-EN 27888

Pobranie próbek wody do analiz chemicznych i fizycznych przeprowadzono 3 i 4 listopada 2005 roku, 19 i 20 kwietnia 2006 roku oraz 11 i 12 lipca 2007 roku. Pierwsze dwa pomiary reprezentowały dwa skrajne warianty położenia zwierciadła wody gruntowej: płytko, tuż pod powierzchnią terenu oraz głęboko. Wszystkie trzy pomiary były dokonywane w odmiennych stadiach rozwojowych panującej na tym terenie roślinności tj. na początku i końcu okresu wegetacyjnego oraz w jego środkowej fazie.



Rys. 9.1. Szczegółowa lokalizacja powierzchni doświadczalnych (zlewnie ze studzienkami do pomiaru wód gruntowych) na terenie Nadleśnictwa Antonin, Leśnictwo Mariak



Rys. 9. 2. Szczegółowa lokalizacja powierzchni doświadczalnych (zlewnie ze studzienkami do pomiaru wód gruntowych) na terenie LZD Siemianice, Leśnictwo Marianka

Podczas trzech wyjazdów terenowych zebrano łącznie 47 prób wody gruntowej i powierzchniowej z wytypowanych na powierzchniach badawczych punktów monitoringowych (rys. 9.1 i 9.2).

W związku z istniejącą luką prawną (wygaśnięciem starej normy z dnia 11 lutego 2004 r i brakiem nowej) uzyskane w laboratorium wyniki analiz wód porównano, zgodnie ze wskazówkami Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Poznaniu, z następującymi aktami prawnymi: Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanów wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. Nr 32, poz.284), Klasyfikacją jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu (PIOŚ 1995) oraz Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. W sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakimi powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (załącznik nr 1 poz. 503; Wartości wskaźników zanieczyszczeń śródlądowych wód powierzchniowych).

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu został pisemnie zobligowany przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska do posługiwania się w swoich analizach Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. W niniejszej pracy posłużono się jeszcze starszymi normami, gdyż najświeższa norma nie posiada wytycznych do sklasyfikowania wszystkich z badanych parametrów zawartych w tym artykule.

Pomimo korzystania z kilku norm wśród badanych wskaźników wystąpiły trzy nie znormalizowane w żadnej z nich. Wszystkie one dotyczą wód gruntowych i są to: ChZT z  $K_2Cr_2O_7$ , fosfor ogólny oraz zasadowość ogólna.

Z uwagi na pewne niedoskonałości normy ujętej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r., gdzie dla kilku wskaźników występują te same wartości graniczne w dwóch różnych-sąsiednich klasach jakości (w II kl. i III kl. dla przewodności, siarczanów i sodu oraz w I kl. i II kl. dla potasu) zastosowano następujący sposób postępowania uzgodniony z WIOŚ w Poznaniu. Zanalizowaną wodę w wyżej opisanych, wątpliwych przypadkach przypisywano lepszej klasie jakości z dwóch możliwych klas wynikających z normy.



## Jakość wód powierzchniowych

Szczegółowe wyniki badań jakości poszczególnych próbek wód powierzchniowych z cieków (CI, C II i C III) odprowadzających wody trzech zlewni (I, II i III) przedstawione zostały w poniższych tabelach.

Tabela 9.2. Wyniki monitoringu wód powierzchniowych z leśnych obszarów mokradłowych z jesieni 2005 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń		
		C I	C II	C III
Przewodnictwo *	µS/cm	432	587	542
Odczyn pH *	-	6,71	5,95	6,39
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> *	mg O <sub>2</sub> /l	51,6	66,4	45,2
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	0,80	1,30	2,18
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	80	35	58
Chlorki *	mg Cl/l	19	90	26
Fosforany rozpuszczone *	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.
Fosfor ogólny *	mg P/l	n.w.	0,23	0,01
Zasadowość ogólna *	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-
Potas **	mg K/l	1,3	1,4	3,6
Sód **	mg Na/l	13,0	8,6	8,2
Wapń *	mg Ca/l	57,1	87,2	64,3
Magnez *	mg Mg/l	19,1	25,2	14,7
Twardość ogólna **	mg CaCO <sub>3</sub> /l	221	449	221
Twardość węglanowa	mval/l	2,6	3,3	2,9
	mgCaCO <sub>3</sub> /l	130	165	145

gdzie:

- nie badano

n.w. – nie wykryto

\* - Na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanów wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. Nr 32, poz.284)

	- I klasa jakości
	- II klasa jakości
	- III klasa jakości
	- IV klasa jakości
	- V klasa jakości

\*\* - Na podstawie Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakimi powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (załącznik nr 1 poz. 503; Wartości wskaźników zanieczyszczeń śródlądowych wód powierzchniowych)

	wartość – I klasa jakości
	wartość – II klasa jakości
	wartość – III klasa jakości
	wartość – wody pozaklasowe

Tabela 9.3. Wyniki monitoringu wód powierzchniowych z leśnych obszarów mokradłowych z wiosny 2006 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń		
		C I	C II	C III
Przewodnictwo *	μS/cm	414	323	469
Odczyn pH *	-	6,66	6,38	6,32
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> *	mg O <sub>2</sub> /l	120	109	73,2
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	1,54	1,28	0,77
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	0,07	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.	2,66	2,66
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	31	47	105
Chlorki *	mg Cl/l	29	11	18
Fosforany rozpuszczone *	mg PO <sub>4</sub> /l	0,6	n.w.	n.w.
Fosfor ogólny *	mg P/l	0,3	0,04	0,03
Zasadowość ogólna *	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2,6	2,4	2,4
Potas **	mg K/l	2,7	1,5	0,8
Sód **	mg Na/l	16,3	4,6	11,6
Wapń *	mg Ca/l	47,5	54,3	34,3
Magnez *	mg Mg/l	10,4	8,7	34,7
Twardość ogólna **	mg CaCO <sub>3</sub> /l	160	171	228
Twardość węglanowa	mval/l	-	-	-

Oznaczenia jw.

Tabela 9.4. Wyniki monitoringu wód powierzchniowych z leśnych obszarów mokradłowych z lata 2007 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń	
		C II	C III
Przewodnictwo *	μS/cm	1082	1164
Odczyn pH * po 2h po 24h	-	5,77	5,79
		5,76	5,78
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> *	mg O <sub>2</sub> /l	43,07	52,78
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	1,885	0,882
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	2,0	1,1
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	-	-
Chlorki *	mg Cl/l	-	-
Fosforany rozpuszczone *	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	n.w.
Fosfor ogólny *	mg P/l	1,281	0,530
Zasadowość ogólna *	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-
Potas **	mg K/l	2,3846	1,1248
Sód **	mg Na/l	-	-
Wapń *	mg Ca/l	-	-
Magnez *	mg Mg/l	16,0944	13,8472
Twardość ogólna **	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-
Twardość węglanowa	mval/l	-	-

Oznaczenia jw.

Wody cieków odwadniających obszary badawcze pod względem zawartości azotynów, azotanów, fosforanów rozpuszczonych, siarczanów, chlorków, potasu i w sezonie jesiennym

charakteryzowała I kl. jakości. Jeżeli chodzi o fosfor ogólny, magnez i twardość ogólną wody rowu C I i C III zawierały się w I kl. jakości, natomiast C II w II kl. jakości. Zawartości  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  (IV kl.) oraz amoniaku (III kl.-C II, IV kl. C III) były znaczne. Jakość wody badanych cieków była zbliżona. Minimalnie lepsza w cieku C I a gorsza w cieku C II.

W sezonie wiosennym nadal najkorzystniej pod względem czystości wód powierzchniowych wypadła zawartość fosforanów rozpuszczonych i nadal w I kl. jakości znajdowały się azotany, chlorki, potas i sód. Nieznacznie polepszeniu uległa jakość z uwagi na przewodnictwo (z II kl. do I kl. w ciekach C II i C III), amoniak (z IV kl. do II kl. dla C III ale dla C I uległa pogorszeniu z II do III) wapń (z II kl. do I kl. dla C I i C III) oraz twardość ogólna (z II do I klasy dla C II). Tendencja spadkowa jakości wody w poszczególnych klasach wystąpiła odnośnie zawartości azotynów (dla C II z I kl. do II kl.). Najgorzej we wszystkich ciekach przedstawiały się wartości  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  i zasadowości ogólnej – V kl. jakości. Jeżeli chodzi o analizy wody pobranej latem w I kl. jakości mieściły się azotyny, azotany, fosforany rozpuszczone, potas i magnez. Najgorzej sytuacja przedstawiała się dla  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  (IV kl. jakości) i fosforu ogólnego (V kl. w C II i III kl. w C III).

Ogólnie można powiedzieć, iż jakość wód powierzchniowych wszystkich trzech cieków cechowały podobne trendy zmian w ich jakości. Minimalne różnice wpłynęły na to, iż ogólnie jesienią 2005 w cieku C I woda była najczystsza a w cieku C II najgorsza, wiosną 2006 porównywalna we wszystkich trzech ciekach a latem 2007 trochę gorsza w cieku C II niż w C III.

Wysokie wartości zasadowości ogólnej możemy tłumaczyć wysokim pH, przez co dużą liczbą jonów  $\text{OH}^-$  w wodzie, które są jedną z głównych przyczyn występowania tej właściwości wody (*Dojlido 1995*).

$\text{ChZT}$  określa ilość tlenu potrzebnego do oksydacji materii organicznej (*Chelmicki 2001*). Spadek jakości z IV kl. jesienią do V kl. wiosną był wynikiem niższego poziomu wód powierzchniowych w tym drugim okresie, przez co spowolnieniem ich przepływu i mniejszym kontaktem z powietrzem atmosferycznym a w efekcie zmniejszeniem natlenienia. Zmniejszenie ilości azotu amonowego na wiosnę spowodowane zostało przez zużywanie go przez rośliny oraz przebieg procesu nitryfikacji (*Dojlido 1995*).

Związki azotu takie jak amoniak, azotyny i azotany są często traktowane jako wskaźniki zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, iż procesy biogeochemiczne zachodzące na obszarach podmokłych mogą także być ich źródłem ([http://www.kampinoskipn.gov.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=39&Itemid=94&PHPSESSID=633f28a0991c7f93af8732a366182606](http://www.kampinoskipn.gov.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=94&PHPSESSID=633f28a0991c7f93af8732a366182606)).



Tabela 9.5. Średnie wartości poszczególnych wskaźników jakości wód powierzchniowych i odchylenia standardowe z terenów leśnych zlewni mokradłowych w okresie jesieni 2005, wiosny 2006 oraz lata 2007 roku

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		jesień 2005r.		wiosna 2006r.		lato 2007r.	
		średnia	Odchylenie standardowe	średnia	odchylenie standardowe	średnia	odchylenie standardowe
Przewodnictwo *	μS/cm	520	80	402	74	1123	58
Odczyn pH *	-	6,35		6,45		5,78	
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Mg O <sub>2</sub> /l	54,4	10,9	100,7	24,5	47,93	6,87
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	1,43	0,70	1,20	0,39	1,384	0,709
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.		0,02	0,04	n.w.	
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.		1,77	1,54	1,6	0,6
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	58	23	61	39	-	-
Chlorki *	Mg Cl/l	45	39	19	9	-	-
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.		0,2	0,3	n.w.	
Fosfor ogólny *	mg P/l	0,08	0,13	0,12	0,15	0,906	0,531
Zasadowość ogólna *	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	2,5	0,1	-	-
Potas **	Mg K/l	2,1	1,3	1,7	1,0	1,7547	0,8908
Sód **	Mg Na/l	9,9	2,7	10,8	5,9	-	-
Wapń *	Mg Ca/l	69,5	15,7	45,4	10,2	-	-
Magnez *	mg Mg/l	19,7	5,3	17,9	14,5	14,9708	1,5890
Twardość ogólna **	mg CaCO <sub>3</sub> /l	297,0	131,6	186	37	-	-
Twardość węglanowa	mval/l	2,9	0,4	-	-	-	-
	mg CaCO <sub>3</sub> /l	145	20				



brak wartości z uwagi na niemożliwość jej obliczenia

Pozostałe oznaczenia jw.

## Jakość wód gruntowych

Poniższe tabele zawierają szczegółowe wyniki badań jakości poszczególnych próbek wód gruntowych zebranych na terenie trzech zlewni (I, II i III).

Tabela 9.6. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni I przeprowadzonego jesienią 2005 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		I 15	I 16	I 17	I 18	I 19	I 20
Przewodnictwo *	μS/cm	531	411	524	553	-	770
Odczyn pH *	-	6,74	6,83	6,36	6,82	6,48	7,13
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	42,0	39,4	34,8	22,8	45,8	26,4
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	2,42	0,11	3,69	6,20	0,25	1,87
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	0,007	0,014	0,100	n.w.	0,070
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.	4,3	n.w.	0,95	8,6	0,90
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	14	42	31	20	-	210
Chlorki *	mg Cl/l	19	38	21	30	-	26
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	0,44	n.w.	n.w.	-	n.w.
Fosfor ogólny	mg P/l	0,05	0,16	0,17	0,09	-	0,10
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Potas *	mg K/l	1,7	2,4	2,6	2,1	-	2,8
Sód *	mg Na/l	17,5	23,5	24,0	22,8	-	27,0
Wapń *	mg Ca/l	80,3	50,0	78,5	78,5	-	132
Magnez *	mg Mg/l	8,7	4,8	10,8	17,4	-	13,0
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	235	146	240	267	-	329
Twardość węglanowa	mval/l	4,72	2,20	4,81	5,35	-	3,90
	mgCaCO <sub>3</sub> /l	236	110	240,5	267,5	-	195

gdzie:

- nie badano

n.w. – nie wykryto

\* - Na podstawie Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanów wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. Nr 32, poz.284)

	- I klasa jakości
	- II klasa jakości
	- III klasa jakości
	- IV klasa jakości
	- V klasa jakości

\*\*\* - Na podstawie „Klasyfikacji jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu” (PIOŚ 1995)

kolorem ~~niebieskim~~ - Ia klasa jakości

kolorem ~~zielonym~~ - Ib klasa jakości

kolorem ~~żółtym~~ - II klasa jakości

kolorem ~~pomarańczowym~~ - III klasa jakości

kolorem ~~czerwonym~~ - NOK (nie odpowiada klasie)

Tabela 9.7. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni II przeprowadzonego jesienią 2005 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		II 1	II 2	II 3	II 6	II 7	II 8
Przewodnictwo *	μS/cm	439	1970	492	872	456	562
Odczyn pH *	-	7,13	7,49	6,47	7,28	6,98	7,17
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	45,6	144	115	22,8	108	31,2
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	0,10	151	3,4	0,36	4,1	0,36
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	0,007	n.w.	n.w.	0,11	n.w.	0,027
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	50	205	185	145	38	138
Chlorki *	mg Cl/l	17	132	8	17	13	17
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	26,0	0,50	n.w.	3,80	n.w.
Fosfor ogólny	mg P/l	0,17	9,30	0,26	0,03	1,90	0,11
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Potas *	mg K/l	3,7	48,2	8,7	3,6	4,0	6,0
Sód *	mg Na/l	21,0	85,8	32,5	21,7	20,2	37,8
Wapń *	mg Ca/l	71,4	107	71,4	168	71,4	89,2
Magnez *	mg Mg/l	8,7	17,4	10,8	15,2	8,7	8,7
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	<del>214</del>	<del>338</del>	<del>222</del>	<del>481</del>	<del>214</del>	<del>258</del>
Twardość węglanoa	mval/l	4,00	6,77	2,40	7,60	4,28	3,9
	mgCaCO <sub>3</sub> /l	200	338,5	120	380	214	195

Oznaczenia jw.

Tabela 9.8. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni III przeprowadzonego jesienią 2005 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		III 10	III 12	III 13	III 16	III 17	III 18
Przewodnictwo *	μS/cm	541	731	362	486	591	857
Odczyn pH *	-	6,42	6,85	6,52	6,24	6,66	6,25
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	11,8	22,8	33,6	28,2	117	233
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	0,04	0,65	0,48	0,86	2,70	24,2
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	0,20	0,20	n.w.	0,04	n.w.	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	1,72	1,72	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	47	62	42	182	120	98
Chlorki *	mg Cl/l	26	20	12	25	28	14
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	0,50
Fosfor ogólny	mg P/l	n.w.	0,03	n.w.	n.w.	n.w.	1,44
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Potas *	mg K/l	0,7	1,4	1,6	27,3	1,9	17,1
Sód *	mg Na/l	8,9	22,0	15,3	38,4	23,5	11,0
Wapń *	mg Ca/l	85,7	110	67,1	27,1	94	15,0
Magnez *	mg Mg/l	13,9	17,3	2,6	24,3	26,4	20,4
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	<del>271</del>	<del>345</del>	<del>178</del>	<del>167</del>	<del>380</del>	<del>121</del>
Twardość węglanowa	mval/l	3,8	5,8	3,0	1,1	4,3	2,2
	mgCaCO <sub>3</sub> /l	190	290	150	55	215	110

Oznaczenia jw.

Tabela 9.9. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni I przeprowadzonego wiosną 2006 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń		
		I 17	I 18	I 19
Przewodnictwo *	μS/cm	468	766	154
Odczyn pH *	-	6,41	6,45	5,40
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> *	mg O <sub>2</sub> /l	33,2	19,8	21,2
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	0,77	n.w.	0,89
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	1,98	n.w.	0,09
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.	n.w.	26,6
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	55	142	32
Chlorki *	mg Cl/l	25	79	6
Fosforany rozpuszczone *	mg PO <sub>4</sub> /l	0,45	0,3	1,9
Fosfor ogólny *	mg P/l	0,17	0,13	0,68
Zasadowość ogólna *	mg CaCO <sub>3</sub> /l	3,5	2,2	0,1
Potas **	mg K/l	2,0	0,53	2,9
Sód **	mg Na/l	15,5	28,9	3,2
Wapń *	mg Ca/l	65,7	88,5	12,6
Magnez *	mg Mg/l	13,9	20,8	4,3
Twardość ogólna **	mg CaCO <sub>3</sub> /l	221	306	46,2
Twardość węglanowa	mval/l	-	-	-

Oznaczenia jw.

Tabela 9.10. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni II przeprowadzonego wiosną 2006 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń		
		II 2	II 3	II 7
Przewodnictwo *	μS/cm	786	338	163
Odczyn pH *	-	6,50	6,18	6,09
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	57,2	76,5	57,6
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	16,0	1,09	2,56
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	0,99	0,16	0,26
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	17,7	n.w.	n.w.
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	126	9	5
Chlorki *	mg Cl/l	38	8	9
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	5,3	n.w.	2,55
Fosfor ogólny	mg P/l	1,8	0,18	0,94
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	3,7	3,3	1,0
Potas *	mg K/l	11,5	0,7	1,9
Sód *	mg Na/l	17,6	2,4	2,9
Wapń *	mg Ca/l	91,4	54,3	11,4
Magnez *	mg Mg/l	15,6	10,4	5,2
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	193	173	49
Twardość węglanowa	mval/l	-	-	-

Oznaczenia jw.

Tabela 9.11. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni III przeprowadzonego wiosną 2006 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń		
		III 16	III 17	III 18
Przewodnictwo *	μS/cm	376	650	162
Odczyn pH *	-	6,00	5,98	4,6
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	12,0	114	94,8
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	0,18	0,36	1,28
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	0,33	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	87	122	36
Chlorki *	mg Cl/l	26	29	8
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	0,6	n.w.
Fosfor ogólny	mg P/l	0,13	0,23	0,13
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	1,0	3,7	0,15
Potas *	mg K/l	1,6	2,2	1,8
Sód *	mg Na/l	15,5	18,2	2,7
Wapń *	mg Ca/l	40,0	46,9	5,7
Magnez *	mg Mg/l	8,7	47,7	7,8
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	135	312	46,3
Twardość węglanowa	mval/l	=	=	=

Oznaczenia jw.

Tabela 9.12. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni II przeprowadzonego latem 2007 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		II 1	II 2	II 3	II 6	II 7	II 8
Przewodnictwo *	μS/cm	1147	1119	574	965	503	1187
Odczyn pH *	po 2h	6,03	6,12	5,73	6,17	5,42	6,38
	po 24h	6,01	6,10	5,72	6,15	5,42	6,37
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	37,93	123,0	98,78	24,94	80,50	25,89
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	1,441	1,927	3,081	1,124	3,569	1,047
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	1,1	0,3	1,3	0,2	0,2	0,1
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Chlorki *	mg Cl/l	-	-	-	-	-	-
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	8,87	n.w.	n.w.	2,39	n.w.
Fosfor ogólny	mg P/l	3,352	1,340	n.w.	n.w.	1,171	1,573
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Potas *	mg K/l	6,8872	5,6999	4,5582	5,8092	3,9478	4,5415
Sód *	mg Na/l	-	-	-	-	-	-
Wapń *	mg Ca/l	-	-	-	-	-	-
Magnez *	mg Mg/l	18,7175	28,4092	23,2866	48,0938	32,9455	19,4728
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Twardość węglanowa	mval/l	-	-	-	-	-	-

Oznaczenia jw.

Tabela 9.13. Wyniki monitoringu wód podziemnych z obszaru zlewni III przeprowadzonego latem 2007 roku.

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		III 10	III 12	III 13	III 16	III 17	III 18
Przewodnictwo *	μS/cm	730	179	641	1197	1994	407
Odczyn pH *	po 2h	5,89	5,43	5,71	5,68	6,14	4,42
	po 24h	5,89	5,41	5,71	5,68	6,12	4,41
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	8,67	20,77	24,81	21,76	56,87	87,65
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	3,009	5,089	72,658	2,848	3,563	1,886
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	n.w.	0,03	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	0,3	1,1	0,2	0,2	1,3	0,3
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Chlorki *	mg Cl/l	-	-	-	-	-	-
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
Fosfor ogólny	mg P/l	6,058	1,173	8,540	0,623	10,632	2,317
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Potas *	mg K/l	7,5933	6,0715	4,2397	6,8725	21,0253	7,6155
Sód *	mg Na/l	-	-	-	-	-	-
Wapń *	mg Ca/l	-	-	-	-	-	-
Magnez *	mg Mg/l	20,4008	42,8429	31,9320	19,2377	89,0382	30,0042
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-
Twardość węglanowa	mval/l	-	-	-	-	-	-

Oznaczenia jw.

Do analizy jakości wód gruntowych jesienią 2005 roku pobrano wody gruntowe z sześciu wytypowanych studzienek na terenie każdej ze zlewni. Natomiast do kolejnego przebadania, wiosną 2006 roku z trzech tych, które jesienią posiadały wody o najgorszej jakości. Latem 2007 r. powtórnie zanalizowano wody w sześciu odwiertach (pierwotnie wyznaczonych do analiz) w zlewniach C II i C III.

Wody gruntowe cechowały bardzo podobne ilościowe rozkłady wskaźników jakości.

Jesienią w całości w I kl. jakości mieściły się na terenie zlewni I wskaźniki takie jak: azotany, potas, sód i magnez, w zlewni II: azotany, magnez a w zlewni III azotany, sód i magnez. Najgorsze wyniki, bo sięgające nawet V kl. jakości, dotyczyły we wszystkich zlewniach amoniaku, w zlewni II i III azotynów, fosforanów rozpuszczonych i potasu.

Porównując wyniki jesienne z wiosennymi, można stwierdzić, że w zlewni II i III jakość wody uległa poprawie a w zlewni I pogorszeniu. Najgorszą jakością odznaczała się zlewnia II z bardzo złym stanem wód pod względem ilości amoniaku, azotynów i fosforanów rozpuszczonych. W zlewni I sytuacja ta dotyczy tych samych wskaźników, lecz ich klasy były nieco lepsze aniżeli w zlewni III, tylko w niektórych studzienkach również w zakresie tych samych wskaźników.

Latem 2007 najgorsza jakość wody, bo IV i V dotyczyła amoniaku i efemerycznie fosforanów rozpuszczonych (zlewnia C II) oraz potasu (zlewnia C III).

Większe ilości amoniaku w wodach jesienią, były spowodowane wyższymi stanami wód, przez co większą możliwością wymywania tego jonu, który powstaje między innymi w wyniku procesu rozkładu szczątków roślinnych nasilonego w okresie jesiennym.

Tak znaczne stężenia potasu jesienią 2005 roku można tłumaczyć dużą zdolnością penetracji wody (jej wysokim poziomem), przez co wymywaniem tego kationu powstałego z ługowania soli potasowych oraz rozkładu substancji organicznych. Jony potasu są bardzo skutecznie sorbowane przez minerały ilaste oraz pobierane przez rośliny i mikroorganizmy (*Kowal i in. 1998*). Jednakże w rozpatrywanym czasie procesy te ulegają w naturalny sposób zmniejszeniu poprzez zakończenie sezonu wegetacji.

Bliskie sąsiedztwo gruntów ornych i przeprowadzane na nich zabiegi mogą wpływać na zawartość takich składników jak N, P, i K, używanych powszechnie w nawozach. Obszary leśnictwa Marianka znajdują się w niższych partiach terenu, na które związki te mogą przedostawać się ze spływami z pól położonych na wyższych obszarach

Porównując jakość wód w obu zlewniach, lepszą jakością charakteryzowała się zlewnia III zwłaszcza w sezonie wiosennym. Stężenia większości substancji w trakcie okresu wegetacyjnego uległy zmniejszeniu. Sytuacja ta również dotyczyła pH wody. Wyraźnemu zwiększeniu uległo natomiast stężenie azotynów.

W literaturze przyjmuje się, że najbardziej niekorzystny okres w roku przypada na późną jesień i wczesną wiosnę. Ma wtedy miejsce najintensywniejsze przemieszczanie się zanieczyszczeń z gleby do wód gruntowych. Dzieje się tak dlatego, iż w tym okresie ruch wody w glebie odbywa się wyłącznie ku dołowi, ponieważ zanika transpiracja (*Richter 1987*). Na ogół przemieszczanie się zanieczyszczeń w glebie przebiega w okresie zimowym w ciągu kilku miesięcy, gdy gleba jest najbardziej uwilgotniona (*Kowalik 2001*).

Tabela 9.14. Średnie wartości poszczególnych wskaźników jakości wód gruntowych i odchylenia standardowe z terenów leśnych zlewni mokradłowych w okresie jesieni 2005, wiosny 2006 oraz lata 2007 roku

Zakres oznaczeń		Wyniki oznaczeń					
		jesień 2005r.		wiosna 2006r.		lato 2007r.	
		średnia	odchylenie standardowe	średnia	odchylenie standardowe	średnia	odchylenie standardowe
Przewodnictwo *	μS/cm	656	370	429	255	887	486
Odczyn pH *	-	6,77		5,96		5,75	
ChZT z K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Mg O <sub>2</sub> /l	62,5	58,1	54,0	35,8	50,96	37,47
Amoniak *	mg NH <sub>4</sub> /l	11,27	35,31	2,57	5,09	8,437	20,259
Azotyny *	mg NO <sub>2</sub> /l	0,04	0,07	0,42	0,66	0,003	0,009
Azotany *	mg NO <sub>3</sub> /l	1,01	2,19	4,9	10,0	0,6	0,5
Siarczany *	mg SO <sub>4</sub> /l	96	69	68	53	-	-
Chlorki *	Mg Cl/l	27	28	25	23	-	-
Fosforany rozpuszczone*	mg PO <sub>4</sub> /l	1,84	6,29	1,23	1,77	0,94	2,59
Fosfor ogólny	mg P/l	0,81	2,25	0,49	0,57	3,065	3,490
Zasadowość ogólna	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	2,07	1,53	-	-
Potas *	Mg K/l	8,0	12,4	2,79	3,35	7,0718	4,5758
Sód *	Mg Na/l	26,6	17,2	11,9	9,5	-	-
Wapń *	Mg Ca/l	82,2	35,9	46,3	32,2	-	-
Magnez *	mg Mg/l	13,5	6,5	14,9	13,4	33,6984	19,8169
Twardość ogólna ***	mg CaCO <sub>3</sub> /l	259	92	165,2	105,0	-	-
Twardość węglanowa	mval/l	4,13	1,68	-	-	-	-
	mg CaCO <sub>3</sub> /l	206,5	84				

Oznaczenia jw.



### Cytowana literatura:

- *Allan J. D. (1998): Ekologia wód płynących. Wydawnictwo Naukowe PWN; Warszawa.*
- *Chelmiński W. (2001): Woda. Zasoby, degradacja, ochrona. Wydawnictwo Naukowe PWN; Warszawa.*
- *Dojlido J. R. (1995): Chemia wód powierzchniowych. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko; Białystok.*
- *[http://www.kampinoskipn.gov.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=39&Itemid=94&PHPSESSID=633f28a0991c7f93af8732a366182606](http://www.kampinoskipn.gov.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=94&PHPSESSID=633f28a0991c7f93af8732a366182606)*
- *Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu. PIOŚ 1995.*
- *Kowal A. L. Świderka-Bróż M. (1998): Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN; Warszawa-Wrocław.*
- *Kowalik P. (2001): Ochrona środowiska glebowego. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.*
- *PN-76/C-04620/03 Woda i ścieki. Pobieranie próbek. Pobieranie próbek wód podziemnych do analizy fizycznej i chemicznej oraz bakteriologicznej.*
- *PN-87/C-04632/01 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych.*
- *PN-87/C-04632/02 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych. Planowanie i programowanie pobierania próbek.*
- *PN-88/C-04632/03 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych. Utrwalanie i przechowywanie próbek.*
- *PN-88/C-04632/04 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych. Utrwalanie i przechowywanie próbek,*
- *PN-EN ISO 5667/3 Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 3: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami.*
- *Richter J. (1987): The soil as a reactor, modelling processes in the soil. Catena, Cremlingen.*
- *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakimi powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (załącznik nr 1 poz. 503; Wartości wskaźników zanieczyszczeń śródlądowych wód powierzchniowych).*

- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.*
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanów wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. Nr 32, poz.284).*

## 10. POZIOM METALI CIĘŻKICH W WODACH GRUNTOWYCH ORAZ W GRUNTACH W BEZPOŚREDNIM SĄSIĘDZTWIE SZLAKÓW KOMUNIKACYJNYCH

Celem oznaczeń było określenie stężenia wybranych pierwiastków (kadm, chrom, miedź, żelazo, nikiel, ołów, cynk) w wodach gruntowych i w gruntach oraz ocena stopnia migracji tych makroskładników w układzie poziomym w stosunku do osi drogi.

Do badań wybrano cztery odcinki doświadczalne dróg o różnych rodzajach nawierzchni i różnym natężeniu ruchu, przebiegające przez obszary podmokłe Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie:

- ✓ drogę gruntową wzmocnianą powierzchniowo żużlem na terenie Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin),
- ✓ drogę z nawierzchnią tłuczniową z melafiru na terenie Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin),
- ✓ drogę gruntową wzmocnianą powierzchniowo gruzem na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice),
- ✓ główną drogę wywozową o nawierzchni tłuczniowo-gruzowej na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice).

Zawartość pierwiastków w próbkach wody i próbkach gruntów zbadano metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej AAS, przy użyciu spektrofotometru Varian.

Próbki wody do badań laboratoryjnych pobrano ze studzienek położonych w przekrojach poprzecznych do osi drogi. Punkty badawcze wyznaczono na skraju pobocza oraz w odległości 10m, 20m i 70m (tło) od krawędzi korony drogi (*Siepak i in. 1996*).

Wyniki analiz porównano z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód, które obecnie formalnie nie obowiązują.

Próbki gruntów do badań chemicznych pobrano ze skraju pobocza oraz miejsc oddalonych 70m od krawędzi korony drogi.

Rezultaty analiz porównano z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi (poz. 1359). Badane grunty zakwalifikowano do grupy B, w której skład wchodzi grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty

zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych.

Poniższe wykresy i tabele prezentują szczegółowe wyniki analiz chemicznych wód i gruntów oraz dopuszczalne stężenia badanych pierwiastków w wodach gruntowych i gruntach.

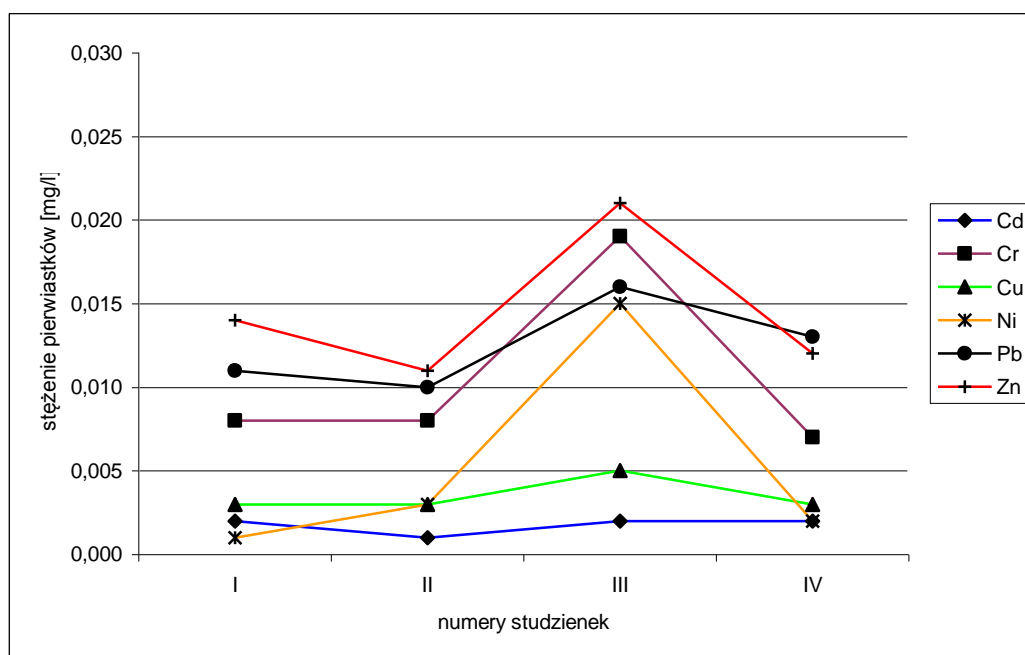
Numery studzienek na rys. 10.1, 10.2, 10.3 i 10.4 oznaczają odpowiednio:

I – punkt badawczy na skraju pobocza

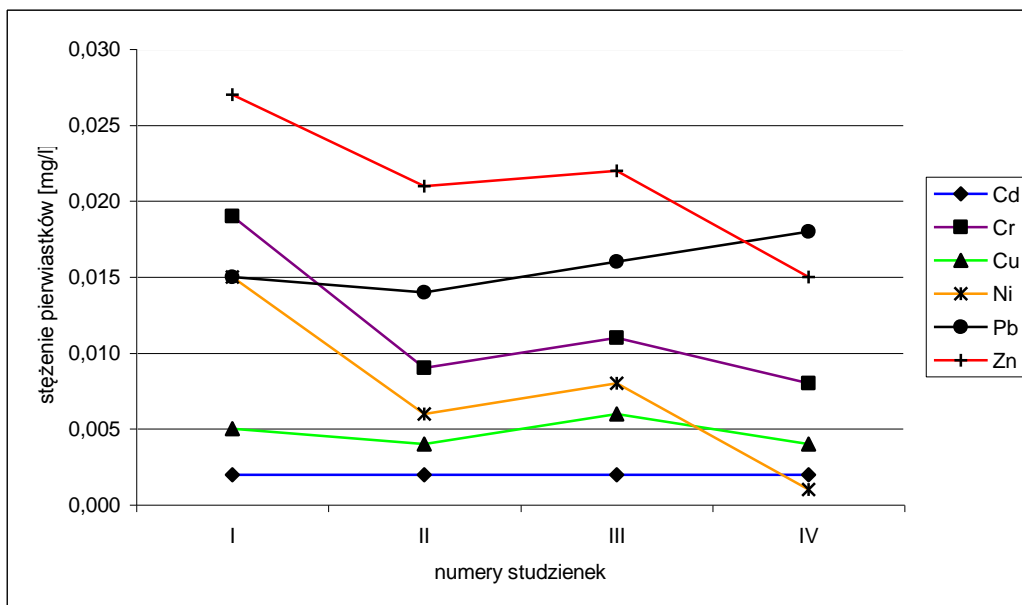
II – punkt badawczy w odległości 10m od krawędzi korony drogi

III - punkt badawczy w odległości 20m od krawędzi korony drogi

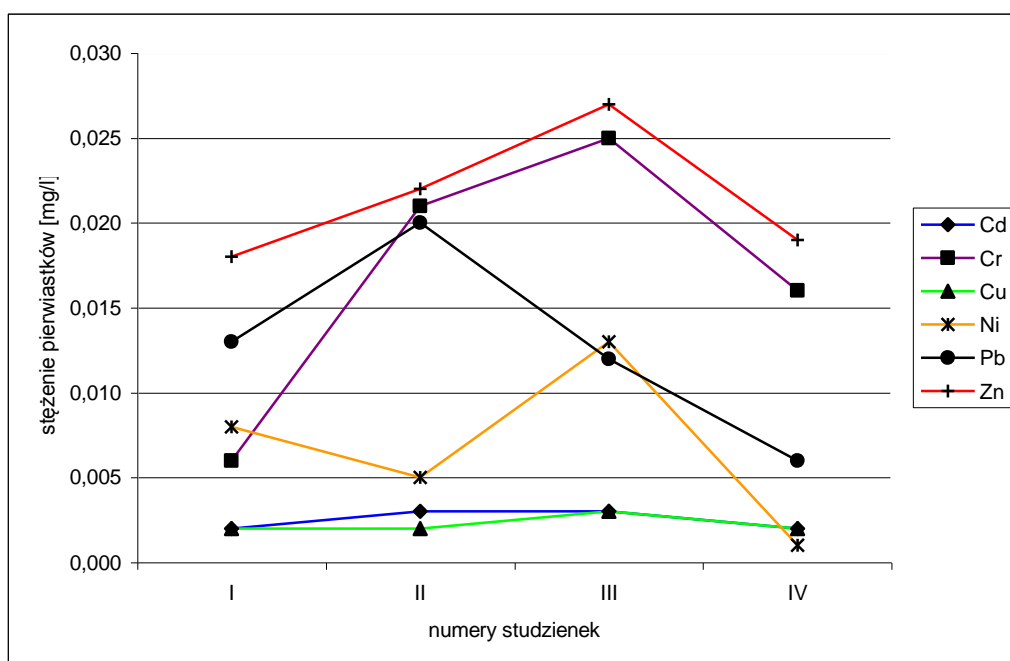
IV - punkt badawczy w odległości 70m od krawędzi korony drogi (tło)



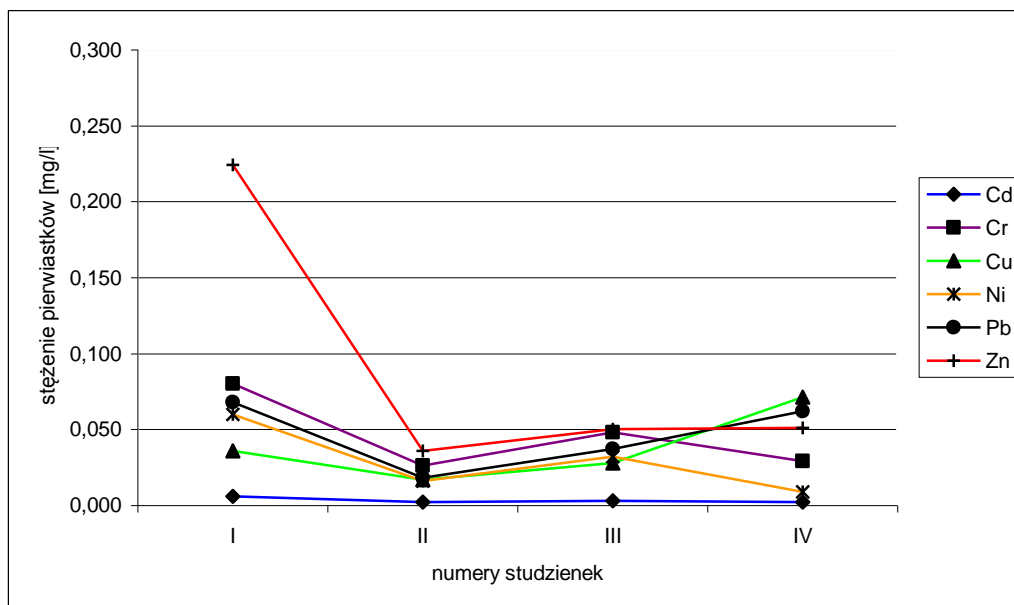
Rys. 10.1. Stężenie metali ciężkich w wodzie gruntowej w profilu poprzecznym do osi drogi gruntowej wzmocnionej powierzchniowo żuzłem na terenie Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin)



Rys. 10.2. Stężenie metali ciężkich w wodzie gruntowej w profilu poprzecznym do osi drogi z nawierzchnią tłuczniovą z melafiru na terenie Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin)



Rys. 10.3. Stężenie metali ciężkich w wodzie gruntowej w profilu poprzecznym do osi drogi gruntowej wzmacnianej powierzchniowo gruzem na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice)



Rys. 10.4. Stężenie metali ciężkich w wodzie gruntowej w profilu poprzecznym do osi głównej drogi wywozowej tłuczniowo-gruzowej na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice)

Tabela 10.1. Dopuszczalne stężenia metali ciężkich w poszczególnych klasach jakości wód gruntowych zgodnie z Rozporządzeniem... (2004r.)

Pierwiastek [mg/l]	Wartości graniczne w klasach I-V				
	I	II	III	IV	V
Cd	0,001	0,003	0,005	0,01	>0,01
Cr	0,01	0,05	0,05	0,1	>0,1
Cu	0,01	0,03	0,05	0,1	>0,1
Fe	0,1	0,3	0,5	5	>5
Ni	0,01	0,02	0,05	0,1	>0,1
Pb	0,01	0,05	0,05	>0,05	>0,05
Zn	0,5	3	5	10	>10

Tabela 10.2. Stężenie metali ciężkich w pobranych próbkach gruntu oraz dopuszczalne stężenia tych pierwiastków zgodne z Rozporządzeniem... (2002r.)

Stężenie pierwiastka [mg/kg]	Odcinek A		Odcinek B		Odcinek C		Odcinek D		Norm
	a	b	a	b	a	b	a	b	
Cd	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	4,0
Co	1,7	2,2	1,3	1,4	3,2	1,3	2,9	0,7	20,0
Cr	1,7	2,6	6,3	2,0	11,3	2,0	10,2	8,4	150,0
Cu	2,0	3,4	3,4	2,2	4,4	3,8	10,9	1,5	150,0
Ni	0,5	1,0	9,8	5,8	8,2	0,5	8,4	2,7	100,0
Pb	13,7	17,4	17,1	12,9	15,5	18,4	22,0	4,3	100,0
Zn	13,3	21,0	11,7	9,2	31,9	17,5	34,6	3,4	300,0

Odcinek A - droga gruntowa wzmocniana powierzchniowo żużlem na terenie Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin)

Odcinek B - droga utwardzona melafirem na terenie Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin)

Odcinek C - droga gruntowa wzmocniana powierzchniowo gruzem na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice)

Odcinek D - główna droga wywozowa tłuczniowo-gruzowa na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice)

a – próba pobrana na skraju pobocza

b – próba kontrolna, pobrana w odległości 70 m od krawędzi korony drogi

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że stężenie metali ciężkich w wodzie gruntowej pobranej ze studzienek zlokalizowanych w sąsiedztwie dróg leśnych oraz stężenie metali w gruntach pobranych z sąsiedztwa tych dróg jest niewielkie i nie przekracza norm, które nie obowiązują (*Kamiński, Korżak 2007*).

W pobranych próbkach wód i gruntów stwierdzono wysoką zawartość żelaza. Wyniki analiz nie zostały zaprezentowane, ponieważ jest to pierwiastek, którego podwyższona zawartość nie wpływa negatywnie na organizmy żywe, a jego stężenie może wynikać z naturalnego składu chemicznego gleby (*Siepak i in. 1996*).

Mimo, że przedstawione wyniki badań wód gruntowych nie wskazują na przekroczenie obowiązujących norm, można zauważyć pewną prawidłowość: w każdym z przekrojów zaobserwowano, że najwyższe stężenie wykazał cynk. Jednak jego zawartość nie

odbiega od średniej naturalnej zawartości w wodach. Jednocześnie najniższe stężenie w badanych przekrojach wykazały kadm i miedź.

Zaobserwowano, że najwyższe stężenia wszystkich badanych pierwiastków występują w profilu głównej drogi wywozowej Leśnictwa Marianka o nawierzchni tłuczniowo-gruzowej. W tym wypadku prawdopodobnym źródłem zanieczyszczeń może być ruch pojazdów, a nie rodzaj materiałów, z których wykonana była nawierzchnia drogi.

Podobnie w przypadku gruntów poddanych analizom chemicznym stwierdzono, że żaden z pierwiastków nie przekracza normy, a najwyższe stężenia występują przy drodze o największym natężeniu ruchu (*Siepak i in. 1996*).

#### Cytowana literatura:

- *Kamiński B., Korzak M. (2007): Poziom metali ciężkich oraz nośność podłoża gruntowego dróg leśnych na terenach zabagnionych". Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 23, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej.*
- *Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu. PIOŚ 1995.*
- *PN-76/C-04620/03 Woda i ścieki. Pobieranie próbek. Pobieranie próbek wód podziemnych do analizy fizycznej i chemicznej oraz bakteriologicznej.*
- *PN-87/C-04632/01 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych.*
- *PN-87/C-04632/02 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych. Planowanie i programowanie pobierania próbek.*
- *PN-88/C-04632/03 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych. Utrwalanie i przechowywanie próbek.*
- *PN-88/C-04632/04 Woda i ścieki. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych. Utrwalanie i przechowywanie próbek.*
- *PN-EN ISO 5667/3 Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 3: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami.*
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.*
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanów wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia*



*monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. Nr 32, poz.284).*

- *Siepak J. i in. (1996): Arrangement Contamination of Soil by Heavy Metals Near Public Main Road nirthe City of Poznań. Polish Journal of Environmental Studies 2.*

## 11. SYTUACJA DROGOWA NA TERENIE LKP LASY RYCHTALSKIE

Sieć dróg leśnych jest podstawą udostępniania obszarów leśnych. Odpowiednio zaprojektowane, wykonane i utrzymane szlaki komunikacyjne są niezbędnym elementem trwałego i zrównoważonego rozwoju wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. Na terenach podmokłych, których dostępność jest okresowo ograniczona, drogi leśne umożliwiające realizowanie wszystkich funkcji lasu mają znaczenie szczególne. Dlatego w 2004 roku podjęto badania dotyczące stanu jakościowego i ilościowego dróg leśnych na obszarach podmokłych Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtalskie.

Celem tych badań było określenie wskaźnika gęstości dróg oraz określenie nośności różnych rodzajów nawierzchni na wybranych odcinkach doświadczalnych dróg leśnych.

Gęstość dróg na powierzchni leśnej jest miernikiem udostępnienia drzewostanów. Wskaźniki powinny obejmować zarówno drogi publiczne, jak i drogi leśne przebiegające przez powierzchnię nadleśnictw, czyli wszystkie drogi związane z technologią transportu leśnego. Wyniki inwentaryzacji porównano z wytycznymi dotyczącymi optymalnego zagęszczenia dróg na powierzchni leśnej opracowanymi przez Antończyka i Dzikowskiego (*Dzikowski i in. 2006*).

Tabela 11.1 prezentuje wyniki inwentaryzacji sieci komunikacyjnej w zakresie długości i gęstości dróg leśnych i publicznych, na terenie LKP Lasy Rychtalskie.

Tabela 11.1. Wskaźniki zagęszczenia dróg na terenie LKP Lasy Rychtalskie

Jednostka	Powierzchnia [ha]	Długość dróg [km]			Wskaźnik zagęszczenia dróg [km/100ha]		
		leśnych	publicznych	razem	leśnych	publicznych	razem
N-ctwo Antonin	19 847,38	150,6	158,7	309,3	0,759	0,799	1,558
N-ctwo Syców	22 139,61	934,3	168,9	1103,2	4,220	0,763	4,983
LZD Siemianice	5 917,09	166,3	45,3	211,6	2,810	0,766	3,576
<b>Razem</b>	<b>47 904,08</b>	<b>1 251,2</b>	<b>372,9</b>	<b>1624,1</b>	<b>2,612</b>	<b>0,778</b>	<b>3,390</b>

Zgodnie z wyżej wymienionymi wytycznymi na obszarze całego LKP Lasy Rychtalskie optymalna gęstość dróg powinna wynosić 1,46-1,84 [km/100ha]. Rezultaty inwentaryzacji wskazują na to, że tereny leśne na obszarze LKP Lasy Rychtalskie są dobrze udostępnione. Wskaźniki zagęszczenia dróg Nadleśnictwie Syców i w LZD Siemianice są ponad dwukrotnie wyższe od optymalnych. Jedynie w Nadleśnictwie Antonin mają wartość

optymalną. Jednak jakość tych dróg pozostawia wiele do życzenia. Ponad 95% stanowią drogi o nawierzchni gruntowej.

Nośność nawierzchni zbadano na wybranych odcinkach doświadczalnych o różnych rodzajach nawierzchni oraz różnym natężeniu ruchu. Do badań wytypowano trzy drogi leśne:

- główną drogę wywozową Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice) o nawierzchni tłuczniowo-gruzowej (Odcinek A)
- boczną drogę wywozową Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice) o nawierzchni gruntowej, miejscowo wzmocnionej gruzem (Odcinek B)
- drogę wywozową Leśnictwa Mariak (Nadleśnictwo Antonin) o nawierzchni tłuczniowej, z melafiru (Odcinek C).

Ponadto badanie nośności przeprowadzono na siedmiu dwudziestopięciometrowych odcinkach doświadczalnych, które wybudowano jesienią 2006 roku na terenie Leśnictwa Marianka (LZD Siemianice). Do budowy użyto geosyntetyków oraz różnych materiałów zasypowych. Nawierzchnie odcinków doświadczalnych z wykorzystaniem geowłókniny i geokraty wykonano na istniejącej drodze gruntowej, w podłożu której występują grunty bagienne (mursz o miąższości 0,40-0,45 m zalegający na podmokłych gruntach mało i średnio spoistych). Jako materiałów zasypowych użyto tłucznia, żużla wielkopieczowego, niesortu tłuczniowego, żwiru i piasku drobnego.

Na 15 cm warstwie odsączającej wykonano następujące warianty nawierzchni:

- Odcinek D – geowłóknina + geokrata + tłuczeń
- Odcinek E – geowłóknina + geokrata + żużel
- Odcinek F – geowłóknina + geokrata + żwir
- Odcinek G – geowłóknina + geokrata + piasek drobny
- Odcinek H – geowłóknina + tłuczeń
- Odcinek I – geowłóknina + żużel
- Odcinek J – Geowłóknina + niesort tłuczniowy.

Odcinki doświadczalne przebiegają przez obszary, na których występują siedliska: Bb, BMb, LMb, Ol, OIJ, Lł. Są to tereny, na których poziom swobodnego zwierciadła wód gruntowych jest stosunkowo wysoki i waha się w granicach od 136 cm pod poziomem terenu w okresie najmniejszego uwilgotnienia, do kilku cm powyżej powierzchni ziemi w okresie wiosennym. W związku z tym warunki gruntowo-wodne podłoża drogowych były niekorzystne (złe), o cechach wysadzinowych.

Wybór właściwej technologii budowy drogi leśnej na terenach mokradłowych zależy od rodzaju gruntu stanowiącego naturalne podłoże drogowe, jak również od wcześniejszych sposobów jego wzmocnienia oraz użytych do tego celu materiałów.

Podłoże gruntowe dróg wiodących przez tereny zabagnione najczęściej należy do „słabonośnych”. Najniższą nośnością cechują się grunty organiczne. Im słabszy rozkład warstwy organicznej oraz grubsze złoże i płytsze jego zaleganie, tym gorsze warunki nośności. W przypadku mineralnych gruntów zabagnienie powstaje, gdy w profilu podłoża występują utwory o niskiej przepuszczalności (piaski gliniaste, pyły, gliny, gliny zwięzłe, ily). W warunkach płytko zalegającego zwierciadła wód gruntowych podłoże takie odznacza się wysoką wysadzinowością oraz niską nośnością.

W takich warunkach celowe jest stosowanie geosyntetyków, takich jak geowłóknina i geokrata (Maślanka, Pielichowski 2006). Geowłóknina należąca do grupy geosyntetyków płaskich pełni w budownictwie drogowym dwie główne funkcje – separacyjną i wzmocniającą. Funkcja separacyjna zapobiega mieszanemu się materiałów użytych do budowy i gruntów podłoża, ponieważ stanowi specyficzną barierę pomiędzy podłożem, a warstwą podbudowy. Korzyści wynikające z zastosowania tego geosyntetyku są następujące: oszczędność kruszywa, lepsze zagęszczenie (co powoduje z kolei wyższą nośność i ograniczenie koleinowania) oraz poprawę mrozoodporności podłoża.

Stosowanie geokratty jest szczególnie zalecane w przypadku występowania wody, gruntów o niskiej nośności lub w przypadku ograniczenia miąższości gruntu do wymiany. Geokrata to przestrzenny geosyntetyk komórkowy, służący do stabilizacji gruntów słabonośnych. Zbudowana jest z taśm połączonych ultradźwiękami w taki sposób, że po rozłożeniu przypomina plaster miodu. Zasypanie komórek geokratty materiałem budulcowym sprawia, że zwiększa się nośność uzyskanej konstrukcji oraz wzrasta odporność na jej deformację. Z zastosowania geokratty na geowłókninie wynikają następujące efekty:

- redukcja grubości konstrukcji w porównaniu z rozwiązaniami konwencjonalnymi, dzięki wyeliminowaniu głębokiej wymiany gruntu,
- znaczne zwiększenie odporności materiałów wypełniających geokratę na ścinanie, w wyniku ich zamknięcia, ograniczenia i znacznego zagęszczenia wewnątrz komórek,
- zmniejszenie osiadania spowodowanego naturalnym zagęszczeniem oraz ograniczenie bocznych przesunięć materiału wypełniającego komórki geokratty,
- zmniejszenie naprężeń przekazywanych na podłoże gruntowe od obciążenia użytkowego oddziałującego na nawierzchnię,
- zdecydowana poprawa wytrzymałości drogi, w przypadku gruntów o niskiej nośności.

Badania nośności przeprowadzono aparatem VSS zgodnie z normą (PN-S-02205:1998). Metoda badania za pomocą płyty naciskowej VSS polega na oznaczaniu w terenie, modułów odkształceń  $E$  [MPa], które stanowią miarę nośności nawierzchni i podłoża drogowego (Rolla 1985). Moduł odkształcenia  $E$  jest to iloczyn stosunku przyrostu obciążenia jednostkowego do przyrostu odkształcenia badanej warstwy nawierzchni lub podłoża, w ustalonym zakresie obciążeń jednostkowych, pomnożony przez 0,75 średnicy płyty obciążającej. Moduł odkształcenia oblicza się za pomocą wzoru:

$$E = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot 0,75 \cdot D \quad (11.1)$$

w którym:

$E$  - moduł odkształcenia w Mpa,

$\Delta p$  - przyrost obciążenia jednostkowego w Mpa,

$\Delta s$  - przyrost osiadania odpowiadający przeciętnemu zakresowi obciążeń jednostkowych w cm,

$D$  - średnica płyty w cm.

Pomiarów nośności dokonano dwukrotnie - w ekstremalnych warunkach wodnych, tj., kiedy poziom wód gruntowych był najniższy oraz gdy był najwyższy. Określono pierwotny moduł odkształcenia  $E_I$  przy pierwszym obciążeniu i wtórny moduł odkształcenia  $E_{II}$  przy powtórnym obciążeniu badanej nawierzchni. Moduły  $E_I$  i  $E_{II}$  obliczono odpowiednio dla warstwy podłoża gruntowego w zakresie obciążeń 0,05-0,15 MPa, dla warstwy podbudowy w zakresie 0,15-0,25 MPa oraz dla warstwy nawierzchni w zakresie 0,25-0,35 MPa. Obliczono również wskaźnik odkształcenia  $I_0$ , wyrażony stosunkiem  $E_{II}/E_I$ , który stanowi zastępcze kryterium oceny zagęszczenia badanej warstwy konstrukcji drogowej.

Wartości modułów pierwotnych i wtórnych odkształceń oraz wskaźniki odkształcenia wybranych nawierzchni przedstawiono w tabeli 11.2.

Analizując wyniki badań nośności wykonanych na odcinku doświadczalnym A należy zauważyć, że moduł pierwotny obniżył się o około 60%, gdy poziom wód gruntowych podniósł się również o 60%. Porównując wartości modułów pierwotnych z kryteriami

dostatecznej nośności podbudowy i nawierzchni stwierdzono, że droga ta spełnia kryterium samodzielnej nawierzchni jedynie w okresie, gdy poziom wód gruntowych był niski. W najniekorzystniejszych warunkach wodnych odcinek ten spełnił kryterium dla dolnej warstwy podbudowy, (Rolla 1985). Zarówno w okresie jesiennym, jak i wiosennym wskaźnik odkształcenia  $I_0 \leq 2,2$ , co oznacza, że materiał użyty do budowy nawierzchni był dobrze zagęszczony.

Tabela 11.2. Moduły odkształceń nawierzchni badanych odcinków doświadczalnych dróg

Odcinek	Zakres obciążeń [MPa]	$E_I$ [MPa]		$E_{II}$ [Mpa]		$I_0$	
		Jesień 2005 r.	Wiosna 2006 r.	Jesień 2005 r.	Wiosna 2006 r.	Jesień 2005 r.	Wiosna 2006 r.
<b>A</b>	0,15-0,25	78,95	34,88	107,14	62,50	1,36	1,79
	0,25-0,35	104,65	40,91	125,00	72,58	1,19	1,77
<b>B</b>	0,05-0,15	12,30	5,94	17,18	6,66	1,40	0,71
	0,15-0,25	8,86	4,24	18,00	-	2,03	-
<b>C</b>	0,15-0,25	43,69	30,61	70,31	69,23	1,61	2,26
	0,25-0,35	31,47	36,00	80,36	73,77	2,55	2,05

Odcinek badawczy B o nawierzchni gruntowej charakteryzowały najniższe wartości modułów odkształcenia nawierzchni. Droga ta nie spełnia żadnych warunków dostatecznej nośności, nawet dla warstwy podłoża drogowego, dla którego moduł odkształcenia podłoża w najniekorzystniejszych warunkach wodnych powinien wynosić  $E_I \geq 15$  MPa.

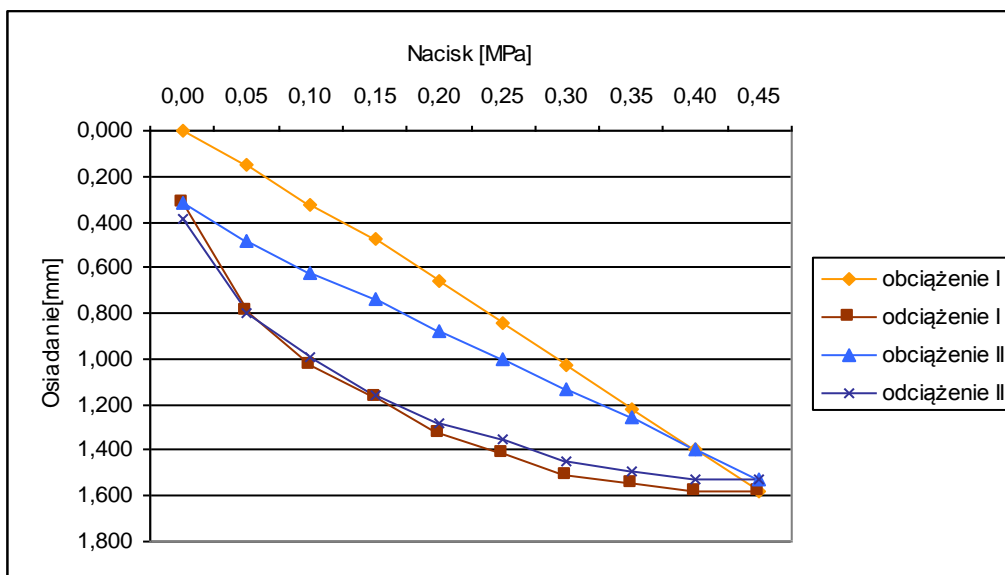
Odcinek C stanowiła droga o nowo wybudowanej nawierzchni. Przed wykonaniem badań nośności szlak ten nie był eksploatowany. Wartości modułów w okresie obniżonego poziomu lustra wód gruntowych wskazują na to, że można ją zakwalifikować jako dolną warstwę podbudowy. W obu badanych okresach wskaźnik odkształcenia był stosunkowo wysoki, co oznacza, że materiał, którego użyto do budowy nie został dostatecznie zagęszczony.

Na odcinkach D, E, F, G, H, I, J badania nośności przeprowadzono jesienią 2006 r., tuż po ich wybudowaniu oraz wiosną 2007 r., po półrocznej eksploatacji drogi. Wyniki prac terenowych – moduły odkształcenia nawierzchni prezentuje tabela 11.3.

Tabela 11.3. Moduły odkształceń nawierzchni badanych odcinków doświadczalnych wybudowanych z wykorzystaniem geowłókniny i geokraty

Odcinek	Zakres obciążeń [MPa]	E <sub>I</sub> [MPa]		E <sub>II</sub> [Mpa]		I <sub>O</sub>	
		Jesień 2006 r.	Wiosna 2007 r.	Jesień 2006 r.	Wiosna 2007 r.	Jesień 2006 r.	Wiosna 2007 r.
D	0,15-0,25	10,8	7,5	11,0	11,7	1,02	1,56
	0,25-0,35	8,5	5,9	15,7	10,4	1,85	1,77
E	0,15-0,25	7,4	7,2	13,0	12,4	1,76	1,73
	0,25-0,35	6,8	5,9	16,4	11,6	2,41	1,97
F	0,15-0,25	8,0	6,2	8,6	10,9	1,08	1,77
	0,25-0,35	8,8	4,7	9,0	10,9	1,02	2,35
G	0,15-0,25	9,9	7,2	15,8	10,9	1,60	1,52
	0,25-0,35	10,7	5,3	15,5	10,4	1,45	1,95
H	0,15-0,25	8,1	9,9	14,3	20,9	1,76	2,11
	0,25-0,35	10,8	9,0	17,0	20,8	1,57	2,33
odkształceń	0,15-0,25	12,0	8,3	24,7	21,0	2,06	2,53
	0,25-0,35	9,4	9,9	21,0	24,6	2,23	2,49
J	0,15-0,25	11,3	14,0	23,4	28,0	2,07	1,99
	0,25-0,35	10,0	11,5	24,1	26,5	2,41	2,30

Analizując otrzymane wyniki badań należy zauważyć, że żaden odcinek nie spełnia kryteriów dla samodzielnej nawierzchni, ani podbudowy drogowej. W warunkach słabonośnego podłoża nawierzchnie wzmocnione geowłókniną oraz geokratą na geowłókninie wykazywały niezależnie od rodzaju materiału zasypowego niskie moduły odkształcenia. Pomimo tak niskiej nośności nawierzchnie pod wpływem ruchu pojazdów nie ulegały deformacji (*Kamiński 2007*). Zjawisko to tłumaczy się dużą sprężystością nawierzchni uzbrojonych geosyntetykami. Nawierzchnie te pod wpływem obciążeń ulegają głównie odkształceniom sprężystym, a tylko 20% przypada na odkształcenia plastyczne (trwałe) (rys. 11.1). Pomimo bardzo wysokiego poziomu wód gruntowych w okresie wiosennym droga była całkowicie przejezdna (fot. 11.1); natomiast przed wybudowaniem odcinków doświadczalnych ruch samochodowy na tym terenie był bardzo utrudniony, okresowo wręcz niemożliwy (fot. 11.2).



Rys. 11.1. Wykres odkształcenia nawierzchni (Odcinek J) podczas badań wiosennych.



Fot. 11.1. Całkowicie przejezdna droga leśna w okresie wiosennym – nawierzchnia z geosyntetyków. (fot. M. Korżak)





Fot. 11.2. Nieprzejezdny fragment drogi gruntowej w okresie wiosennym. (fot. M. Korzak)

Zauważalny jest spadek nośności w okresie wiosennym, w porównaniu z wynikami uzyskanymi po wybudowaniu drogi. Jednak różnice te nie są zbyt duże w porównaniu z pogorszeniem się warunków wodnych w tym okresie.

Porównując poszczególne rodzaje nawierzchni poddanych badaniom, trzeba stwierdzić, że najgorsze wyniki w okresie jesiennym otrzymano na odcinku E (geowłóknina + geokrata + żużel), a najlepsze na odcinku I (geowłóknina + żużel). Natomiast w okresie wiosennym odcinek F (geowłóknina + geokrata + żwir) charakteryzowały najniższe moduły nośności, najwyższe zaś otrzymano na odcinku J (Geowłóknina + niesort tłuczniowy).

Wskaźniki odkształcenia obliczone na podstawie pierwotnych i wtórnych modułów nośności pozwalają na stwierdzenie, że materiały użyte do budowy odcinków doświadczalnych były dobrze zagęszczone.

Poddając analizie rezultaty badań otrzymane na odcinkach, do budowy, których użyto geowłókniny i geokraty oraz samej tylko geowłókniny należy zauważyć, że są one porównywalne. Dlatego też stwierdza się, że użycie geokraty komórkowej do budowy dróg leśnych w warunkach dużego uwilgotnienia słabonośnego podłoża nie jest niezbędne. Podraża ono znacząco inwestycję, nie gwarantując zdecydowanego podniesienia wytrzymałości drogi.

Cytowana literatura:

- *Dzikowski J., Szarłowicz a., Burzyński S., Rajsman M., Satola J., Wiązowski Z. (2006): Drogi leśne poradnik techniczny. ORWLP w Bedoniu.*
- *Kamiński B. (2007): Ocena przydatności geosyntetyków stosowanych w budownictwie dróg leśnych. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania Środowiskiem w Tucholi.*
- *Maślanka K., Pielichowski J. (2006): Geosyntetyki w inżynierii i ochronie środowiska. Wydawnictwo Nauk.-Tech. TEZA w Krakowie.*
- *Rolla S. (1985): Badania materiałów i nawierzchni drogowych. WKŁ w Warszawie.*
- *Norma PN-S-02205 (1998): Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.*

## **12. ZMIANA ODPLYWU WEZBRANOWEGO W MAŁEJ ZLEWNI LEŚNEJ PO ZABUDOWIE CIEKU**

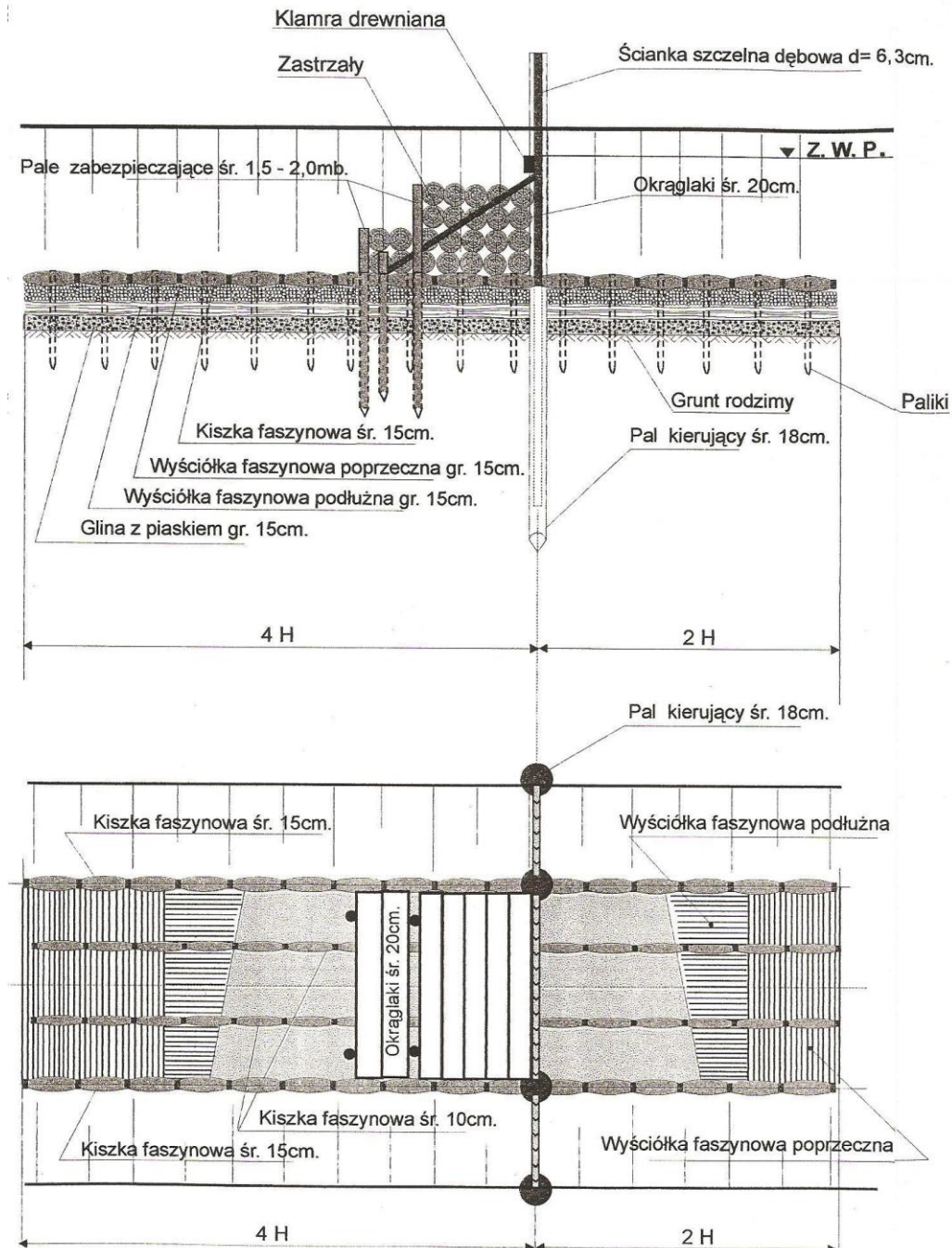
Na terenie prawie całej Polski, w tym także na terenach leśnych, występują niedobory wody wynikające z niekorzystnych bilansów wodnych. W konsekwencji może to doprowadzić do degradacji niektórych siedlisk leśnych, np. szczególnie cennych dla utrzymania bioróżnorodności leśnych siedlisk mokradłowych. Próbuje się temu niekorzystnemu zjawisku przeciwdziałać poprzez tzw. programy małej retencji. Syntetycznie ujmując, działania w ramach tych programów mają spowodować wydłużenie drogi i czasu obiegu wody w zlewniach z jednoczesnym zapewnieniem samooczyszczania się tychże wód. Jednym z efektywnych sposobów zwiększenia retencji w zlewniach jest zabudowa cieków. Jednak dla badanych w Leśnym Kompleksie Promocyjnym Lasy Rychtałskie trzech powierzchni doświadczalnych – mikro-zlewni nie jest taka zabudowa zasadna.

W związku z tym w niniejszym rozdziale przedstawiono jak zabudowa cieków kaskadą zastawek wpływa na zmianę odpływu w małej zlewni leśnej położonej na Pojezierzu Krajeńskim. Najwyraźniej można ocenić taką zmianę odpływu poprzez analizę obserwowanych wezbrań przed i po zabudowie cieków. W celu efektywnej analizy wezbrań zaproponowano do ich opisu model Nasha. Opady efektywne dla poszczególnych wezbrań obliczono na podstawie współczynników odpływów wezbraniowych, tzn. ilorazów wskaźników odpływu wezbraniowego i sum opadów powodujących wezbrania.

### **Charakterystyka zlewni**

W kwietniu 2004 roku rozpoczęto pomiary hydrologiczne w małej zlewni znajdującej się na Pojezierzu Krajeńskim, na terenie Nadleśnictwa Lipka w leśnictwie Biskupice. Pomiary te obejmują ciągłą rejestrację stanów wody w cieku na przelewie Thomsona i cotygodniowe pomiary stanów wody gruntowej w dziesięciu studzienkach. Powierzchnia zlewni wynosi 182,26 ha, z czego 174,02 ha (95%) to tereny leśne, pozostałe 5% stanowią grunty orne i łąki. Badaną zlewnię można uważać za reprezentatywną dla Nadleśnictwa Lipka, bowiem odpowiednio podobne są dominujące typy siedliskowe lasu (bory świeże - Bśw, bory mieszane świeże BMśw) oraz dominujące gleby (gleby rdzawe). Długość cieków odprowadzającego wodę ze zlewni wynosi 1540 m. Ciek ten nie posiada swej lokalnej nazwy, w ewidencji zapisany jest pod numerem 17-86-1. Bierze on swój początek na śródlęśnej łące i wpływa bezpośrednio do rzeki Gwdy. Rzędna terenu, gdzie znajduje się źródło cieków wynosi 110 m n.p.m., natomiast rzędna ujścia wynosi 97,5 m n.p.m. Spadek cieków na całej jego długości jest nierównomierny. W swym górnym biegu ciek charakteryzuje się niewielkimi

spadkami wynoszącym ok. 0,38%, zaś na odcinku 350 m, tuż przed ujściem, osiąga spadki w granicach 1,6-2,8%. W górnym biegu ciek doprowadzony jest do niego rów melioracyjny. Średni dobowy odpływ jednostkowy w badanej zlewni wynosił 6,4 [l/s/km<sup>2</sup>], a minimalny i maksymalny odpowiednio 2,5 i 25,5 [l/s/km<sup>2</sup>]. Stany wód gruntowych w zlewni rowu 17-86-1 wahały się w granicach 60-280 cm, przy średniej 166 cm p.p.t.



Rys. 12.1 Projekt zastawki piętrzącej stałej typu ZW autorstwa Klubu Przyrodników ze Świebodzina, wykorzystany przy budowie urządzeń piętrzących na cieku 17-86-1





W przypadku zastawki nr 2 cofka się aż do zastawki nr 3, podobnie jest w przypadku zastawki nr 4. Dodatkowo przy zastawce nr 3 poprzez wybranie gruntu utworzono niewielkie oczko wodne o powierzchni 2 arów i głębokości ok.1 m zasilane wodami omawianego cieku.

### Model Nasha

Często stosowanym w hydrologii inżynierskiej modelem konceptualnym zlewni jest kaskada  $N$  liniowych, jednakowych zbiorników o stałej czasowej (inercji)  $T$  (Nash 1958). Sygnałem wejściowym jest opad efektywny (opad powodujący falę wezbraniową), natomiast sygnałem wyjściowym odpływ wezbraniowy utożsamiany z objętością fali wezbraniowej. Hietogram opadu efektywnego  $Pe(t)$  można wyrazić zależnością:

$$Pe(t) = \sum_{i=1}^M x_i \cdot (\eta(t - (i-1)) - \eta(t - i)), \quad (\text{rys.12.3}) \quad (12.1)$$

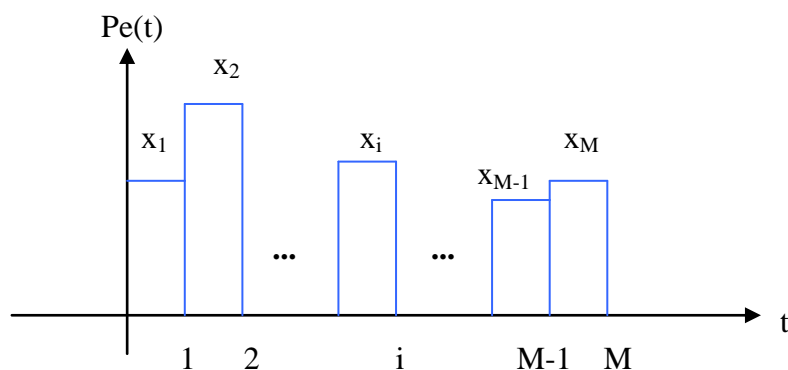
gdzie:  $M$  – liczba impulsów opadowych – sygnałów prostokątnych o jednostkowym czasie trwania (w niniejszej pracy jako jednostkę czasu przyjęto 1 godzinę),

$x_i$  – amplituda  $i$ -tego impulsu opadowego,

$\eta(t)$  – funkcja skoku jednostkowego Heaviside'a,

$t$  – czas,

$i$  – zmienna bieżąca,  $i = 1, 2, \dots, M$ .



Rys. 12.3 Hietogram opadu efektywnego

Dla analizowanej w pracy bardzo małej zlewni (o powierzchni około 2 km<sup>2</sup>) maksymalna ilość zbiorników w kaskadzie  $N$  może wynosić 3. Można ją oszacować z zależności:

$$N = 3,329 \cdot (R_B / R_A)^{0,744} \cdot R_L^{0,072}, \quad (12.2)$$

gdzie:  $R_B$  – wskaźnik bifurkacji,

$R_A$  – wskaźnik powierzchni zlewni,

$R_L$  – wskaźnik długości cieków (*Ostrowski 1987-88*).

Wartości średnie wskaźników geomorfologicznych  $\overline{R_B}$  i  $\overline{R_L}$  dla małych zlewni Wielkopolski (o powierzchniach  $< 350 \text{ km}^2$ ) wynoszą odpowiednio 3,68 i 2,28 (*Miler 1994a*).

Pomiędzy średnią długością cieku  $\overline{L}$  a średnią powierzchnią zlewni  $\overline{A}$  istnieje związek:

$$\overline{L} = 1,40 \cdot \overline{A}^{0,568} \quad (\text{Eagleson 1978}). \quad (12.3)$$

Można zatem średni wskaźnik powierzchni zlewni  $\overline{R_A}$  szacować z zależności:

$$\overline{R_A} = \frac{\overline{A_{i+1}}}{\overline{A_i}} = \left( \frac{\overline{L_{i+1}}}{\overline{L_i}} \right)^{\frac{1}{0,568}} = (\overline{R_L})^{1,761} = 4,27. \quad (12.4)$$

W konsekwencji z zależności (12.2) mamy  $N=3,16$  dla zlewni nawet ponad 100 razy większych niż analizowana w niniejszej pracy. Obliczenia *Ostrowskiego (1987-88)* wskazują, że im mniejsza powierzchnia zlewni tym też mniejsza stała  $N$ . Zatem przyjęcie maksymalnej wartości  $N$  jako 3 wydaje się być zasadne.

Można wykazać, że wskaźnik odpływu  $H(t)$  wyraża się zależnością:

dla  $N=1$

$$H(t = m) = \sum_{i=1}^m x_i \cdot (e^{-\frac{m-i}{T}} - e^{-\frac{m-i+1}{T}}), \quad (12.5)$$

dla  $N=2$

$$H(t = m) = \sum_{i=1}^m x_i \cdot \left( \left(1 + \frac{m-i}{T}\right) \cdot e^{-\frac{m-i}{T}} - \left(1 + \frac{m-i+1}{T}\right) \cdot e^{-\frac{m-i+1}{T}} \right), \quad (12.6)$$

dla  $N=3$

$$H(t = m) = \sum_{i=1}^m x_i \cdot \left( \left(1 + \frac{m-i}{T} + \frac{(m-i)^2}{2 \cdot T^2}\right) \cdot e^{-\frac{m-i}{T}} - \left(1 + \frac{m-i+1}{T} + \frac{(m-i+1)^2}{2 \cdot T^2}\right) \cdot e^{-\frac{m-i+1}{T}} \right), \quad (12.7)$$

gdzie:  $m$  – dyskretne momenty czasu,  $m=1, 2, 3, \dots$

Ogólniejsze wyniki – dla dowolnego  $N$  oraz impulsów opadowych o zmiennej długości trwania podaje *Miler (1994b)*.

## Wyniki

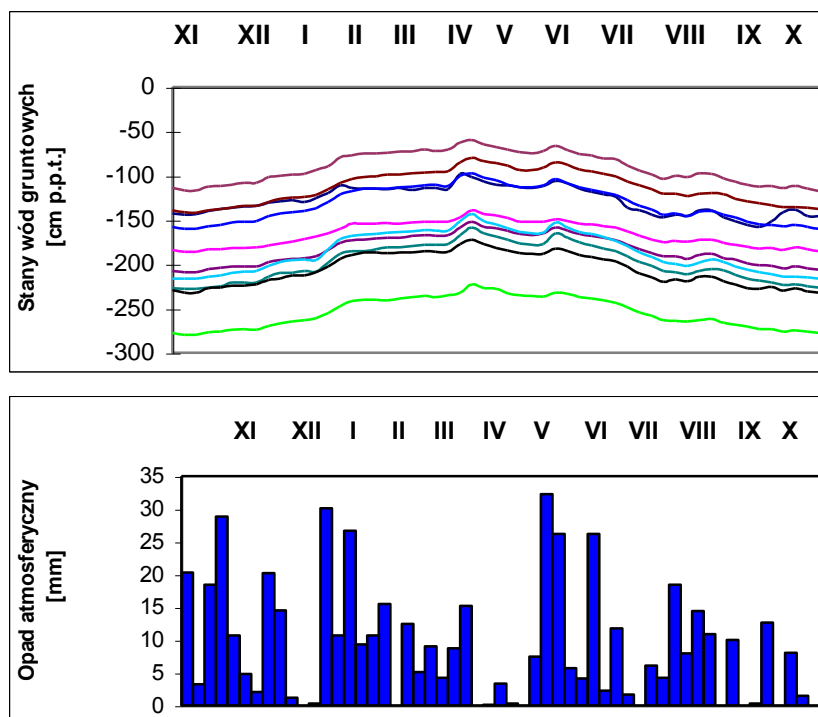
W tabeli 12.1 zestawiono zrównoważony bilans wodny dla badanej zlewni dla roku hydrologicznego 2004/2005. Rok ten należy do lat przeciętnych pod względem sumy rocznej opadów atmosferycznych oraz średniej rocznej temperatury powietrza, które to wartości znajdują się w odpowiednich przedziałach 90-110% wartości średnich dla wielolecia.

Tabela 12.1 Bilans wodny zrównoważony badanej zlewni w roku hydrologicznym 2004/2005

Składniki bilansu (mm)	Miesiące												Rok
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Opad	49	53	81	36	35	14	113	30	48	45	26	21	<b>551</b>
Parowanie	13	9	16	10	19	37	45	54	60	56	38	23	<b>380</b>
Odpływ	10	12	20	20	27	22	22	15	10	10	7	8	<b>182</b>
Zmiana retencji	33	50	52	11	38	-41	-5	-66	-38	-24	-11	-11	<b>-11</b>

Zestawione w tabeli 12.1 sumy opadów oraz wskaźniki odpływów obliczono na podstawie bezpośrednich pomiarów. Ewapotranspirację dobową obliczono według metody Konstantinowa, a następnie obliczono jej sumy miesięczne i roczne (Miler 1997).

Zmianę retencji obliczono na podstawie pomiarów stanów wód gruntowych, zakładając 34% porowatość gleby w strefie wahań się wód gruntowych.



Rys. 12.4 Stany wód gruntowych w 10-ciu studzienkach na tle opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004/2005

Współczynnik odpływu rocznego wynosi 0,330. Potwierdza to zasadność zabudowy badanego ciekę kaskadą 6 zastawek w celu utworzenia tzw. małej retencji. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu zabudowy ciekę na wahania się lustra wody gruntowej w najpłytszych studzienkach położonych najbliżej ciekę. Wahania stanów wód gruntowych we wszystkich dziesięciu obserwowanych studzienkach przebiegają prawie synchronicznie (rys. 12.4).



Trudno jest też wykazać, analizując bezpośrednio wartości odpływów, wpływ zabudowy cieków na tenże odpływ.

Najwyraźniej wpływ zabudowy cieków 17-86-1 można wykazać analizując odpływy wezbraniowe. Poddano więc analizie 14 zaobserwowanych fal wezbraniowych, 6 „przed” i 8 „po” zabudowie cieków (tab. 12.2). Każdą falę wezbraniową opisano dwu-zbiornikowym modelem Nasha ( $N=2$ ). Przyjęcie stałej liczby zbiorników  $N=2$  podyktowane jest dwoma faktami:

- parametr ten powinien być stały dla danej zlewni (np. Ostrowski 1987-88),
- obliczenia dla  $N=1$  i  $N=3$  dawały mniejszą zgodność odpływów wezbraniowych pomierzonych i symulowanych.

Tabela 12.2 Charakterystyka wezbrań w badanej zlewni

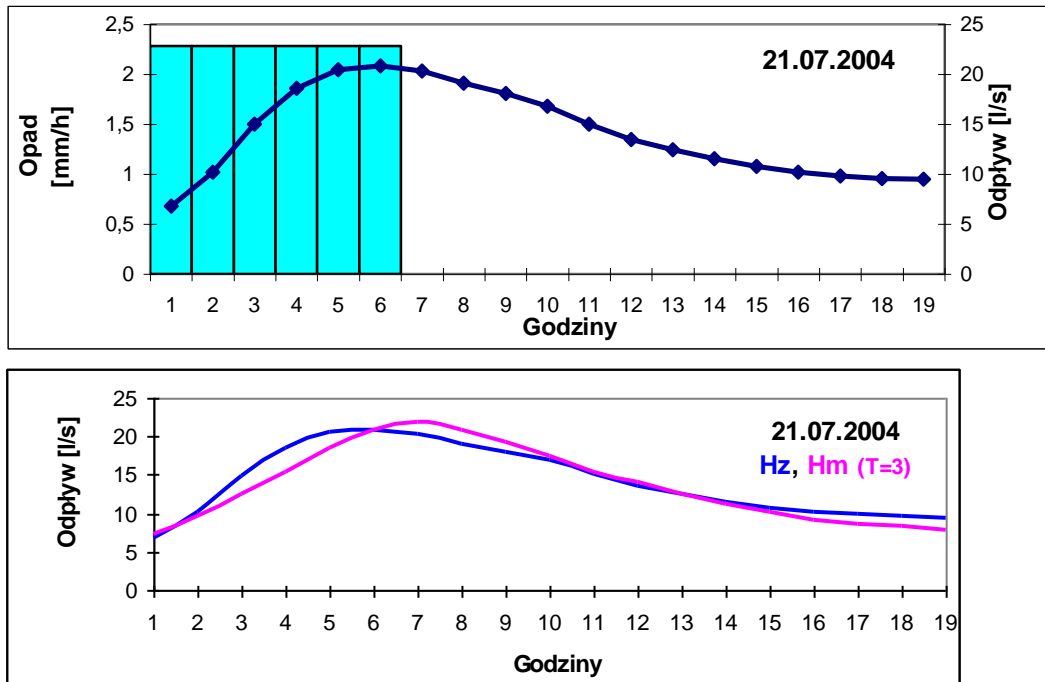
Okres		Odpływ (mm)	Opad (mm)	Odpływ początkowy (mm)	Opad efektywny (mm)	Współczynnik odpływu (%)	Stała czasowa modelu Nasha (godz.)
Przed zabudową cieków	2 V 2004	0,37	6,7	0,26	0,11	1,67	<b>2,5</b>
	9 V 2004	2,26	44,3	1,49	0,77	1,74	<b>3</b>
	23 VI 2004	0,43	5,9	0,32	0,11	1,80	<b>2</b>
	21 VII 2004	0,53	13,7	0,23	0,30	2,21	<b>3</b>
	13 VIII 2004	0,79	10,7	0,29	0,50	4,71	<b>2</b>
	27 X 2004	0,33	11,4	0,24	0,09	0,80	<b>4</b>
Po zabudowie cieków	4 V 2005	0,96	20,0	0,49	0,47	2,35	<b>4</b>
	8 V 2005	1,68	23,2	1,11	0,57	2,47	<b>3</b>
	30 V 2005	0,54	13,2	0,37	0,17	1,30	<b>3</b>
	21 VII 2005	0,71	19,8	0,46	0,25	1,25	<b>3</b>
	3 VIII 2005	0,89	12,3	0,44	0,45	3,65	<b>5</b>
	30 IV 2006	1,69	17,1	1,21	0,48	2,79	<b>3</b>
	13 V 2006	0,96	9,6	0,55	0,41	4,26	<b>4</b>
	28 V 2006	2,13	17,1	1,27	0,86	5,01	<b>8</b>

Wartości optymalnych stałych czasowych  $T$  dla poszczególnych fal wezbraniowych zestawione są w tabeli 12.2. Optymalne wartości  $T$  to takie dla których uzyskano największą zgodność odpływów wezbraniowych pomierzonych i symulowanych (dla stałego  $N=2$ ).

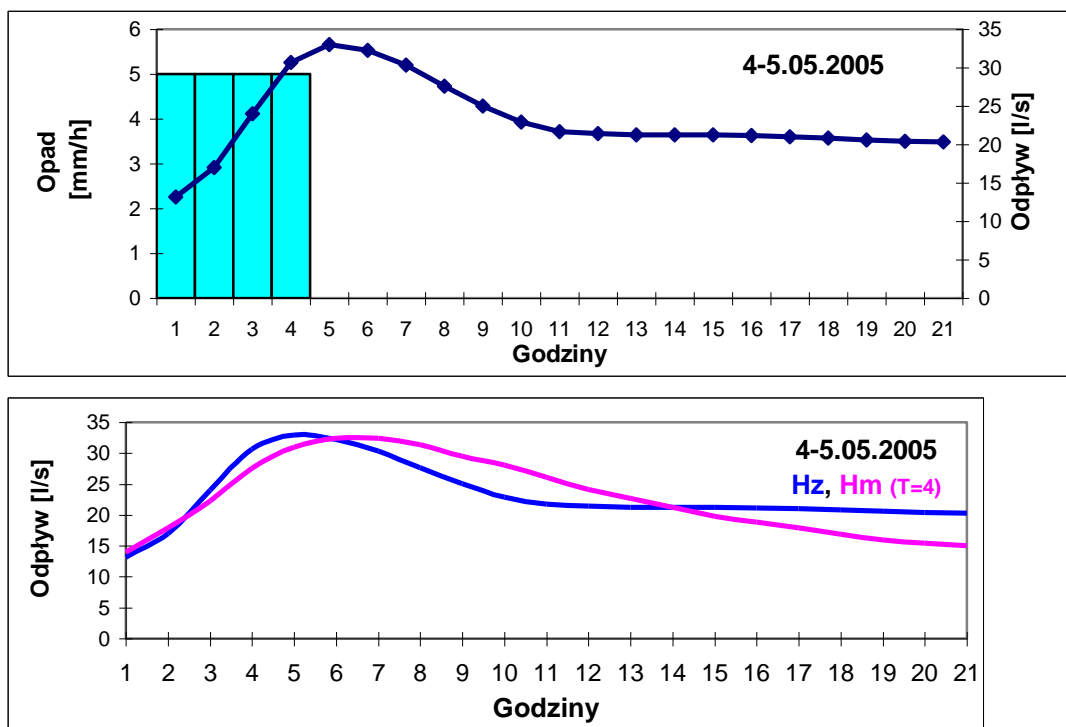
Przykładowe wyniki modelowania wezbrań „przed” i „po” zabudowie badanego cieków przedstawione są odpowiednio na rysunkach 12.5 i 12.6. Na rysunkach tych godzinowe wskaźniki odpływów [mm/h] zostały przeliczone na wielkości przepływów [l/s].

Średnia wartość stałej czasowej  $T$  dla fal wezbraniowych przed zabudową badanego cieków wynosiła 2,75 godz. – natomiast po zabudowie 4,13 godz. Oznacza to, iż stała czasowa  $T$  związana z inercją zlewni, wzrosła o około 50%. W konsekwencji można postawić

hipotezę, iż czas przebywania wód wezbraniowych w zlewni na skutek zabudowy cieku 6-cio ma zastawkami został istotnie wydłużony.



Rys. 12.5 Fala wezbraniowa przed zabudową cieku 17-86-1 (Hz – odptyw pomierzony, Hm – odptyw symulowany)



Rys. 12.6 Fala wezbraniowa po zabudowie cieku 17-86-1 (Hz – odptyw pomierzony, Hm – odptyw symulowany)

## Podsumowanie

Zabudowa cieków 17-86-1 kaskadą 6-ciu zastawek była zasadna. Można postawić hipotezę, że w ten sposób zwiększono zdolność retencyjną zlewni. Inercja zlewni tegoż cieków na wody z odpływów wezbraniowych wzrosła o około 50%. Wykonanie takiego oszacowania było możliwe poprzez opisanie (zamodelowanie) obserwowanych fal wezbraniowych „przed” i „po” zabudowie cieków modelem dwu-zbiornikowym Nasha.

Wydaje się zatem zasadne zastosowanie w programach tzw. małej retencji w lasach wykonywania zabudowy cieków systemami małych, prostych zastawek.

### Cytowana literatura:

- *Eagleson P.S. (1978): Hydrologia dynamiczna. PWN, Warszawa.*
- *Miler A. (1994a): Wymiar fraktalny sieci rzecznych w małych zlewniach Wielkopolski. Roczn. AR Poznań, Melior. Inż. Środ. 15, cz.1, 255-266.*
- *Miler A. (1994b): Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych. Roczn. AR, Rozpr. Nauk. z.258, Poznań.*
- *Miler A. (1997): Zastosowanie metody Konstantinowa do obliczania parowania terenowego w zlewniach rzecznych. Mater. II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej - Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego. Poznań – Sielinko, wyd. AR Poznań, 125-130. .*
- *Nash J.E. (1958): Determining runoff from rainfall. Proc. of Institution of Civil Engineers, 10. .*
- *Ostrowski J.A. (1987-88): Modelowanie hydrogramów wezbrań opadowych w małych zlewniach niekontrolowanych na podstawie sieci zlewni reprezentatywnych. IMGW. Wiadomości IMGW. cz. I-V.*

### 13. DIOKSYNY

Warunkiem trwałego istnienia ekosystemów leśnych jest równowaga głównych procesów przemiany materii. Każda istotna zmiana chemicznej równowagi w środowisku powoduje zakłócenie homeostazy, sukcesję ilościową i jakościową poszczególnych komponentów świata roślinnego i zwierzęcego, a w konsekwencji degradację środowiska leśnego. Ocenę chemicznej jakości środowiska przyrodniczego można prowadzić poprzez analizę indykatorów: gleby, wody, powietrza oraz organizmów stenotopowych o wąskim zakresie tolerancji w stosunku do określonego czynnika środowiskowego.

Najnowsze badania wykazują, że do atmosfery, wód oraz gleby oprócz związków o wysokich stężeniach, (dwutlenek węgla, tlenki azotu), emitowane są również grupy związków chemicznych silnie toksycznych nawet w małych ilościach. Do tej grupy zalicza się stosunkowo mało poznane dioksyiny czyli chloroorganiczne, aromatyczne związki, których cząsteczki wykazują wyjątkowo dużą stabilność termiczną i odporność chemiczną na utlenianie oraz procesy degradacji biologicznej. Ze względu na podobne właściwości toksyczne oraz występowanie w środowisku, do grupy dioksyn zalicza się polichlorowane dibenzodioksyiny (PCDDs), polichlorowane dibenzofurany (PCDFs) i polichlorowane bifenyly (PCBs) (*Grochowalski 1997*). Związki te powstają jako uboczny produkt działalności człowieka oraz na skutek zachodzenia naturalnych procesów na Ziemi.

Specyficzne właściwości fizyko-chemiczne zapewniają dioksyinom dużą odporność na rozkład w środowisku. Odnotowywany wzrost zawartości dioksyn w biotycznych i abiotycznych elementach środowiska jest następstwem rozwoju przemysłu i transportu. Istotnym źródłem powstawania dioksyn są procesy niekontrolowanego spalania związków organicznych, w składzie których znajdują się substancje chemiczne zawierające chlor. Lokalne skażenia dioksyinami mogą powstawać w czasie pożarów składowisk odpadów, pożarów lasów oraz eksplozji transformatorów. Jako główne źródła antropogeniczne powstawania dioksyn w środowisku uznaje się procesy spalania odpadów komunalnych, szpitalnych i przemysłowych zawierających chlor (przy nieodpowiednich parametrach technologicznych) (*Grochowalski 2000*), oraz przemysł chemiczny (szczególnie celulozowo-papierniczy i produkcja herbicydów) (*Bergqvist i in. 1999; Strandberg i in. 1998*). W procesach produkcji niektórych pestycydów i herbicydów następuje reakcja uboczna w postaci kondensacji dwóch cząsteczek chlorofenolanu z wytworzeniem cząsteczki PCDD. Dioksyiny powstają również w przemyśle samochodowym.

Do naturalnych źródeł dioksyn należy zaliczyć: wybuchy wulkanów, pożary lasów oraz burze z wyładowaniami atmosferycznymi. Niektóre drobnoustroje np. grzyb glebowy *Penicillium* wytwarza 2,4-dichlorofenol. Inne organizmy glebowe (grzyb *Phanerochaete chrysosporium*, bakterie glebowe *Pseudomonas*) mają zdolność do rozkładu tych związków bez jakichkolwiek efektów ubocznych dla siebie.

Mechanizmy biologicznego działania dioksyn są mało poznane. Zaobserwowano szereg niekorzystnych zmian zachodzących w organizmach na skutek ekspozycji na działanie dioksyn. Negatywne działanie dioksyn polega na uszkodzaniu żywych komórek, a w konsekwencji zaburzeniu wzrostu i rozwoju organizmów.

### **Dioksyny w glebie**

Badając warstwy gleby z różnych okresów stwierdzono wzrost zawartości PCDDs/PCDFs od pierwszej połowy XX wieku.

Ważnym indykátorem stanu środowiska leśnego jest gleba. Źródłem dioksyn w glebie może być opad atmosferyczny, składowane odpady stałe i płynne, popioły i pyły. Stężenie dioksyn w glebie jest zróżnicowane i zależy od szeregu czynników: głębokości badanej warstwy, siły adsorpcji PCDD/PCDF na cząstkach gleby, rodzaju gleby, jej wilgotności i stopnia perkolacji oraz odczynu. Stopień związania dioksyn w środowisku glebowym zależy od zawartości związków humusowych w glebie. Migracja pionowa dioksyn wynika z wysycenia miejsc sorpcyjnych, migracji rozpuszczalników organicznych, bądź mieszania poziomów glebowych na skutek erozji i działalności człowieka. Dioksyny kumulują się głównie w warstwie 15-30cm, a w glebie piaszczystej mogą migrować do 100cm. Z punktu widzenia zagrożenia dla organizmów żywych istotna jest ruchliwość dioksyn w glebie i ich ewentualne przemieszczanie się do warstw wodonośnych. Badania wykazały umiarkowaną podatność dioksyn na wymywanie przed wody opadowe (*Helling i in. 1973*). Istnieje jednak ryzyko przemieszczania dioksyn w wyniku erozji powierzchniowych warstw gleby. Z badań przeprowadzonych przez Rappe (1987) wynika, że stężenia PCCD/PCDF w glebie uzależnione są również od sposobu jej użytkowania. W przypadku gleb użytkowanych rolniczo, gdzie w wyniku prowadzonych prac następuje mieszanie poziomów, dioksyny zostają wymyte, bądź przemieszczone do głębszych poziomów glebowych.

Badania na terenach mało zanieczyszczonych (Tatrzański Park Narodowy, Magurski Park Narodowy) wykazały stężenie dioksyn na poziomie 1,0-5,0 ng-TEQ/kg. Badania prowadzone w latach 1997-2000 przez Grochowalskiego na terenach uprzemysłowionych wykazały w powierzchniowej warstwie gleby stężenia dioksyn na poziomie 10,0-20,0 ng-

TEQ/kg. W Krakowie, na terenach gdzie spala się odpady z gospodarstw domowych, zawartość dioksyn w wierzchnim poziomie gleby sięgała wartości 850,0 ng-TEQ/kg.

### **Dioksyny w wodzie i osadach dennych**

Generalnie dioksyny są bardzo słabo rozpuszczalne w wodzie, co jest bezpośrednio związane z ich budową i właściwościami fizyko-chemicznymi (*Grochowalski 2000*). Dioksyny przedostają się do wód głównie w miejscach odprowadzania ścieków przemysłowych i bytowych oraz w wyniku wypłukiwania zanieczyszczeń z gleby i adsorbują się na powierzchni cząstek substancji zawieszonych w wodzie, a następnie opadają z nimi na dno. Według badań, ponad 90% 2,3,7,8-TCDD może ulegać zaabsorbowaniu w wodzie przez cząsteczki zawieszone lub osady denne (*Matsmura i in. 1973*). Z tego względu badania stopnia zanieczyszczenia wód powinny być oparte głównie na określeniu stężenia dioksyn w osadach dennych.

Na podstawie analiz osadów dennych można stwierdzić, że gwałtowny przyrost stężenia dioksyn wystąpił w latach trzydziestych i osiągnął apogeum w latach siedemdziesiątych XX wieku. Spadek zawartości tych ksenobiotyków obserwuje się od początku lat osiemdziesiątych XX wieku. Jest to wynikiem m.in. ograniczenia produkcji herbicydów na bazie pochodnych kwasów chlorofenoksyoctowych i polichlorowanych bifenyli, a także dzięki zastosowania doskonalszych i czystszych technologii ich produkcji.

Śladowe ilości dioksyn stwierdzono w Japonii (*Makles 2001*), w osadach sedymentacyjnych pochodzących sprzed 6000 lat p.n.e. Jednak skład i stosunki ilościowe poszczególnych kongenerów w analizowanych próbkach różnią się znacząco od wyników próbek z ostatnich lat. Świadczy to o zdecydowanie antropogenicznym pochodzeniu tych związków w środowisku.

### **Dioksyny w organizmach żywych**

Monitoringiem dioksynowym objęte są przede wszystkim rośliny konsumpcyjne (*Grochowalski 2000*). Rośliny uprawiane na wolnym powietrzu, na terenach zanieczyszczonych przemysłowo, stale narażone na opad pyłu z powietrza zawierają dioksyny na poziomie 0,6-11,0 ng-TEQ/kg w przeliczeniu na suchą masę. Na terenach, gdzie wypalane są łąki oraz spalane odpady gospodarskie w piecach domowych, zawartość dioksyn w roślinach liściastych może być jeszcze wyższa.

Zawarte w tkankach roślinnych dioksyny wchodzą w łańcuchy troficzne i silnie kumulują się w zwierzęcych tkankach tłuszczowych. Stosunkowo wysokie stężenia dioksyn

odnotowuje się przede wszystkim w tłuszczach i mięsie wołowym, a mniejsze - w wieprzowym. Zawartość dioksyn w tkankach zwierzęcych wynika z rodzaju stosowanych pasz. Inertność chemiczna 2,3,7,8-TCDD (najbardziej toksycznej dioksyny) wynika z właściwości atomów chloru, przez co dioksyna ta bardzo powoli zostaje włączona w cykl przemian metabolicznych, bądź ulega rozkładowi w ciągu dziesiątków dni. Ze względu na właściwości hydrofobowe, dioksyny umiejscawiają się w tkankach bogatych w tłuszcz, a zdolność do reakcji donorowo-akceptorowych z różnymi substancjami endogennymi umożliwia jej przenikanie przez różne bariery biologiczne organizmu żywego i lokowanie się w wątrobie, śledzionie, przysadce mózgowej i innych organach.

### **Cel podjętych badań**

Celem przeprowadzonych badań była wstępna ocena występowania dioksyn w glebie i aparacie asymilacyjnym głównych bioindykatorów drzewiastych w wybranym fragmencie Nadleśnictwa Antonin (LKP Lasy Rychtałskie). Badania miały określić poziom tła na terenach nie objętych intensywną emisją przemysłową.

Zakres badań obejmował także określenie stopnia zanieczyszczenia dioksynami gleby na pożarzysku leśnym oraz zawartość dioksyn w aparacie asymilacyjnym drzew rosnących w sąsiedztwie pożarzyska.

### **Metoda badań kongenerów PCDDS i PCDFS**

Przygotowanie próbek wykonano według opracowanych procedur opartych na technikach ekstrakcji w układzie ciecz – ciało stałe oraz technikami wielostopniowej chromatografii cieczonej. Analizy wykonano techniką chromatografii gazowej w sprzężeniu ze spektrometrią masową z podwójną fragmentacją badanej cząsteczki przy wykorzystaniu urządzeń typu MAT GCQ i GC-MS/MS. Dioksyny oznaczano na unikatowej aparaturze Laboratorium Zespołu Analiz Śladowych Wydziału Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej weryfikowanej w międzynarodowych porównaniach laboratoryjnych organizowanych m.in. przez Uniwersytet w Örebro w Szwecji, Ministerstwo Ochrony Środowiska Stanu Ontario w Kanadzie i Uniwersytet w Wenecji.

Granicę oznaczalności dioksyn obliczono na poziomie 0,002 ng-PCDD/F-TEQ/kg analizowanej próbki. Techniki analityczne prowadzące do oznaczania PCDDs i PCDFs oparto na normach EPA 1613, EPA 8280 oraz procedurach opracowanych w Laboratorium Analiz Śladowych Instytutu Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Krakowskiej (Grochowalski 2000). Odzysk analitu obliczano w oparciu o wprowadzone do próbek przed

ekstrakcją wzorce znaczone izotopowo  $^{13}\text{C}$ -PCDDs,  $^{13}\text{C}$ -PCDFs. Do obliczenia poziomu toksyczności TEQ przyjęto wynik oznaczenia 17 kongenerów PCDDs i PCDFs zestawionych w tabeli 13.1.

Poziom toksyczności analizowanych próbek wyrażony jako wartość standaryzowana TEQ, obliczono przy pomocy tzw. współczynnika równoważnego toksyczności TEF na podstawie wyników analiz chemicznych zawartości masowej wszystkich kongenerów PCDDs i PCDFs posiadających atomy chloru w położeniach 2,3,7 i 8. Wartość liczbowa parametru TEQ jest wartością sumaryczną parametrów cząstkowych otrzymanych z pomnożenia wyniku analitycznego stężenia pojedynczego kongeneru przez odpowiedni współczynnik TEF.

Wartości liczbowe TEF zestawione w tabeli 13.1 określają względną toksyczność każdego kongeneru PCDD, PCDF w odniesieniu do najbardziej toksycznego 2,3,7,8-TCDD i 1,2,3,7,8-P<sub>5</sub>CDD, dla których przyjęto współczynniki TEF = 1. Odpowiednio dla najmniej toksycznych OCDD i OCDF przyjęto współczynniki TEF = 0,0001. Sumując pomnożone ilości masowe poszczególnych kongenerów PCDDs i PCDFs oznaczonych w analizowanym cemencie przez odpowiadające im jednostkowe współczynniki TEF otrzymano wartość liczbową nazywaną poziomem toksyczności analizowanej próbki – TEQ. Jest to wartość masowa.

We wszystkich aktualnie obowiązujących i tworzonych regulacjach prawnych odnośnie zawartości dioksyn ich masę wyraża się sumarycznie w ng-TEQ/kg lub w jednoznacznych jednostkach pg-TEQ/g w odniesieniu do 1 grama badanej substancji.

Wartość masową TEQ obliczano wg wzoru:

$$TEQ = \sum_{i=1}^{i=17} (m_i \times TEF_i) \quad (13.1)$$

gdzie:

TEQ – poziom toksyczności badanej próbki wyrażony w jednostkach masowych (Toxic Equivalency) (ng/kg lub pg/kg),

$m_i$  – masa i-kongeneru PCDD i PCDF w ng lub pg,

$TEF_i$  – współczynnik równoważny toksyczności 2,3,7,8-TCDD dla i-kongeneru PCDD i PCDF.

Wyjaśnienie stosowanych akronimów:

$\mu\text{l}$  –  $10^{-6}$  L

ng – nanogram =  $10^{-9}$  g



pg – pikogram =  $10^{-12}$  g

GC-MS/MS – spektrometria gazowa w sprzężeniu z chromatografią gazową z podwójną fragmentacją analizowanej cząsteczki

PCDDs – polichlorowane dibenzoparadioksyny (dibenzodioksyny)

PCDFs – polichlorowane dibenzofurany

PCDD/F – sumarycznie, PCDDs i PCDFs

TCDD/TCDF – tetrachlorodibenzodioksyna / tetrachlorodibenzofuran

P<sub>5</sub>CDD/P<sub>5</sub>CDF – pentachlorodibenzodioksyna / pentachlorodibenzofuran

H<sub>6</sub>CDD/H<sub>6</sub>CDF – heksachlorodibenzodioksyna / heksachlorodibenzofuran

H<sub>7</sub>CDD/H<sub>7</sub>CDF – heptachlorodibenzodioksyna / heptachlorodibenzofuran

OCDD/OCDF - oktachlorodibenzodioksyna / oktachlorodibenzofuran

<sup>13</sup>C-PCDDs, <sup>13</sup>C-PCDFs – dioksyny i furany znaczone stabilnym izotopem węgla <sup>13</sup>C.

TEF – współczynnik równoważny toksyczności 2,3,7,8-TCDD

wartość normowana dla PCDDs, PCDFs

TEQ – poziom toksyczności analizowanej próbki. Toksyczność próbki wyraża się w ng-TEQ/kg dla próbek stałych i ciekłych.

### **Material badawczy**

Próbki gleby i aparatu asymilacyjnego pobrano w Leśnictwie Czarnylas (Nadleśnictwo Antonin). Pożar drzewostanu sosnowego miał miejsce w trzeciej dekadzie kwietnia 2005 roku; próby pobrano w pierwszej dekadzie listopada 2005 roku.

Glebę pobrano z głębokości 0,3m. Igły i liście pobrano w drzewostanie sosnowym z domieszką brzozy ( II klasa wieku).

W monitoringu dioksynowym uwzględniono powszechnie w leśnictwie stosowane bioindykatory drzewiaste - sosnę zwyczajną *Pinus sylvestris* L. i brzozę brodawkowatą *Betula pendula* Roth. Wyniki zawartości dioksyn w analizowanym aparacie asymilacyjnym obu gatunków porównano z wynikami oznaczeń wykonanymi dla igieł i liści pobranych z terenów potencjalnie zanieczyszczonych dioksynami, tzn. terenów popożarzyskowych.

### **Analiza wyników badań**

Reprezentatywne wyniki analiz chemicznych pobranych próbek przedstawiono w tabeli 13.1. Tabela zawiera stężenia 17 kongenerów oznaczonych dla analizowanych materiałów oraz wartości liczbowe współczynnika TEF wyrażone w normatywnych jednostkach ng/kg gleby.

Przeprowadzone badania wykazały niewielkie zawartości dioksyn w próbkach glebowych tła (0,721 ng PCDD/F-TEQ/kg). Gleba z pożarzyska zawierała 4,7063 ng PCDD/F-TEQ/kg.

Jak wyżej wspomniano, badania przeprowadzone przez Grochowalskiego na terenach uprzemysłowionych w latach 1997-2000, wykazały stężenie dioksyn na poziomie 10,0-20,0 ng-TEQ/kg w powierzchniowej warstwie gleby. W Krakowie, na terenach gdzie spala się odpady z gospodarstw domowych, zawartość dioksyn w wierzchniej warstwie gleby wynosiła do 850 ng-TEQ/kg, podczas gdy w badaniach z terenów ekologicznie czystych (np. Tatrzański Park Narodowy, Magurski Park Narodowy) poziom dioksyn wahał się w granicach 1,0-5,0 ng-TEQ/kg. Wartość ta jest wynikiem naturalnych procesów chemicznych, które zachodzą od milionów lat w przyrodzie. Jest to poziom tła naturalnego, mogący służyć do porównania wyników próbek środowiskowych. Badania prowadzone przez Fiedorova i in. (1990) mające na celu określenie dopuszczalnych stężeń TCDD w środowisku pozwoliły na ustalenie dopuszczalnych poziomów stężenia dioksyn w zależności od sposobu gospodarowania glebą. Dla terenów użytkowanych rolniczo wartość ta nie powinna przekroczyć 10,0 ng/kg, dla terenów nierolniczych – 50,0 ng/kg, a dla obszarów przemysłowych – 250,0 ng/kg gleby. Porównując otrzymane w wyniki z normami zaproponowanymi przez Fiedorova stwierdzono, że na badanych obszarach nie zachodziła kumulacja dioksyn w glebie.

Rośliny uprawiane na wolnym powietrzu, na terenach zanieczyszczonych przemysłowo, stale narażone na opad pyłu z powietrza zawierają dioksyny na poziomie 0,6-11,0 ng-TEQ/kg w przeliczeniu na suchą masę. Na terenach, gdzie wypalane są łąki oraz spalane odpady gospodarskie w piecach domowych, zawartość dioksyn w roślinach liściastych może sięgać 11,0 ng-TEQ/kg. Badania aparatu asymilacyjnego bioindykatorów drzewiastych przeprowadzone na terenach zanieczyszczonych wykazały dużą kumulację dioksyn w liściach brzozy brodawkowatej *Betula pendula* Roth. (126,960 ng-TEQ/kg). W próbach pobranych z terenów kontrolnych (tło), stężenie to było wielokrotnie mniejsze (1,2248 ng-TEQ/kg). W przypadku sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. zawartość dioksyn w igłach drzew rosnących w sąsiedztwie pożarzyska wynosiła 25,335 ng-TEQ/kg. W igłach sosnowych pobranych z terenów kontrolnych (tło) zawartość dioksyn określono na poziomie 0,618 ng-TEQ/kg (tab. 13.1).

Przeprowadzone badania wykazały dużą przyswajalność dioksyn przez brzozę brodawkowatą. Gatunek ten, podobnie jak w przypadku pierwiastków śladowych, może być bioindykatorem w monitoringu dioksynowym środowiska leśnego.

## Podsumowanie

Szacuje się, że półokres rozpadu dioksyn w środowisku pod wpływem różnych czynników może trwać kilka lat. Przykładowo, degradacja 2,3,7,8-TCDD w glebie na głębokości 15 cm zachodzi po 14 latach. Niektóre mikroorganizmy mają zdolność rozkładu dioksyn bez efektów ubocznych dla siebie. Przykładem może być grzyb gnilny *Phanerochaete chrysosporium* (rozkładający również DDT) oraz bakterie glebowe *Pseudomonas* i *Arthrobacter*. Biodegradacja jest procesem bardzo powolnym, uzależnionym od wielu czynników, m.in.: pH środowiska, wilgotności, temperatury i obecności metali katalizujących procesy. Na zmniejszenie się ilości dioksyn w środowisku istotnie wpływa promieniowanie nadfioletowe. Szereg badań przeprowadzonych w laboratoriach USA, Włoch i Polski wykazały, że degradacja fotolityczna najszybciej przebiega na powierzchniach liści drzew i traw. Substancje woskowate pokrywające liście drzew, krzewów i traw są czynnymi donorami atomów wodoru, uaktywniającymi się wobec tych ksenobiotyków pod wpływem światła nadfioletowego. Gleba, jako substrat bogaty w substancje dostarczające wodoru, ze względu na jej stan fizyczny, strukturę oraz obecność związków lipidofilnych, powoduje w pierwszej fazie rozpuszczenie dioksyn, a następnie ich transport do głębszych warstw, gdzie proces fotolitycznego rozkładu jest znacznie utrudniony. Następstwem degradacji fotolitycznej jest powstanie produktów o zmniejszonej liczbie atomów chloru, czego konsekwencją jest zmniejszenie ich toksyczności.

Ksenobiotyki typu PCDD/PCDF, wprowadzane do otoczenia w wyniku działalności człowieka oraz tworzące się w sposób naturalny na skutek procesów przebiegających w środowisku, podlegają ogólnym prawom dynamiki rozprzestrzeniania się substancji zarówno w atmosferze, litosferze, hydrosferze i biosferze. Wyemitowane do atmosfery związki, zaadsorbowane na pyłach i dymach, w sprzyjających warunkach meteo- i topograficznych przemieszczają się na duże odległości i znaczne wysokości. Można zatem mówić o migracji dioksyn w kierunkach poziomym i pionowym. Osiedlające na powierzchni ziemi cząsteczki dioksyn są zdolne do przemieszczania w glebie w wyniku tworzenia kompleksów molekularnych z ich składnikami. Rezultatem tego jest zazwyczaj zanieczyszczenie gruntów, warstw wodonośnych, a w konsekwencji - rzek i akwenów wodnych. Następstwem tych procesów jest dalsze rozprzestrzenienie się dioksyn w biosferze, w wyniku pobierania substancji odżywczych przez systemy korzeniowe, a dalej - skażenie organizmów roślino- i mięsożernych.

Prognozowanie możliwych dróg rozprzestrzeniania się dioksyn w środowisku jest problemem bardzo złożonym ze względu na mnogość mediów, w których one występują oraz

możliwych przemian chemicznych, biologicznych i metabolicznych, jakim podlegają. Ocenę skażeń środowiska można prowadzić poprzez monitorowanie odpowiednich indykatorów środowiskowych oraz źródeł emisji dioksyn, którymi są zazwyczaj dymy i pyły wyrzucane do otoczenia przez kominy zakładów przemysłowych i energetycznych, badania popiołów, osadów i szlamów poprodukcyjnych. W zależności od stosowanych metod wyróżnia się monitoring chemiczny, biologiczny i toksykologiczny. Monitoring biologiczny dotyczy przemian dioksyn w żywych organizmach, toksykologiczny - badań efektów porażennych określonej populacji ludzi, a chemiczny - sposobów wykrywania, identyfikacji i oznaczania dioksyn w komponentach środowiska.

Dioksyny poprzez migracje i kumulacje mogą stanowić bezpośrednie zagrożenie dla niektórych ekosystemów leśnych. W celu zachowania równowagi chemicznej monitoringiem dioksynowym powinny zostać objęte wybrane biotopy i biocenozy leśne zlokalizowane w sąsiedztwie głównych emiterów zanieczyszczeń chemicznych. Przy opracowywaniu zasad monitoringu dioksynowego wybranych kompleksów leśnych należy określić sieć stanowisk pomiarowo-kontrolnych, a także częstotliwość poboru próbek do analiz chemicznych.

#### Cytowana literatura:

- *Bergqvist P.A., Strandberg B., Rappe C. (1999): Lipid Removal Using Semipermeable Membranes (SPM) in PCDD and PCDF Analysis of Fat-Rich Environmental Samples. Chemosphere, 38, 933-943.*
- *Czerniak A., Poszyler-Adamska A. (2006): Identyfikacja dioksyn w glebie leśnej- materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Naukowej ENVIRO 2006 Kraków-Nitra, 25-26.09.2006, Dobczyce, s.19*
- *EPA 1613, 1990. Tetra-through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS. Office of Water regulations and Standards Industrial technology Division 04.*
- *Fiedorov L.A., Miasojedov B.F. (1990): Dioksiny: chemiko-analiticzeskije aspekty problema. Uspiechi Chim. 1818-1866.*
- *Grochowalski A. (2000): Badania nad oznaczaniem polichlorowanych dibenzodioksyn, dibenzofuranów i bifenyli. Zesz. Nauk. P.Krak. Monogr. 272 s.120.*
- *Grochowalski A., Chrzęszcz R. (1997): PCDDs/Fs in suspended particulate matter in ambient air from Krakow City, Poland. Organohal. Comp., 32, 76-80.*

- Helling, C.S., Isensee, E.A., Woolston, P.D., Ensor, P.D.J., Jones, G.E., Plimmer, J.R. and Kearney, P.C. (1973): *Chlorodioxins in pesticides soils and plants.*
- Makles Z., Świątkowski A., Grybowska S. (2001): *Niebezpieczne dioksyny.* Wyd. Arkady
- Matsumura F., Benzeat H.J. (1973): *Bioaccumulation and microbial degradation of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin.* *Environ. Health Perspect.* s. 253-258.
- Poszyler-Adamska A., Czerniak A. (2006): *Dioksyny.* *Środowisko 1 (313)/06,* 32-35.
- Rappe C., Kjeller L. (1987): *PCDDs and PCDFs in environmental samples air, particulates, sediments and soil.* "Chemosphere" p. 1175-1780.
- Strandberg B., Bergqvist P.A., Rappe C. (1998): *Dialysis with Semipermeable Membranes as an Efficient Lipid Removal Method in the Analysis of Bioaccumulative Chemicals.* *Anal. Chem.,* 70, 526-533.

Tabela 13.1. Wyniki badań zawartości dioksyn w glebie i aparacie asymilacyjnym *Pinus sylvestris* L. i *Betula pendula* Roth.

Kongener	Materiał doświadczalny						
	TEF	Gleba [ng PCDD/F-TEQ/kg]		Aparat asymilacyjny [ng PCDD/F-TEQ/kg]			
		Gleba leśna tło	Gleba z pożarzyska	<i>Pinus sylvestris</i> L. tło	<i>Pinus sylvestris</i> L. pożarzysko	<i>Betula pendula</i> Roth. tło	<i>Betula pendula</i> Roth. pożarzysko
2,3,7,8-TCDD	1	0,279	0,27052	0,058	1,879	0,267	5,614
1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDD	1	0,043	0,35521	0,075	0,509	0,107	10,888
1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0,1	0,012	0,03967	0,012	0,554	0,039	1,397
1,2,3,6,7,8,-H <sub>6</sub> CDD	0,1	0,010	0,06112	0,041	0,997	0,017	1,118
1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDD	0,1	0,022	0,04722	0,010	1,121	0,020	0,814
1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDD	0,01	0,022	0,10045	0,013	0,323	0,004	0,646
OCDD	0,0001	0,001	0,01053	0,003	0,003	0,0005	0,005
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,040	0,63382	0,088	1,372	0,306	11,928
1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0,05	0,012	0,16659	0,017	0,654	0,041	2,631
2,3,4,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0,5	0,113	2,26702	0,144	2,851	0,232	61,439
1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0,1	0,074	0,21934	0,039	3,931	0,074	8,122
1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0,1	0,063	0,19576	0,025	6,421	0,031	11,393
1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDF	0,1	0,017	0,23262	0,043	2,899	0,032	8,947
2,3,4,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0,1	0,008	0,00907	0,018	0,221	0,029	0,645
1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDF	0,01	0,001	0,08714	0,028	0,918	0,005	1,249
1,2,3,4,7,8,9-H <sub>7</sub> CDF	0,01	0,003	0,00768	0,004	0,679	0,0201	0,126
OCDF	0,0001	0,001	0,00251	0,001	0,003	0,0002	0,005
Wynik oznaczenia		0,721	4,7063	0,618	25,335	1,2248	126,967

## 14. PIERWIASTKI ŚLADOWE W GLEBACH OBSZARÓW MOKRADŁOWYCH

Niektóre znane światowe ośrodki badawcze sugerują, że w wodach i glebach organicznych obszarów mokradłowych mogła zachodzić przez wiele lat intensywna akumulacja zanieczyszczeń chemicznych np. pierwiastków śladowych i dioksyn generowanych przez ośrodki przemysłowe. Stwierdzono np., że zawartość ołowiu, kadmu, niklu i cynku w bagnach na terenie Anglii wielokrotnie przekracza poziom uznawany za bezpieczny dla środowiska (*New Scientist nr 2275/2001*). Pierwiastkami śladowymi mogą być skażone również podmokłe tereny Eurazji i Ameryki Północnej. Brytyjscy naukowcy ostrzegają, że zachodzące zmiany klimatyczne mogą spowodować osuszenie terenów mokradłowych i uwolnienie z nich w skutek erozji wodnej i eolicznej dużych ilości toksycznych związków.

Na terenach Polski obszary leśne należą do ekosystemów najmniej przekształcanych i zanieczyszczanych przez człowieka. W świetle prognozowanych zagrożeń wynikających z uwalniania zanieczyszczeń chemicznych z podlegających osuszaniu się terenów bagiennych, przeprowadzono szeroki zakres badań chemicznych: wód, gleb i drzewiastych bioindykatorów analizowanych terenów mokradłowych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono badania podatności magnetycznej gleb mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie na przykładzie Leśnictwa Doświadczalnym Mariana. Podatność magnetyczna jest łatwo mierzalną wielkością geofizyczną opisującą zdolność danej substancji do zmian namagnesowania pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Na terenach zanieczyszczonych podatność magnetyczna jest znacznie podwyższona w stosunku do naturalnej (*Magiera i in. 2003*). Procedura pomiarów podatności magnetycznej (PM) oparta jest na zauważalnym związku pomiędzy wzrostem podatności magnetycznej a zawartością metali ciężkich w środowisku glebowym. Beckwith (*1986*) wykazał zależność liniową pomiędzy zawartością cząstek magnetycznych a zawartością w pyłach miejskich Cu, Fe, Pb, i Zn. Magnetometria jest metodą alternatywną w stosunku do kosztownych metod geochemicznych (*Strzyszczyk i Magiera 2001*). Metoda ta jest szczególnie przydatna na obszarach leśnych, gdzie długotrwała depozycja zanieczyszczeń (w tym również cząstek magnetycznych) następuje w sposób niezakłócony zabiegami agrotechnicznymi.

Podatność magnetyczną gleb można analizować poprzez określenie rozkładu powierzchniowego lub pionowego ferrimagnetyków. Ferrimagnetyki antropogeniczne pochodzenia pyłowego gromadzą się głównie w podpoziomie butwinowym (Of) i podpoziomie epihumusowym (Oh). Naturalny układ profilu glebowego ułatwia interpretację

ekologiczną. Dotychczasowe badania rozkładu wartości podatności magnetycznej w profilu pionowym wykazały, że wartości notowane na powierzchni nie są wartościami maksymalnymi. Rozkład pionowej podatności magnetycznej można przeprowadzać z rozdzielczością 0,2 mm, Tak duża dokładność nie jest możliwa przy zastosowaniu tradycyjnych metod chemicznych. Znajomość rozkładu pionowego ferrimagnetyków pozwala określić antropogeniczne bądź naturalne źródło ich pochodzenia oraz modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w glebie.

W typowym profilu glebowym na terenach będących pod wpływem czynników antropogenicznych najwyższą podatność magnetyczną odnotowuje się w podpoziomie detrytusowym (Ofh), a więc w zależności od rozwoju profilu glebowego i grubości ściółki leśnej na głębokości ok. 3-7 cm. Podatność magnetyczna na powierzchni gleby wynosząca od 30 do  $50 \times 10^{-5}$  jednostek może oznaczać, że ilość przynajmniej jednego z metali przekracza wartość graniczną dopuszczalną dla gleb terenów leśnych.

Najbogatsze w ferrimagnetyki są pyły metalurgiczne związane z hutnictwem żelaza. Średnia podatność magnetyczna pyłu metalurgicznego wynosi  $13376 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , popiołów lotnych po spalaniu węgla kamiennego  $2006 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , popiołów lotnych po spalaniu węgla brunatnego  $1047 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , a pyłu cementowego  $363 \times 10^{-8} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ . Wysoka podatność magnetyczna pyłów i żużli metalurgicznych związana jest głównie z wysoką zawartością tlenków żelaza i innych pierwiastków metalicznych (*Strzyszczyk i Magiera 2000*). Głównym źródłem ferrimagnetyków w popiołach lotnych są ferrimagnetyki zawarte w węglu oraz siarczki ulegające w trakcie spalania przekształceniu w magnetyczne formy żelaza.

W Polsce badania podatności magnetycznej w glebach leśnych prowadzono na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach (*Strzyszczyk i in. 2001*) oraz parków narodowych (*Magiera i Strzyszczyk 2000*). Największe wartości podatności magnetycznej w warstwie powierzchniowej zanotowano w rejonie Huty i Elektrowni Łaziska ( $182 \times 10^{-5}$ ) oraz Świętochłowic ( $145 \times 10^{-5}$ ) (*Strzyszczyk i Magiera 2001*). Podatność magnetyczna tych gleb jest ściśle skorelowana z koncentracją metali ciężkich (*Lis i Pasieczna 1995*). Maksymalna koncentracja metali ciężkich podobnie jak cząstek magnetycznych pochodzenia antropogenicznego występuje w poziomach Of/Oh ściółki. Podwyższona zawartość ferrimagnetyków w górnej warstwie gleby ma istotny wpływ na mikroorganizmy glebowe (*Olszowska 1997*).

Przyjmuje się, że gleby nie zanieczyszczone charakteryzują się naturalną podatnością magnetyczną (poniżej  $30 \times 10^{-5}$  jednostek) (*Magiera i in. 2002*). Podatność magnetyczna w



przedziale od  $30 \times 10^{-5}$  do  $50 \times 10^{-5}$  jednostek wskazuje na podwyższoną zawartość antropogenicznych ferrimagnetyków. Podatność magnetyczną od  $50 \times 10^{-5}$  do  $100 \times 10^{-5}$  jednostek uznaje się jako wysoką, a powyżej  $100 \times 10^{-5}$  jako bardzo wysoką. Średnia krajowa podatność magnetyczna dla gleb leśnych określona na podstawie Mapy Podatności Magnetycznej Gleb Polski wynosi  $22 \times 10^{-5}$  jednostek.

### **Metoda badań magnetometrycznych**

Badania magnetometryczne gleb mokradłowych przeprowadzono w sąsiedztwie założonych 18 piezometrów. Zakres I – obejmował określenie podatności magnetycznej mierzonej powierzchniowo. Zakres II – obejmował określenie pionowej podatności magnetycznej.

Podatność magnetyczna istotnie zależy od morfologii terenu i kumulacji ściółki w lokalnych zagłębieniach. Punkty badawcze, w których dokonywano pomiarów koncentracji ferrimagnetyków wybierano tak, aby zachować zbliżoną miąższość ściółki.

Do pomiarów użyto miernika podatności magnetycznej wyposażonego w angielski czujnik terenowy MS2D firmy „Bartington Instruments” (fot. 14.1). Czujnik podatności magnetycznej w celu precyzyjnego określania pozycji geograficznej mierzonego punktu zintegrowano z systemem GPS „Pathfinder” amerykańskiej firmy „Trimble”. Sprzęt pomiarowy udostępnił Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze. Wartości pomiarów określano w bezwymiarowych jednostkach podatności magnetycznej ( $\times 10^{-5}$ ). Pomiary wartości  $\kappa$  wykonywano bezpośrednio na powierzchni (poziom O1) oraz dla podpoziomu Of, a następnie uśredniono.

Analizę pionowego rozkładu podatności magnetycznej gleb przeprowadzono miernikiem podatności magnetycznej SM 400 produkcji czeskiej typu ZH Instruments – Brno (fot. 14.2). Pomiary wartości  $\kappa$  w układzie pionowym dokonywano do głębokości ok. 20,0 cm. Pobierano również rdzenie glebowe sondą Huga 20,0 cm. Rdzenie o średnicy 35 mm pobierano zachowując naturalny układ profilu glebowego. Pomiary podatności magnetycznej w rdzeniach wykonano czujnikiem MS2F „Bartington” z rozdzielczością 0,2 mm.

### **Wyniki pomiarów podatności magnetycznej**

Pomiary powierzchniowej podatności magnetycznej przeprowadzone w rejonie wszystkich 18 piezometrów zlokalizowanych na terenie Leśnictwa Doświadczalnego Marianka wykazały bardzo małe wartości wskaźnika  $\kappa$ .



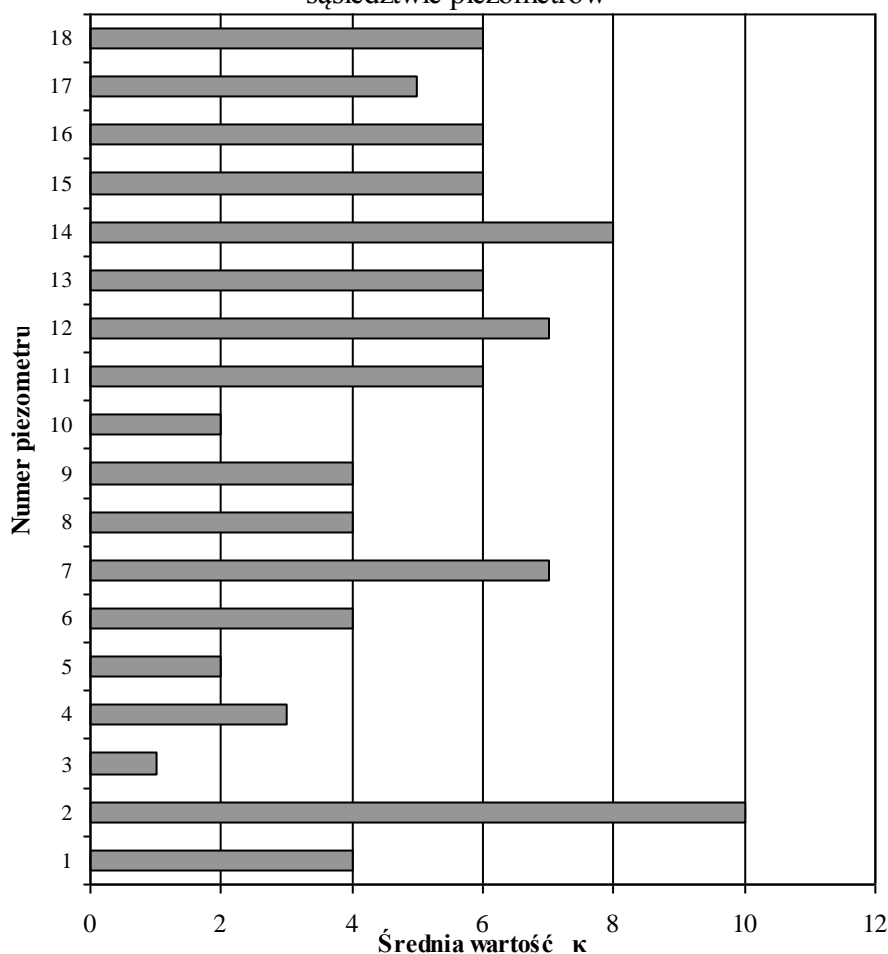
Fot. 14.1. Czujnik do pomiaru powierzchniowej podatności magnetycznej  
(fot. A. Czerniak)



Fot. 14.2. Miernik pionowej podatności magnetycznej  
(fot. A. Czerniak)

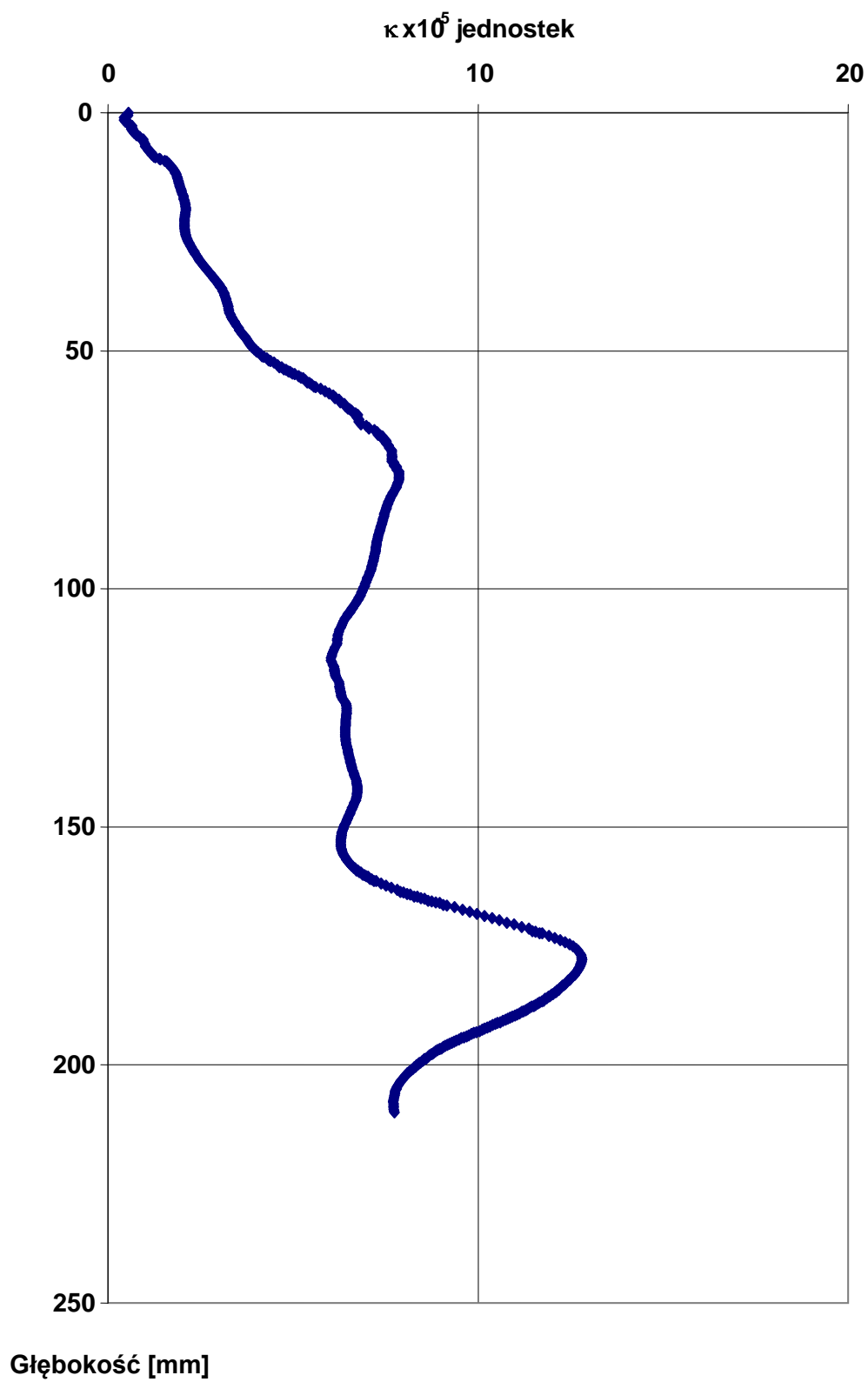
Ani razu wartość ta nie przekroczyła  $10 \times 10^{-5}$  jednostek (rys. 14.1) magnetycznych. Świadczy o braku jakichkolwiek zanieczyszczeń antropogenicznych związanych z opadem cząstek magnetycznych zawartych w pyłach przemysłowych w poziomie organicznym tych gleb. Tak małe wartości  $\kappa$  sugerują również brak znaczących ilości minerałów ferrimagnetycznych pochodzenia geogenego lub pedologicznego występujących w poziomie mineralnym tych gleb.

Rys. 14.1. Wyniki pomiarów powierzchniowych wartości  $\kappa$  w sąsiedztwie piezometrów

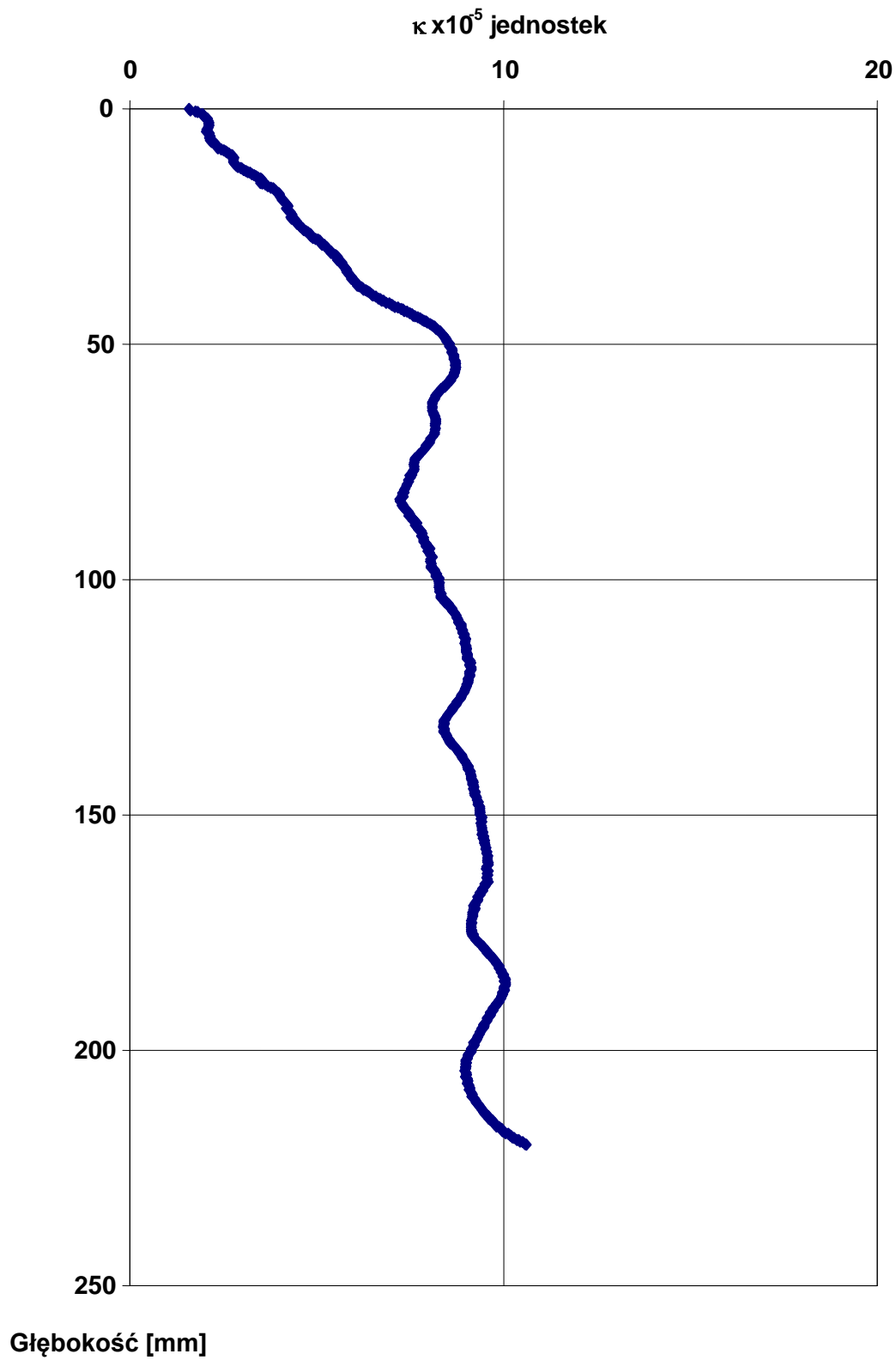


Wyniki badań powierzchniowej podatności magnetycznej potwierdzone zostały przez analizy pionowego rozkładu podatności magnetycznej. Rozkłady pionowe podatności magnetycznej nie różniły się znacząco. Reprezentatywne 2 profile pionowe rozkładu wartości  $\kappa$  wykonane w rejonie piezometrów 1 i 16 przedstawiono na rys. 14.2 i 14.3). W obydwu profilach pionowych wartość podatności nie przekracza (podobnie jak w badaniach powierzchniowych) wartości  $10 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych. Maksimum wartości  $\kappa$  odnotowywano na ogół na głębokości od 5,0 do 10,0 cm.

Rys. 14.2. Rozkład pionowej podatności magnetycznej w sąsiedztwie piezometru nr 1



Rys. 14.3. Rozkład pionowej podatności magnetycznej w sąsiedztwie piezometru nr 16



Wyjątkowy wzrost podatności magnetycznej odnotowano na głębokości 18 cm w profilu piezometru nr 1. Fakt ten związany jest z wytrąceniem w postaci cienkiej warstwy tlenowodorotlenków żelaza bądź hematytu. Widoczne jest to makroskopowo w profilu glebowym w postaci rudawo zabarwionej warstewki. Nie są to jednak minerały ferrimagnetyczne, a paramagnetyki bądź antyferromagnetyki, o czym świadczy niewielka wartość bezwzględna tego poziomu (wzrost zaledwie do  $13 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych).

### **Podsumowanie**

W wyniku przeprowadzonych badań chemicznych wód i gleb mokradel w Leśnictwie Mariak (monitoring dioksynowy) i w Leśnictwie Doświadczalnym Marianka (magnetometria) nie stwierdzono istotnych procesów akumulacji zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Uzyskane wyniki badań porównano z odpowiednimi standardami jakości gleb (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. nr. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.), oraz z wartościami granicznymi wskaźników jakości wód powierzchniowych i podziemnych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. (Dz. U. nr 32, poz. 283 i 284).. Środowisko glebowo-wodne analizowanych obszarów mokradłowych pod względem chemicznym nie stanowi zagrożenia dla sąsiadujących kompleksów leśnych.

W przypadku gruntów stwierdzono, że z wyjątkiem kadmu, zawartość metali ciężkich nie przekraczała wartości przyjętych jako graniczne dla terenów najczystszych grupy A tzn. obszarów poddanych ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody. Zawartość kadmu w kilku punktach badawczych nieznaczne przekroczenia wartości dopuszczalne kadmu określone dla terenów chronionych, ale nie przekraczała wartości dopuszczalnych dla terenów grupy B tzn. gruntów zaliczonych do użytków rolnych, gruntów leśnych oraz zadrzewień.

Podwyższonej akumulacji metali ciężkich (po za żelazem) nie potwierdziły również przeprowadzone badania magnetometryczne. Przyjmuje się, że gleby niezanieczyszczone charakteryzują się naturalną podatnością magnetyczną (poniżej  $30 \times 10^{-5}$  jednostek). Podatność magnetyczna w przedziale od  $30 \times 10^{-5}$  do  $50 \times 10^{-5}$  jednostek wskazuje na podwyższoną

zawartość antropogenicznych ferrimagnetyków. Podatność magnetyczną od  $50 \times 10^{-5}$  do  $100 \times 10^{-5}$  jednostek uznaje się jako wysoką, a powyżej  $100 \times 10^{-5}$  jako bardzo wysoką. Średnia krajowa podatność magnetyczna dla gleb leśnych określona na podstawie Mapy Podatności Magnetycznej Gleb Polski wynosi  $22 \times 10^{-5}$  jednostek.

Badania powierzchniowej podatności magnetycznej gleb terenów mokradłowych wykazały, podwyższoną koncentrację żelaza, natomiast mały udział innych ferrimagnetyków. Wartości  $\kappa$  nie przekraczały  $10 \times 10^{-5}$  jednostek. Rozkład ferrimagnetyków był skorelowany z rodzajem badanych gleb.

Badania rozkładu pionowego podatności magnetycznej wykazały, że maksymalne wartości  $\kappa$  na ogół nie przekraczały wartości  $30 \times 10^{-5}$  jednostek. W większości punktów badawczych maksimum wartości  $\kappa$  odnotowywano na głębokości od 5,0 do 10,0 cm

#### Cytowana literatura:

- Beckwith P.R. Ellis J., Revitt D.M., Oldfield F. (1986): *Heavy metal and magnetic relationships for urban source sediments. Phys. Earth Planet Interiors*: 42, 67-75.
- Lis J. Pasieczna A. (1995): *Atlas Geochemiczny Polski. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.*
- Magiera T., Lis J., Nawrocki J., Strzyszczyk Z. (2002): *Podatność magnetyczna gleb Polski. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.*
- Magiera T., Strzyszczyk Z. (2000): *Ferrimagnetic minerals of anthropogenic origin in soils of some polish national parks. Water, Air and Soil Pollution 124. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands: 37-48.*
- Magiera T., Strzyszczyk Z., Ferdyn M., Gajda B. (2003): *Screening of anthropogenic dust pollutions in topsoil by using magnetic proxies. Environmental Engineering Studies. Edited by Pawłowski et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 399-407.*
- Olszowska G. (1997): *Aktywność enzymatyczna gleb leśnych w rejonie oddziaływania emisji huty cynku i ołowiu „Miasteczko Śląskie”. Prace Instytutu badawczego Leśnictwa, A, 835: 107-130.*
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. (Dz. U. nr 32, poz. 283 i 284).*
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. nr. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.).*
- Strzyszczyk Z., Magiera T. (2001): *Record of industrial pollution in Polish ombrotrophic peat bogs. Physics and Chemistry of the Earth, 26, 11-12: 859-866.*

- *Strzyszczyk Z., Magiera T., Bzowski Z. (2001): Rozkład przestrzenny ferromagnetyków w glebach leśnych województwa katowickiego i terenów ościennych. Materiały konferencyjne: poznawcze i praktyczne efekty badań prowadzonych w CPBP nr 03.11 w latach 1986-1990, PAN Zabrze: 226-242.*



## 15. PODSUMOWANIE

Odływ roczny z badanych terenów mokradłowych jest stosunkowo niewielki ok. 4-5 % sumy opadów rocznych. Cieki odprowadzają wodę okresowo, głównie w półroczu zimowym. Nie odnotowano typowych wezbrań, a jedynie podwyższone odpływy deszczowo-roztopowe lub deszczowe o zasilaniu podpowierzchniowym i gruntowym. Modelowanie odpływu z tych terenów, w szczególności odpływu wezbraniowego, jest poważnie ograniczone trudnościami w oszacowaniu opadu efektywnego. Możliwa jest adaptacja metody SCS CN dla terenów leśnych w celu obliczania opadów efektywnych. Dla modelowania wezbrań w leśnych terenach mokradłowych zasadne jest stosowanie modeli konceptualnych np. modelu Nasha.

Szczególnie cenne dla bioróżnorodności, ekosystemy mokradłowe w LKP Lasy Rychtałskie są zagrożone w stosunkowo nieodległej przyszłości deficytem wody. Szacunkowo można przyjąć, iż po ok. 100 latach nastąpi przesuszenie leśnych siedlisk obecnie ocenianych jako mokradłowe. Działając pragmatycznie należałoby dążyć do całkowitego zatrzymania odpływającej z tych terenów wody. Spowolni to nieco proces przesuszania, lecz zatrzymanie niewielkich odpływów z tych terenów (ok. 4-5% sumy rocznej opadów) w dłuższym okresie nie będzie w stanie powstrzymać degradacji mokradeł.

Przy szacowaniu miernika potencjalnej zdolności retencyjnej obszarów zalesionych w oparciu o pododdział uzyskuje się wyniki zbliżone do metod wykorzystujących jako powierzchnię elementarną raster. Jednak w tym przypadku w znacznym stopniu można rozszerzyć zakres zastosowanych charakterystyk do obiektywnej oceny tegoż miernika, jak i prowadzić obliczenia poprzez bezpośrednie korzystanie z informacji zawartych w bazach danych interesującego nas obiektu leśnego. Przedstawiona koncepcja obliczania wartości miernika potencjalnej zdolności retencyjnej stwarza możliwości do bardzo obiektywnego porównywania pomiędzy sobą interesujących nas obszarów.

Głębokość zalegania wody gruntowej stanowi jedną z podstaw klasyfikacji siedlisk leśnych. Wody gruntowe odgrywają bowiem kluczową rolę w ekosystemach leśnych, jako czynnik determinujący warunki siedliskowe korzystne lub niekorzystne dla określonych gatunków drzew. Wody gruntowe stanowią ważny element gospodarki wodnej danego terenu, jak również mogą być dobrym wskaźnikiem zmian retencji. Taki przebieg stanów wód gruntowych można wiązać z przebiegiem warunków meteorologicznych. Generalnie zgromadzona w półroczach zimowych woda jest następnie w półroczach letnich

wykorzystywana w intensywnym procesie transpiracji drzewostanów, co znacząco wpływa na obniżanie się zwierciadła wód gruntowych.

Przeprowadzone, w szerokim spektrum oznaczeń, standardowe badania chemiczne nie wykazały nadmiernej kumulacji zanieczyszczeń chemicznych w glebie oraz w wodach powierzchniowych i gruntowych LKP Lasy Rychtałskie. W szczególności poziom metali ciężkich nie przekraczał stosownych wartości przewidzianych w normach.

Sieć dróg leśnych jest podstawą udostępniania obszarów leśnych. Odpowiednio zaprojektowane, wykonane i utrzymane szlaki komunikacyjne są niezbędnym elementem trwałego i zrównoważonego rozwoju wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. Na terenach podmokłych, których dostępność jest okresowo ograniczona, drogi leśne umożliwiające realizowanie wszystkich funkcji lasu mają znaczenie szczególne. Badane drogi z nawierzchnią gruntową na podłożu bagiennym w okresie całego roku nie spełniały warunków nośności stawianych drogom leśnym. Nośność nawierzchni twardych nie ulepszonych zależała od poziomu lustra wód gruntowych w podłożu. Postuluje się aby używać do budowy dróg leśnych geowłókniny i geokraty. Analiza wyników badań na odcinkach dróg do budowy, których użyto geowłókniny i geokraty oraz samej tylko geowłókniny wskazuje, że wyniki są porównywalne. Dlatego też można stwierdzić, że użycie geokraty komórkowej do budowy dróg leśnych w warunkach dużego uwilgotnienia słabonośnego podłoża nie jest niezbędne. Podraża ono znacząco inwestycję, nie gwarantując zdecydowanego podniesienia nośności drogi.

Na terenie prawie całej Polski, w tym także na leśnych terenach mokradłowych, występują niedobory wody wynikające z niekorzystnych bilansów wodnych. Próbuje się temu niekorzystnemu zjawisku przeciwdziałać poprzez tzw. programy małej retencji. Syntetycznie ujmując, działania w ramach tych programów mają spowodować wydłużenie drogi i czasu obiegu wody w zlewniach z jednoczesnym zapewnieniem samooczyszczania się tychże wód. Wydaje się zasadne w programach tzw. małej retencji w lasach, w szczególności dla ochrony terenów mokradłowych, wykonywanie zabudowy cieków systemami małych, prostych zastawek. Jak wykazały przeprowadzone badania zdolność retencyjna zlewni, przy takiej zabudowie, dla odpływów wezbraniowych wzrasta aż o około 50%.

Prognozowanie, monitoring możliwych dróg rozprzestrzeniania się dioksyn w środowisku jest problemem bardzo złożonym ze względu na mnogość mediów, w których one występują oraz możliwych przemian chemicznych, biologicznych i metabolicznych, jakim podlegają. Monitoring biologiczny dotyczy przemian dioksyn w żywych organizmach, toksykologiczny - badań efektów porażennych określonej populacji, a chemiczny - sposobów

wykrywania, identyfikacji i oznaczania dioksyn w komponentach środowiska. Dioksyny poprzez migracje i kumulacje mogą stanowić bezpośrednie zagrożenie dla niektórych ekosystemów leśnych. W celu zachowania równowagi chemicznej monitoringiem dioksynowym powinny zostać objęte wybrane szczególnie cenne biotopy i biocenozy leśne zlokalizowane w sąsiedztwie głównych emiterów zanieczyszczeń chemicznych.

W wyniku przeprowadzonych badań chemicznych wód i gleb mokradeł w Leśnictwie Mariak (monitoring dioksynowy) i w Leśnictwie Doświadczalnym Marianka (magnetometria) nie stwierdzono istotnych procesów akumulacji zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Środowisko glebowo-wodne analizowanych obszarów mokradłowych pod względem chemicznym nie stanowi zagrożenia dla sąsiadujących kompleksów leśnych. Podwyższonej akumulacji metali ciężkich nie potwierdziły również przeprowadzone badania magnetometryczne. Przyjmuje się, że gleby niezanieczyszczone charakteryzują się naturalną podatnością magnetyczną (poniżej  $30 \times 10^{-5}$  jednostek). Badania powierzchniowej podatności magnetycznej gleb terenów mokradłowych wykazały, podwyższoną koncentrację żelaza, natomiast mały udział innych ferrimagnetyków. Wartości  $\kappa$  nie przekraczały  $10 \times 10^{-5}$  jednostek. Rozkład ferrimagnetyków był skorelowany z rodzajem badanych gleb. Badania rozkładu pionowego podatności magnetycznej wykazały, że maksymalne wartości  $\kappa$  na ogół nie przekraczały wartości  $30 \times 10^{-5}$  jednostek, z maksimum na głębokości 5÷10 cm.

## 16. STRATEGIA OCHRONY OBSZARÓW MOKRADŁOWYCH

Działania, które należy podejmować dla ochrony leśnych obszarów mokradłowych, szczególnie w Leśnych Kompleksach Promocyjnych, powinny przebiegać w następujących etapach:

- inwentaryzacja (opis stanu bieżącego – na podstawie opisów taksacyjnych, map szczegółowych, w szczególności numerycznych map wektorowych, opracowań – ekspertyz, o ile takie istnieją),
- identyfikacja zagrożeń abiotycznych (oszacowanie stosunków wodnych – na podstawie bilansów wodnych, stanów wód gruntowych, trendów zmian klimatycznych, głównie opadów atmosferycznych i temperatur powietrza, jakości wód powierzchniowych, gruntowych i gleb, nośności gruntów, zawartości substancji toksycznych w glebach i roślinach),
- identyfikacja zagrożeń biotycznych (rozpoznanie wskaźnikowych dla różnych typów mokradeł gatunków roślin i zwierząt),
- ustalenie zakresu ochrony biernej (ochrona prawna) i czynnej (określenie metod ochrony czynnej),
- ustalenie hierarchii zadań ochrony czynnej (określenie harmonogramu prac i ich zakresu, uwarunkowań prawnych, ekonomicznej zasadności oraz możliwości finansowych),
- bieżące monitorowanie i publikowanie raportów („śledzenie” efektów).

Ochrona leśnych obszarów mokradłowych może mieć charakter bierny i czynny.

Bierna ochrona polega na objęciu danego obszaru ochroną prawną i pozostawieniu go „w spokoju”, tzn. bez zbędnej ingerencji. To znaczy na zminimalizowaniu antropopresji: ograniczanie dopływu zanieczyszczeń punktowych i obszarowych poprzez tworzenie barier biogeochemicznych – głównie pasy drzew i krzewów, właściwą gospodarkę leśną – rębnie częściowe, stopniowe lub przerębne, ograniczenie zabiegów o charakterze sanitarnym i pielęgnacyjnym etc. (Na funkcjonowanie ekosystemów mokradłowych bardzo silnie wpływa tzw. strefa ekotonowa - styk mokradła i jego otoczenia.) O ile to możliwe mokradła leśne powinny funkcjonować bez zabiegów hodowlanych (naturalna sukcesja) z ograniczonym do

minimum użytkowaniem tych lasów. Również sieć dróg na obszarach mokradłowych powinna być ograniczona do niezbędnego minimum.

Duże znaczenie dla ochrony terenów mokradłowych miało ratyfikowanie przez Polskę Konwencji Ramsarskiej i innych międzynarodowych umów, mających ważne znaczenie dla obszarów wodno-błotnych. W prawie krajowym również można znaleźć coraz więcej ustaleń, które mogą stanowić podstawę ochrony przyrodniczej mokradeł (Ustawa o Ochronie Przyrody, Prawo Ochrony Środowiska, Prawo Wodne, Ustawa o Lasach i rozporządzenia Dyrekcji Lasów Państwowych, Prawo Geologiczne i Górnicze, Ustawa o Ochronie Gruntów Rolnych i Leśnych, Ustawa o Zagospodarowaniu Przestrzennym). Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej stworzyło również szanse wykorzystania kolejnych instrumentów ochrony przyrody (sieć obszarów chronionych Natura 2000).

Czynna ochrona to zazwyczaj melioracje wodne. Właściwymi wydają się te zabiegi, które nie ingerują zbyt w biotop i fitocenozę. Można zatem polecać działania proste i tanie z wykorzystaniem materiałów naturalnych. W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na zapobieganie odwodnieniu i odtworzenie zdegradowanych mokradeł w wyniku przesuszenia lub przesuszających się. Wskazówkami „czy i jak” należy postępować mogą być w dużej mierze dane archiwalne dotyczące analizowanego biotopu względnie obszarów sąsiednich. Szczególną uwagę należy zwrócić na mokradła zasilane ombrogenicznie, gdyż te w pierwszej kolejności mogą być zagrożone przesuszeniem. Spośród różnych sposobów ograniczania odpływu, zwiększania tzw. małej retencji należy wskazać na zasadność budowy stałych zastawek drewnianych na ciekach. Budowle takie są stosunkowo tanie, mogą być wykonane sposobem gospodarczym, nie wymagają obsługi oraz są stosunkowo odporne na wandalizm. Do innych, również zalecanych dla ograniczenia odpływu z mokradeł, budowli można zaliczyć: zastawki z tworzyw sztucznych, zastawki z regulowanym poziomem wody, regulowane zastawki betonowe (w ograniczonym zakresie), przelewy regulowane z elastyczną rurą, przegrody z torfu, progi denne, jak również likwidacje całych rowów melioracyjnych. Przygotowując projekty, a następnie wykonując inwestycje w terenie dotyczące ochrony mokradeł należy zwrócić uwagę na możliwe przywrócenie naturalnego charakteru cieków, odtworzenie drobnych zbiorników wodnych oraz na optymalne ukształtowanie ewentualnych sztucznych zbiorników wodnych w tym i stawów rybnych (urozmaiconą budową morfologiczną). Specyficznym typem zbiorników są tzw. stawy bobrowe, powstające w wyniku spiętrzenia wody w ciekach przez bobry. Działalność ich ma istotny wpływ na charakter cieków i ich dolin (podwyższanie poziomu wody, zmiana

struktury i składu gatunkowego roślinności w dolinie, odtworzenie lub zwiększenie populacji bezkręgowców, ryb, płazów, ptaków i drobnych ssaków).

Ochrona bierna wydaje się zasadna dla niezdegradowanych leśnych obszarów mokradłowych takich jak np. olsy i łągi źródliskowe, naturalne bory i brzeziny bagienne. Natomiast ochroną czynną powinny być objęte obszary zdegradowane np. przesuszone olsy i łągi, przesuszone bory bagienne.

Wybór właściwej technologii budowy drogi leśnej na terenach mokradłowych zależy od rodzaju gruntu stanowiącego naturalne podłoże drogowe, jak również od wcześniejszych sposobów jego wzmocnienia oraz użytych do tego celu materiałów.

Podłoże gruntowe dróg wiodących przez tereny zabagnione najczęściej należy do „słabonośnych”. Najniższą nośnością cechują się grunty organiczne. Im słabszy rozkład warstwy organicznej oraz grubsze złoże i płytsze jego zaleganie, tym gorsze warunki nośności. W przypadku mineralnych gruntów zabagnienie powstaje, gdy w profilu podłoża występują utwory o niskiej przepuszczalności (piaski gliniaste, pyły, gliny, gliny zwięzłe, ropy). W warunkach płytko zalegającego zwierciadła wód gruntowych, podłoże takie odznacza się wysoką wysadzinowością oraz niską nośnością.

W przypadku płytko zalegających gruntów organicznych należy usunąć warstwę organiczną zastępując ją gruntem mineralnym o wyższej nośności (piaski grube, średnie lub ewentualnie drobne). Wymiana gruntu jest zabiegiem kosztownym. Ponadto, jeżeli droga gruntowa wcześniej była wzmocniana gruzem, żużlem, tłuczniem lub narzutem kamiennym, usuwanie tej warstwy jest zabiegiem nieopłacalnym, gdyż z gruntem usuwamy cenny materiał gruboziarnisty, który korzystnie wpływa na właściwości mechaniczne podłoża. W takim przypadku należy wyprofilować podłoże, rozłożyć geowłókninę, wprowadzić warstwę odsączającą o grubości po zagęszczeniu 0,20-0,30 m. Na takiej podbudowie możemy wykonywać dowolną konstrukcję nawierzchni.

W celu uzyskania nawierzchni o wyższej nośności do jej konstrukcji wprowadzamy geoeokratę. Należy wówczas warstwę odsączającą rozłożyć na wyrównanym i zagęszczonym gruncie podłoża. Na zagęszczoną warstwę odsączającą rozkładamy geowłókninę, na niej rozpinamy geokratę o wysokości 0,10 m i całość zasypujemy dobrze zagęszczającym się materiałem. Grubość zagęszczanej warstwy powinna być wyższa o 8 cm od górnej krawędzi geoeokraty. Nośność tej nawierzchni w dużej mierze zależy od dobrego zagęszczenia zasyпки.

Budowa nawierzchni dróg leśnych na obszarach mokradłowych z udziałem geosyntetyków polimerowych jest wskazana, ponieważ materiały te są nietoksyczne oraz nie ulegają biodegradacji w zakwaszonym środowisku wodno-gruntowym.

Materiały zalecane na wykonanie warstwy górnej (zasypka), bezpieczne dla środowiska to: pospółka lub pospółka gliniasta, kliniec o uziarnieniu 0-31 mm, tłuczeń drobny, niesort tłuczniowy oraz żwiry niesortowane.

Powyższe wskazania, instrukcje, wytyczne mają oczywiście charakter ogólny. Nie jest bowiem możliwe wskazanie uniwersalnego szczegółowego algorytmu postępowania „dla każdego” obszaru mokradłowego. Szczegółowe rozwiązania, ustalenie metod postępowania etc. możliwe są dopiero po szczegółowym zinventaryzowaniu obszaru mokradłowego. W przypadkach konkretnych lokalizacji leśnych obszarów mokradłowych ocena lokalnych warunków fizyczno-geograficznych oraz ich wpływu na warunki wodne może dać podstawę do wnioskowania odnośnie przyczyn niekorzystnych zmian stosunków wodnych na obszarach mokradłowych. Niektóre z czynników mogą być w różnym stopniu kontrolowane m.in. przez stosowanie odpowiednich zabiegów z zakresu gospodarki leśnej, stosowanie zabiegów z zakresu inżynierii środowiska, w tym rozwiązań technicznych z zakresu małej retencji. Inne czynniki praktycznie pozostają poza kontrolą. W warunkach długookresowej zmienności klimatu Polski naturalne obszary bagienne cechują się zmiennymi, zależnymi od przebiegu warunków termiczno-opadowych zasobami wodnymi. Z powyższych względów w przypadkach konkretnych lokalizacji wskazane jest dokonanie oceny możliwości kształtowania stosunków wodnych na leśnych obszarach mokradłowych oraz przyjęcia konkretnych rozwiązań.

Przedstawione we wcześniejszych rozdziałach wyniki badań i wskazania dla obszarów mokradłowych Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie mają zatem stanowić inspirację i wskazówki dla podejmowania ochrony mokradeł w innych Leśnych Kompleksach Promocyjnych, czy też innych analogicznych obszarach.

## Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników kilkuletnich kompleksowych badań terenowych (hydrologicznych, chemicznych i geotechnicznych) na obszarach mokradłowych Leśnego Kompleksu Promocyjnego (LKP) Lasy Rychtalskie w celu charakterystyki stanu obecnego, prognozy zmian oraz wskazania zagrożeń stabilności tych obszarów.

Leśne Kompleksy Promocyjne są obszarami funkcjonalnymi w szczególności o znaczeniu ekologicznym, edukacyjnym i społecznym. LKP „Lasy Rychtalskie” swoją nazwę przyjął od lasów położonych na terenie obrębu Rychtal Nadleśnictwa Syców. Lasy tego obrębu słyną z ekotypu sosny zwyczajnej, o niepowtarzalnych walorach genetycznych, potwierdzonych w badaniach naukowych.

Badania terenowe prowadzono na terenach mokradłowych LKP Lasy Rychtalskie. Do badań szczegółowych wybrano 3 powierzchnie doświadczalne, mikrozewnie oraz 6 transektów poprzecznych do dróg leśnych położonych albo w ramach ww. zlewni, albo w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Wytypowane mikrozewnie są tak usytuowane, iż leżą w całości na terenach mokradłowych. Na powierzchniach doświadczalnych zainstalowano 51 studzienek do pomiarów wód gruntowych oraz 3 przelewy Thomsona na ciekach. Ze wszystkich odwiertów pobrano próbki gleb do standardowych badań laboratoryjnych własności mechanicznych, fizycznych i chemicznych oraz fizyko-wodnych.

Obszary mokradłowe w tym kompleksie charakteryzują się bardzo dużymi zdolnościami retencyjnymi. Odpływ roczny jest stosunkowo niewielki, ok. 4 % sumy opadów rocznych, i występuje tylko w półroczu zimowym i w maju. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że model Nasha daje zadowalające wyniki symulowania odpływu ze zlewni w leśnych terenach mokradłowych. Obliczanie opadu efektywnego modelem SCS-CN ma ograniczone zastosowanie dla obszarów mokradłowych. Wody gruntowe zalegają płytko ok. 1 m p.p.t. Prognozę zmian stosunków wodnych na badanych terenach wyrażającą się zmianami stanów wód gruntowych oparto na ujemnym rocznym trendzie opadów atmosferycznych. Założono, że istotne zmiany w ekosystemach mokradłowych będą zachodzić, gdy średni poziom wód gruntowych spadnie o co najmniej 50 % obecnego stanu. Można szacować, że nastąpi to po ok. 100 latach. Działając pragmatycznie należałoby dążyć do całkowitego zatrzymania odpływającej z tych terenów wody. W pracy przedstawiono łatwą w zastosowaniu metodę oceny obszarów leśnych pod względem potencjalnych zdolności retencyjnych. Bazuje ona m.in. na standardowych danych zgromadzonych w bazach tworzonych w trakcie prac urzędniowych w lasach.



Przeprowadzone badania chemiczne nie wykazały nadmiernej kumulacji zanieczyszczeń chemicznych w glebie oraz w wodach powierzchniowych i gruntowych LKP Lasy Rychtałskie.

Drogi z nawierzchnią gruntową na podłożu bagiennym w okresie całego roku nie spełniały warunków nośności stawianych drogom leśnym. Nośność nawierzchni twardych nie ulepszonych zależała od poziomu lustra wód gruntowych w podłożu.

**Słowa kluczowe:** leśne tereny mokradłowe, infrastruktura technicza

## Summary

The aim of the paper is to illustrate the results of the long-term research performed on swamp areas of the Forest Promotional Complex (FPC) "Lasy Rychtałskie". The research project comprehended hydrological, chemical and geotechnical field studies performed on forest swamp areas to assess current state conditions of forest management and forest ecosystems, predict changes and identify the threats to ecosystem stability.

The Forest Promotion Complexes are a functional areas in peculiarities about to ecological meaning, educational and social. The own name FPC "Lasy Rychtałskie" is accepted from a situated forests on precinct Rychtal of Forest Inspectorate Syców. This forests of precinct are celebrated from ekotype ordinary pine, about unrepeatable genetic values, confirmed in scientific investigations.

The study covered forest swamp areas of the FPC "Lasy Rychtałskie". To detailed investigations are selected three experimental areas, microcatchments and 6 transects transverse to forest roads situated or in frames above mentioned areas or in their immediate nearness. Chosen microcatchments are situated, that lie in wholes on marshland areas. On experimental areas are installed 51 of wells to measurements of ground water levels and 3 Thomson overflows on rivers. From all of bore-holes were received samples of soils to standard researches in laboratory – mechanical, physical, chemical and water properties.

The area has high retention potential. Surface outflow is relatively low ca 4% of annual precipitation and occurs in the winter half-year extending into May. The study justifies the conclusion that the linear reservoir model returns the adequate outcome of runoff simulation for catchments located in forest swamp areas. The groundwater level is shallow in investigated sites at ca 1m b.g.s. The prognosis of groundwater level changes expressed by groundwater level dynamics was created on the basis of negative annual rainfall trend. The projection was calculated on assumption that significant changes in forest swamp ecosystems

would occur provided that average groundwater depth level decrease by 50% of the actual groundwater level depth. The reduction of groundwater level depth as the outcome of this scenario can be expected in 100-year period. The reasonable water management preventive measures against negative effects of hydrological processes stimulating groundwater level depth decrease on forest swamp ecosystems is stopping of the outflow from the area. The study included a task of developing and implementation easy-to-use method of potential water storage assessment for forest areas. The method bases on utilization of data stored in databases typically prepared for the forest inventory purposes.

The chemical analysis of investigated sites of FPC “Łasy Rychtalskie” as far as surface and groundwater is concerned has not returned the results justifying the conclusion that the concentration of pollutant compounds is higher than the natural concentration of these compounds.

The dirt roads located on swampy soils through entire annual period did not meet the bearing strength standards required for the forest communication network. The bearing strength of paved roads depended on local dynamics of groundwater level.

**Key words:** forest swamps areas, technical infrastructure