



CENTRUM DORADZTWA ROLNICZEGO W BRWINOWIE

# INNOWACYJNE METODY GOSPODAROWANIA ZASOBAMI WODY W ROLNICTWIE

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich:  
Europa inwestująca w obszary wiejskie.”

Institucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich  
na lata 2014-2020 - Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Publikacja opracowana przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie,  
współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Krajowej Sieci  
Obszarów Wiejskich Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020



Krajowa Sieć  
Obszarów Wiejskich



# **INNOWACYJNE METODY GOSPODAROWANIA ZASOBAMI WODY W ROLNICTWIE**

Praca zbiorowa pod redakcją:

**Wiesława Dembka  
Jana Kusia  
Mirośława Wiatkowskiego  
Grzegorza Żurka**

Brwinów 2016



# **INNOVATIVE METHODS OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN AGRICULTURE**

joint publication  
edited by:

**Wiesław Dembek  
Jan Kuś  
Mirośław Wiatkowski  
Grzegorz Żurek**

Brwinów 2016



## **Centrum Doradztwa Rolniczego**

05-840 Brwinów, Pszczelińska 99

tel. 22 729 66 34 do 38

e-mail: sekretariat@cdr.gov.pl

www.cdr.gov.pl

### **Autorzy:**

Katarzyna Adamczewska-Sowińska, Kazimierz Banasik, Małgorzata Dawid, Wiesław Dembek, Andrzej Doroszewski, Łukasz Dworzak, Zbigniew Gronostajski, Agnieszka Hejduk, Leszek Hejduk, Grzegorz Janik, Tomasz Kałuża, Ewa Kanecka-Geszke, Marcin Kaszuba, Jan Kazak, Ewa Kaznowska, Piotr Koza, Jerzy Kozyra, Jan Kuś, Józef Lipiński, Jurik Lubos, Leszek Łabędzki, Artur Łopatka, Mariusz Matyka, Waldemar Mioduszewski, Katarzyna Mizak, Anna Nieróbca, Wojciech Nowacki, Tomasz Okruszko, Tadeusz Oleksiak, Ryszard Pokładek, Kamil Prokopiuk, Rafał Pudełko, Jacek Reiner, Krystyna Rybka, Katarzyna Sabura-Mielnik, Wojciech Skierucha, Józef Sowiński, Szymon Szewrański, Agnieszka Szyplowska, Amadeusz Walczak, Rafał Wawer, Mirosław Wiatkowski, Franciszek Wielebski, Andrzej Wilczek, Karol Wolski, Marek Wójtowicz, Elżbieta Wróblewska, Grzegorz Żurek

### **Recenzenci:**

prof. dr hab. inż. Stanisław Kostrzewa  
prof. dr hab. inż. Waldemar Mioduszewski  
prof. dr hab. Barbara Zagdańska

### **Korekta:**

Daria Mularczyk-Mędza  
Marek Przekop

### **Redakcja techniczna:**

Iwona Obojska  
Daria Mularczyk-Mędza

### **Skład, łamanie, opracowanie graficzne:**

Marek Przekop

### **Wydawca:**

Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie

Nakład: 300 egz.

ISBN: 978-83-88082-18-4

## SPIS TREŚCI

<b>SPIS TREŚCI</b>	<b>5</b>
<b>PRZEDMOWA</b>	<b>7</b>
<b>ROZDZIAŁ I</b>	
<b>GOSPODARKA WODNA – PROBLEMY HYDROLOGICZNE</b>	<b>9</b>
Innowacyjne metody tworzenia małej retencji <i>Waldemar Mioduszewski</i> .....	11
Przegląd wybranych problemów gospodarki wodnej na obszarze zlewni rzek <i>Mirosław Wiatkowski</i> .....	27
Rola i znaczenie małych budowli melioracyjnych w kształtowaniu zasobów wodnych w zlewniach niezurbanizowanych <i>Tomasz Kałuża</i> .....	61
Stan, potrzeby i uwarunkowania rozwoju melioracji w polsce <i>Józef Lipiński</i> .....	79
Zasoby wodne małej zlewni Niziny Mazowieckiej <i>Ewa Kaznowska, Kazimierz Banasik, Agnieszka Hejduk, Leszek Hejduk</i> .....	91
Krajowy system monitoringu suszy rolniczej jego podstawy metodyczne i możliwości wykorzystania <i>Andrzej Doroszewski, Elżbieta Wróblewska, Rafał Pudełko, Katarzyna Mizak, Piotr Koza, Anna Nieróbca</i> .....	105
Zarządzanie przestrzenią na terenach wiejskich z wykorzystaniem systemu wsparcia decyzyjnego Communityviz <i>Katarzyna Sabura-Mielnik, Szymon Szewrański, Jan Kazak</i> .....	129
<b>ROZDZIAŁ II</b>	
<b>GOSPODARKA WODNA – AGROTECHNIKA</b>	<b>145</b>
Rola warunków siedliskowych i agrotechniki w poprawie gospodarki wodnej roślin <i>Jan Kuś</i> .....	147
Systemy wspomaganie decyzji w nawodnieniach upraw rolniczych <i>Rafał Wawer, Mariusz Matyka, Artur Łopatka, Jerzy Kozyra</i> .....	165
Innowacyjna koncepcja nawadniania i nawożenia <i>Grzegorz Janik, Amadeusz Walczak, Małgorzata Dawid, Ryszard Pokładek, Katarzyna Adamczewska-Sowińska, Karol Wolski, Józef Sowiński, Zbigniew Gronostajski, Jacek Reiner, Marcin Kaszuba, Łukasz Dworzak, Wojciech Skierucha, Agnieszka Szyplowska, Andrzej Wilczek, Jurik Lubos</i> .....	183
Wpływ glebowej materii organicznej na gospodarkę wodną gleby <i>Jan Kuś</i> .....	195
Wybrane problemy gospodarowania wodą w siedliskach mokradłowych <i>Wiesław Dembek, Tomasz Okruszko</i> .....	213

### ROZDZIAŁ III

## GOSPODARKA WODNA – PRODUKCJA ROŚLINNA

227

Poszukiwanie form roślin wieloletnich o podwyższonej odporności na suszę na przykładzie traw <i>Grzegorz Żurek, Kamil Prokopiuk</i> .....	229
Deficyty wody i potrzeby nawodnień roślin uprawnych w Polsce <i>Leszek Łabędzki, Ewa Kanecka-Geszke</i> .....	241
Okresowe niedobory wody a postęp biologiczny w hodowli zbóż <i>Krystyna Rybka, Tadeusz Oleksiak</i> .....	261
Racjonalne i oszczędne gospodarowanie zasobami wodnymi w produkcji ziemniaków <i>Wojciech Nowacki</i> .....	273
Reakcja rzepaku na warunki wilgotnościowe oraz znaczenie zabiegów agrotechnicznych i prac hodowlanych w przeciwdziałaniu efektom niedoboru opadów <i>Marek Wójtowicz, Franciszek Wielebski</i> .....	287

## Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych utrudnień, które dotyczą polskie rolnictwo jest niedobór wody. Następujące w przyrodzie zmiany klimatyczne są coraz bardziej odczuwalne w tym sektorze, a to właśnie rolnictwo jest największym konsumentem wody - wykorzystuje około 70% światowych zasobów.

Ze względu na wzrost liczby ludności na Ziemi (obecnie liczba ludności przekracza 7 miliardów, przewiduje się, że do 2050 r. osiągnie 9 miliardów), a co za tym idzie wzrost zapotrzebowania na żywność, a także rozwój przemysłu i miast, niedobór wody staje się istotnym problemem.

Wraz ze zmianami klimatycznymi coraz częściej mamy do czynienia z występowaniem zjawisk ekstremalnych takich jak ulewy, burze, grad, powodzie czy też susze związane z długimi okresami bezopadowymi. Wzrost temperatury powietrza powoduje zwiększenie parowania, a zatem ta sama ilość opadu przy jednoczesnym wzroście temperatury sprawia, że więcej wody oddawane jest do atmosfery w postaci pary wodnej, co zmniejsza ilość dostępnej wody chociażby dla roślin. Zjawiska te prowadzą do znaczących strat w plonach roślin uprawnych.

Rolnictwo jest nie tylko głównym konsumentem wody ale uznaje się je także za największe źródło jej zanieczyszczenia. Niewłaściwe nawożenie czy też przechowywanie nawozów organicznych i mineralnych może dostarczać do wód duże ilości azotu i fosforu. Przeciwdziałanie skutkom powyższych zjawisk wymaga od rolników coraz większej wiedzy oraz wielokierunkowości działań. Tylko tak można skutecznie reagować na zachodzące zmiany klimatyczne.

Wychodząc naprzeciw problemom, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie zrealizowało konferencję pn. „Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie”, podczas której zaprezentowano najnowsze wyniki badań, dzięki którym gospodarowanie zasobami wody może być bardziej racjonalne i ekonomiczne. Konferencja była objęta patronatem honorowym Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz patronatami naukowymi Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Państwowego Instytutu Badawczego, Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego, Instytutu Uprawy Nawożenia i Glegoznawstwa w Puławach Państwowego Instytutu Badawczego oraz Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Uczestnikami byli członkowie związków rolników i grup producentów rolnych, doradcy rolniczy, przedstawiciele regionalnych zarządów gospodarki wodnej, wojewódzkich zarządów melioracji i urzędzeń wodnych oraz spółek wodnych, pracownicy uczelni wyższych i instytutów badawczych, a także przedstawiciele samorządów terytorialnych.

Pierwszego dnia konferencji odbyły się wykłady wprowadzające w tematykę najważniejszych problemów związanych z gospodarką wodną w Polsce. Drugiego dnia przeprowadzono trzy panele dyskusyjne pn.: „Gospodarka wodna – agrotechnika”, „Gospodarka wodna - problemy hydrologiczne” oraz „Gospodarka wodna - produkcja roślinna”. Spotkanie dało możliwość wielopodmiotowego podejścia do spraw gospodarowania wodą na terenach wiejskich, a także bezpośredniego nawiązania kontaktów pomiędzy poszczególnymi grupami uczestników.

Pokłosiem konferencji jest niniejsza publikacja naukowa pod tym samym tytułem. Książka składa się z 3 rozdziałów, poruszających problemy hydrologiczne, agrotechniczne oraz produkcji roślinnej.





Zarówno konferencja jak i publikacja zostały zrealizowane w ramach działalności **Sieci na rzecz innowacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich** (SIR). Głównym celem Sieci jest wspieranie innowacji w rolnictwie, produkcji żywności, leśnictwie i na obszarach wiejskich. Wsparcie, o którym mowa polega w szczególności na ułatwieniu tworzenia oraz funkcjonowania sieci kontaktów pomiędzy rolnikami, podmiotami doradczymi, jednostkami naukowymi, przedsiębiorcami sektora rolno-spożywczego oraz pozostałymi podmiotami wspierającymi wdrażanie innowacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich; umożliwieniu wymiany wiedzy fachowej oraz dobrych praktyk w zakresie innowacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich oraz na udzielaniu pomocy w tworzeniu grup operacyjnych EPI, które będą realizować projekty w ramach działania „Współpraca” PROW 2014-2020. Zadania Sieci są realizowane na poziomie krajowym przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, zaś na poziomie wojewódzkim przez Wojewódzkie Ośrodki Doradztwa Rolniczego.

*Daria Mularczyk-Mędza  
Iwona Obojska  
Dział Innowacji w Rolnictwie  
Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie*

# ROZDZIAŁ I

## GOSPODARKA WODNA – PROBLEMY HYDROLOGICZNE



- INNOWACYJNE METODY TWORZENIA MAŁEJ RETENCJI
- PRZEGLĄD WYBRANYCH PROBLEMÓW GOSPODARKI WODNEJ NA OBSZARZE ZLEWNI RZEK
- ROLA I ZNACZENIE MAŁYCH BUDOWLI MELIORACYJNYCH W KSZTAŁTOWANIU ZASOBÓW WODNYCH W ZLEWNIACH NIEZURBANIZOWANYCH
- STAN, POTRZEBY I UWARUNKOWANIA ROZWOJU MELIORACJI W POLSCE
- ZASOBY WODNE MAŁEJ ZLEWNI NIZINY MAZOWIECKIEJ
- KRAJOWY SYSTEM MONITORINGU SUSZY ROLNICZEJ JEGO PODSTAWY METODYCZNE I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA
- ZARZĄDZANIE PRZESTRZANIĄ NA TERENACH WIEJSKICH Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU WSPARCIA DECYZYJNEGO COMMUNITYVIZ



# INNOWACYJNE METODY TWORZENIA MAŁEJ RETENCJI

Waldemar Mioduszewski<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Zmienność sezonowa i przestrzenna zasobów wodnych, zagrożenia dla działalności człowieka wynikające z cyklicznie występujących ekstremalnych zjawisk przyrodniczych, jakimi są powódzie i susze, jest przyczyną podejmowania szeregu działań dla ograniczenia negatywnych skutków tych zjawisk. Coraz szersze zastosowanie w ochronie i kształtowaniu zasobów wodnych znajduje „mała retencja”, jako działanie nienaruszające walorów przyrodniczych rzek i dolin rzecznych. W zakres małej retencji wchodzi działania techniczne i nietechniczne, przyczyniające się do zwiększenia potencjalnej zdolności retencyjnej niewielkich zlewni. Podstawowym elementem małej retencji są wszelkiego typu działania powodujące zahamowanie szybkiego odpływu wód opadowych i roztopowych. Zalicza się do nich m.in. odpowiednie kształtowanie przestrzeni rolniczej, ochronę terenów bagiennych, eksploatację systemów melioracyjnych, małe zbiorniki wodne. W pracy opisano podstawowe działania z zakresu małej retencji.

**Słowa kluczowe:** zasoby wodne, gospodarka wodna, dorzecze, rolnictwo, ochrona środowiska.

## WPROWADZENIE

Woda w środowisku przyrodniczym spełnia wiele funkcji. Jako środek produkcji decyduje o ilości i niezawodności plonów, jest podstawowym czynnikiem rozwoju gospodarczego i cywilizacyjnego. Jednocześnie kształtuje zróżnicowanie elementów biologicznych i jest niezbędna do zachowania walorów przyrodniczych. Zasoby wodne charakteryzują się dużą zmiennością sezonową i przestrzenną. Występujące ekstremalne zjawiska, jakimi są powódzie i susze, powodują niekiedy duże straty w gospodarce i środowisku przyrodniczym. Na skutek różnych działań gospodarczych uległa zmniejszeniu naturalna zdolność retencyjna zlewni, a jednocześnie usprawnione zostały drogi odpływu, co powoduje, że wody opadowe i roztopowe odprowadzane są szybko do rzeki. Tym samym wzrastają zagrożenia powodziowe i zwiększają się okresy występowania susz (Gutry-Korycka i inni, 2003). Ograniczenie zagrożeń powodziowych i skutków suszy jest jednym z zadań gospodarki wodnej. Ważnym elementem zarządzania zasobami wodnymi może być mała retencja polegająca na zwiększaniu potencjalnych zdolności retencyjnych zlewni rzecznych z wykorzystaniem metod nietechnicznych, przyjaznych dla środowiska przyrodniczego

Podstawowym zadaniem gospodarki wodnej na najbliższe lata powinny być prace zmierzające do spowolnienia odpływu wody ze zlewni, zwiększenie zdolności retencyjnej zlewni przy zastosowaniu metod w możliwie małym stopniu wywierających negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze. Takie metody reprezentują działania nazywane małą retencją. Ich zasadniczym celem jest zatrzymanie wód opadowych i roztopowych w miej-

<sup>1</sup> Waldemar Mioduszewski – Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, e-mail: w.mioduszewski@itp.edu.pl



scu ich powstawania, hamowanie szybkiego spływu powierzchniowego, ograniczanie niekorzystnych skutków działań człowieka i próba odtworzenia naturalnej zdolności retencyjnej zlewni rzecznych (Mioduszewski i Dembek, 2010). Takie podejście jest w dużym stopniu realizacją Ramowej Dyrektywy Wodnej, jak również tzw. Dyrektywy Powodziowej (Dyrektywa 2000/60/EC, Dyrektywa 2007/60/WE).

## MATERIAŁ I METODY

Pomimo dość długiej historii (odkrycia archeologiczne wykazują, że woda była retencjonowana równoległe z rozwojem rolnictwa), pojęcie „mała retencja” nie jest do końca zdefiniowane. W bardzo szerokim ujęciu można przyjąć, że są to wszelkie działania techniczne i nietechniczne zmierzające do poprawy struktury bilansu wodnego zlewni rzecznej poprzez zwiększenie jej naturalnej zdolności retencyjnych. Przy takim założeniu możliwe jest przyjęcie, że woda opadowa retencjonowana jest na powierzchni terenu (retencja siedliskowa), w porach gleby (strefa aeracji) oraz w zbiornikach wód powierzchniowych (stawy, rzeki, jeziora itp.), jak również w geologicznych warstwach wodonośnych. Takie ujęcie jest nowym podejściem do gospodarki wodnej na terenach wiejskich. Dotychczas gospodarka wodna polegała na regulacji zasobów wód powierzchniowych i ocenie zasobów wód podziemnych. W nowym ujęciu rozpatruje się całość zasobów wodnych w zlewni wynikającą z wielkości opadów atmosferycznych. Dużą uwagę przywiązuje się do zasobów wodnych retencjonowanych w glebie i możliwości działań dla zwiększenia zasobów wód podziemnych (Mioduszewski, 2004).



Rys. 1. Woda opadowa jest bezpłatna – można retencjonować dowolną ilość, w odróżnieniu od tej pobieranej z rzeki lub warstw wodonośnych, za pobór której niedługo wprowadzone zostaną opłaty; wymaga tego Ramowa Dyrektywa Wodna, jako realizacji „zwrotu kosztów usług wodnych” (afisz Towarzystwa Rain Water Harvesting)



Często stosowanym podziałem małej retencji jest rozróżnienie działań technicznych od działań nietechnicznych. Pod działaniami nietechnicznymi rozumie się wszystkie prace, za wyjątkiem wymagających wykonania specjalnych urządzeń wodnych (budowli hydrotechnicznych) dla popiętrzenia lub zmagazynowania wody. Należy zwrócić uwagę, że przy działaniach nietechnicznych niekiedy wymagane jest wykonanie budowli wodnej, są to jednak budowle pomocnicze, służące realizacji celu głównego. Takim przykładem mogą być prace związane z renaturyzacją terenów bagiennych, lub meandryzacją cieków. Niezbędne jest tu wykonanie budowli pomocniczych (zastawek, progów) dla realizacji celu głównego, tj. podwyższenia poziomu wody na odtwarzanym obiekcie.



Rys. 2. Schematyczny podział małej retencji wodnej na działania techniczne i nietechniczne – wydzielono tu również działania związane z eksploatacją urządzeń wodnych, które umożliwiają regulowanie retencji na obiektach melioracyjnych

Mała retencja jest typowo polskim pojęciem i jest niezrozumiała po jego przetłumaczeniu (small retention) na język angielski. Ostatnio, Komisja Europejska zwraca uwagę na potrzebę proekologicznego retencionowania wody w zlewniach dla potrzeb ograniczenia zagrożeń powodziowych i zmniejszenia skutków występujących susz, używając sformułowania „naturalna retencja wodna”. Zakres naturalnej retencji wodnej przedstawiono w tab. 1. Widoczne jest, że polskie pojęcie „mała retencja” mieści w całości zakres proponowany przez KE.

Tab. 1. Naturalna retencja wodna wg materiałów Komisji Europejskiej (źródło: Natural..., 2012)

Typ	Klasa	Metody
Modyfikacja ekosystemu	Hydromorfologia (rzeki, jeziora, wody podziemne, mokradła)	Renaturyzacja i utrzymanie rzek, jezior, warstw wodonośnych Przebudowa zalewanych dolin, likwidacja wałów przeciwpowodziowych
Zmiany w użytkowaniu ziemi i zarządzanie gospodarką wodną	Rolnictwo	Odbudowa i utrzymanie łąk, pastwisk, pasów buforowych Ochrona gleb, mulczowanie, utrzymanie enklaw ekologicznych (zielone obszary)
	Leśnictwo i pastwiska	Zadrzewienia górnych terenów zlewni, przechwytywanie opadów, utrzymanie ciągłości lasów, strefy buforowe, działania dla poprawy jakości wody
	Tereny zurbanizowane	Zielone dachy, zbiór wody, przepuszczalne nawierzchnie ulic, deszczowe ogrody – zbiorniki na wody deszczowe, odbudowa kanałów miejskich

Realizacja małej retencji wodnej jest w pewnym sensie spełnieniem zaleceń zarówno polskiego Prawa wodnego, jak i Ramowej Dyrektywy Wodnej. Powszechna realizacja małej retencji, zarówno metod technicznych jak i nietechnicznych, wywiera istotny wpływ na obieg wody w zlewni. Zwrócić należy jednak uwagę, że mała retencja zalicza się do tzw. retencji niesterowalnej. Poprzez rozwój tych form retencionowania wody zwiększa się potencjalne możliwości gromadzenia wody. Nie można jednak sterować tą retencją jak na przykład retencja dużego zbiornika wodnego.

## WYNIKI BADAŃ I ANALIZ RETENCJI NATURALNEJ

### Kształtowanie krajobrazu rolniczego, retencja dolinowa

Na obieg wody w zlewni rzecznej duży wpływ wywiera sposób jej zagospodarowania i rodzaj użytkowania. Znacznie łagodniejsze wezbrania występują w zlewniach z dużym udziałem lasów i terenów bagiennych w porównaniu do odpływu ze zlewni gdzie przeważają grunty orne (Ciepielowski i Dąbkowski, 1997; Gutry-Korycka i inni, 2003).

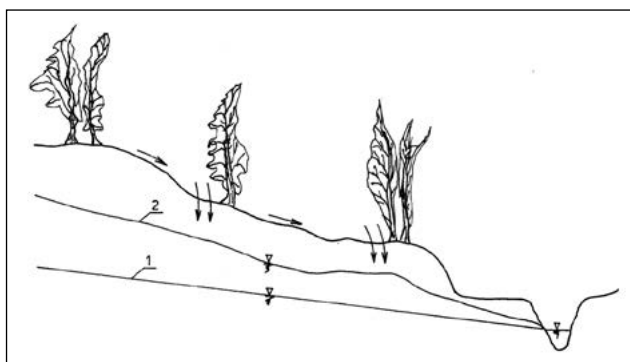
Na obieg wody w zlewni mogą mieć korzystny lub niekorzystny wpływ takie elementy jak udział lasów, użytków rolnych, terenów zabudowanych, położenie sieci dróg i innych szlaków komunikacyjnych, stan cieków wodnych, wielkość jezior i zbiorników wodnych. Te elementy jako regulatory obiegu wody powinny być brane pod uwagę przy sporządzaniu planów zagospodarowania przestrzennego. Poniżej przedstawia się krótkie charakterystyki niektórych działań.

**Lasy, zalesienia.** Lasy są jednym z większych konsumentów wody (duża ewapotranspiracja), ale również mają zdolność zatrzymywania wody i jej retencionowania. Szczególnie lasy zróżnicowane gatunkowo z bogatym podszyciem i runem leśnym wchłaniają duże objętości wody. Zalesienie zlewni o dużej deniwelacji terenu i zbudowanej z gleb związłych słaboprzepuszczalnych znacznie zwiększa potencjalną możliwość gromadzenia wody, zarówno w poszyciu, jak i w glebie. Ma duży wpływ na ograniczenie zagrożeń powodziowych.





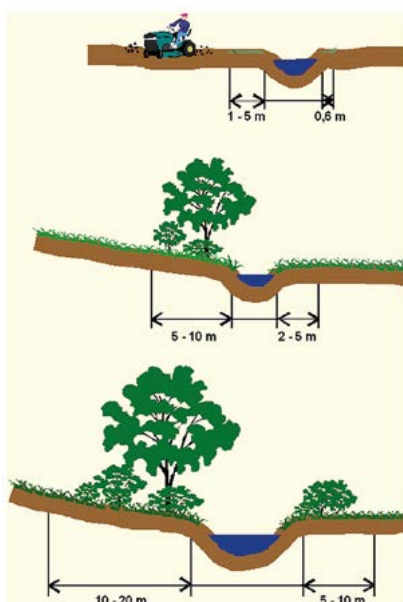
Zalesienie zlewni o glebach piaszczystych nie ma tak dużego wpływu na przepływy wezbraniowe, natomiast w wyniku wzrostu ewapotranspiracji roślinności drzewiastej może znacznie zmniejszyć się zasilanie zbiorników wód podziemnych.



Rys. 3. Schemat oddziaływania zadrzewień pasmowych na położenie zwierciadła wód podziemnych; 1 – zwierciadło wody pierwotne, 2 – oddziaływanie pasmowych zadrzewień

**Zadrzewienia i zakrzaczenia.** Pasowe i kępowe zadrzewienia śródpolne uzupełnione krzewami i niską roślinnością są ważnym czynnikiem ograniczającym szybki spływ wód opadowych po powierzchni terenu. Trudno jest ocenić liczbowo na ile tego typu zadrzewienia zmniejszają przepływy powodziowe i ograniczają skutki suszy w rolnictwie. Faktem jest, że stanowią przegrody na drodze spływu wód opadowych i roztopowych.

Szczególnym typem pasów roślinnych są ekotony tworzone wzdłuż cieków i stojących wód powierzchniowych, których zasadniczym celem jest ochrona jakości wody. Są również cennym elementem ograniczającym szybki spływ wody do rzeki.

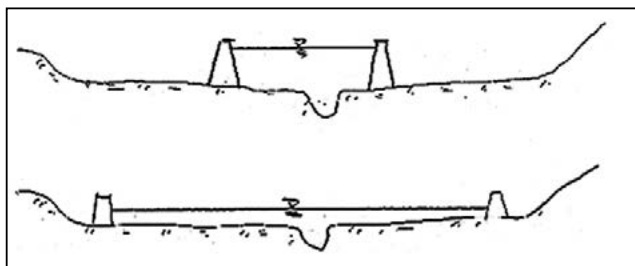


Rys. 4. Pasy roślinne (ekotony) wzdłuż cieków i zbiorników wód powierzchniowych stanowią pewien rodzaj bariery dla wód spływających po powierzchni terenu, stąd też nieco opóźniają dopływ wody do cieków; jednak ich główna rola to ochrona wód powierzchniowych przed dopływem zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia rolniczego



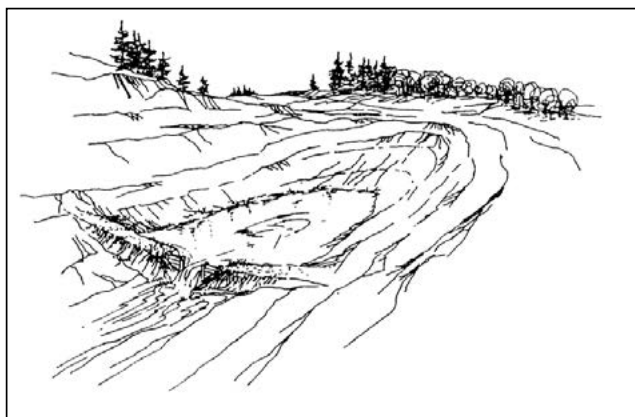
**Retencja dolinowa.** Odtworzenie pojemności retencyjnej dolin rzecznych to m.in. likwidacja wałów przeciwpowodziowych, odsunięcie wałów od rzeki lub wykorzystania terenów chronionych jako polderów zalewowych. Zarówno poldery jak i suche zbiorniki są efektywnym rozwiązaniem na mniejszych ciekach, gdzie występują gwałtowne i bardzo duże przepływy, lecz krótko trwające. Inaczej mówiąc, tam gdzie objętość fali wezbraniowej jest nieduża, lecz natężenie przepływów bardzo wysokie (Żelazo i Popek, 2002).

Zachowanie lub odtworzenie obszarów bagiennych jest ważnym elementem zarządzania ryzykiem powodziowym. Warto więc ograniczać produkcję rolną w cennych dolinach rzecznych lub prowadzić tam ekstensywną gospodarkę rolną umożliwiającą okresowe zatapianie doliny bez powodowania większych strat ekonomicznych.



Rys. 5. Odsunięcie wałów przeciwpowodziowych od rzeki lub ich likwidacja zwiększa zdolności retencyjne doliny rzecznej – stany wody przy przejściu fali wezbraniowej są niższe, woda odpływa wolniej i stwarza mniejsze zagrożenie powodziowe terenom położonym poniżej

**Oczka wodne i małe zbiorniki.** Trudno jest przecenić znaczenie drobnych, o małej pojemności, ale za to bardzo licznych niewielkich akwenów. Zarówno tych naturalnych jak również wykonanych przez człowieka. Szczególnie ważne są te najmniejsze zbiorniki o pojemności poniżej 100 tys. m<sup>3</sup>. Oprócz pozytywnego wpływu na bilans wodny tworzą warunki dla zwiększenia biologicznej różnorodności. Mogą to być cenne ekosystemy z bogatą florą i fauną.



Rys. 6. Zbiornik przechwytyjący spływy powierzchniowe. Może to być zbiornik suchy lub utrzymujący stale wodę. Są to urządzenia bardzo efektywne w ograniczaniu zagrożeń powodziowych terenów położonych poniżej. Mogą być również wykorzystywane dla celów gospodarczych



**Scalanie gruntów i sieć drogowa.** Kompleksowe scalenia gruntów powinny być traktowane jako narzędzie prawidłowego kształtowania obszarów wiejskich oddziałującego na obieg wody w zlewni. Dotyczy to szczególnie tworzenia optymalnego układu pól użytków zielonych i lasów, prawidłowego układu dróg dojazdowych, planowania zabiegów przeciwerozynnych (pasy buforowe, zadrzewienia przydrożne i śródpolne), wyznaczenia miejsc na infrastrukturę wodną (stawy, zbiorniki), potrzeb (możliwości) renaturyzacji uregulowanych rzek lub odwodnionych mokradł.

### **Agrotechnika, uprawa roli**

Stosowane metody agrotechniczne i uprawowe wywierają duży wpływ na zdolność retencyjną gleby, tj. możliwość magazynowania wody w profilu glebowym w tak zwanej strefie aeracji, czyli powyżej zwierciadła wód gruntowych. Jedną z metod małej retencji jest zwiększenie zdolności retencyjnej gleb m.in. poprzez stosowanie odpowiednich metod upraw. Zwiększenie retencji tylko o 20 mm jest równoważne ze zwiększeniem potencjalnej zdolności retencionowania wody o 200 m<sup>3</sup> na 1 hektar. Podstawowe działania dotyczą głównie poprawy struktury gleby, którą można uzyskać różnymi metodami.

**Zwiększenie zawartości próchnicy w glebie.** Zwiększanie zawartości próchnicy można osiągnąć poprzez nawożenie obornikiem, stosowanie nawozów zielonych (przyorywanie poplonów), dostarczenie materiałów organicznych (np. torfu), stosowanie organicznych materiałów odpadowych.

**Wapnowanie gleb.** Wapnowanie gleb jest zbiegiem strukturotwórczym. Powoduje, że w wyniku zachodzących procesów chemicznych powstają agregaty glebowe i tworzy się gruzełkowata struktura o zróżnicowanych wielkościach por. Gleba taka posiada większą pojemność wodną, jest w stanie zatrzymać duże ilości wody.

**Głęboka orka (zabiegi agromelioracyjne).** Zwiększenie przepuszczalności gleby i pojemności retencyjnej uzyskać można wzruszeniem gleby lub likwidacją podeszwy płuźnej (Cieśliński, 1997). Osiągnąć to można poprzez zastosowanie głębokiej orki lub spulchnienie gleby w inny sposób (np. głęboszowanie).

**Poplony.** Utrzymywanie roślinności na powierzchni terenu powoduje zwiększenie ewapotranspiracji, co może niekiedy prowadzić do zmniejszenia zasilania wód podziemnych. Z drugiej natomiast strony na użytkach rolnych pokrytych roślinnością spływ wód po powierzchni jest powolniejszy. Powoduje to, że więcej wody przesiąka w podłoże i zwiększa się wilgotność gleby.

Należy podkreślić, że powyższe działania są stosowane w rolnictwie jako typowe zabiegi agrotechniczne (Świętochowski, 1997). Tutaj została podkreślona ich rola w tworzeniu wodnej retencji w glebie.

### **Zabiegi przeciwerozynne**

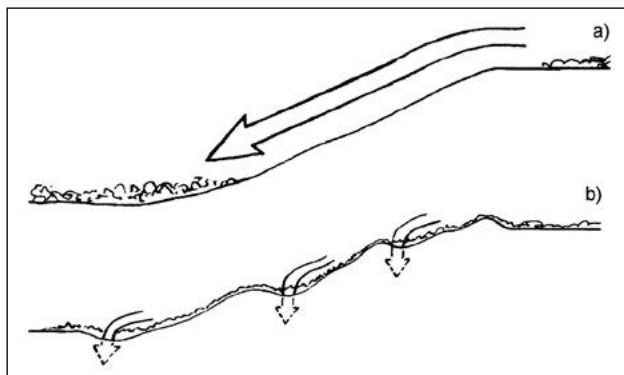
Niekorzystne skutki erozji to zmniejszenie żyzności gleby i szybki odpływ wód powodujący wystąpienie zagrożeń powodziowych. Istnieje wiele różnych metod ograniczających wielkość erozji i jej negatywne skutki. Do najważniejszych należą:

**Orka wzdłuż warstwic.** Podstawą prawidłowego rolniczego użytkowania terenów o dużych spadkach (powyżej 6%) jest prowadzenie orki w poprzek stoku tj. wzdłuż warstwic. Również siew i sadzenie prowadzone jest w poprzek stoku. Prostopadły do kierunku spadku terenu układ skib przerywa tworzące się podczas deszczu strugi wody i umożliwia jej wsiąkanie w podłoże.

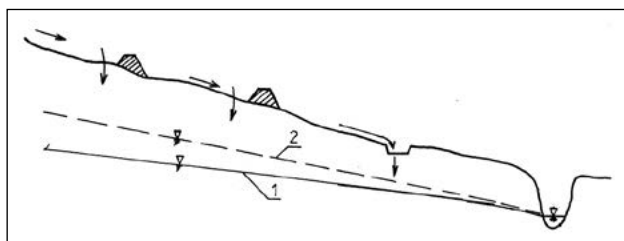


**Pokrywa roślinna na stokach.** Trwałe użytki zielone z dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym traw w wielu przypadkach stanowią skuteczne zabezpieczenie przed powstaniem zjawisk erozyjnych. Na szczególnie zagrożonych erozją terenach wprowadza się również roślinność wyższą, w tym krzewy i drzewa. Dobrze rozwinięta roślinność ogranicza znacznie szybkość spływu wód po powierzchni terenu w stosunku do gruntów ornych.

**Budowa grobelek lub rowków.** Efektywną metodą ograniczenia szybkiego spływu wody po powierzchni jest budowa przegród na kierunkach spływu wody. Mogą to być grobelki lub niewielkie bruzdy. Budowane są one wzdłuż warstwic co około 30–50 m w zależności od spadku.



Rys. 7. Po „gładkim” stoku (a) woda szybko spływa, podczas gdy po wytworzeniu tarasów (b) spływ jest powolniejszy, więcej wody infiltruje i nawadnia zbocze, mniejsze zagrożenie erozją



Rys. 8. Usytuowanie grobelek lub rowków w celu zwiększenia infiltracji; 1 - poziom wód gruntowych naturalny, 2 - po wybudowaniu grobelek (rowków)

**Tarasy.** Z uwagi na warunki klimatyczne i gospodarcze podstawową metodą wykonywania tarasów w Polsce jest ich naorywanie. Wielokrotna orka pozwala na prawidłowe ukształtowanie tarasu.

**Zabudowa jarów i wąwozów.** Podstawowe prace to wprowadzenie roślinności na zbocza wąwozu. Szata roślinna musi być zwarta i składać się zarówno z roślinności wysokiej (drzewa), jak i niskiej (krzewy, trawy). Nie jest również obojętna sekwencja nasadzeń. Często dla umożliwienia wzrostu i wzmocnienia odporności roślinności na erozję pokrywa się zbocze siatką lub włókniną.

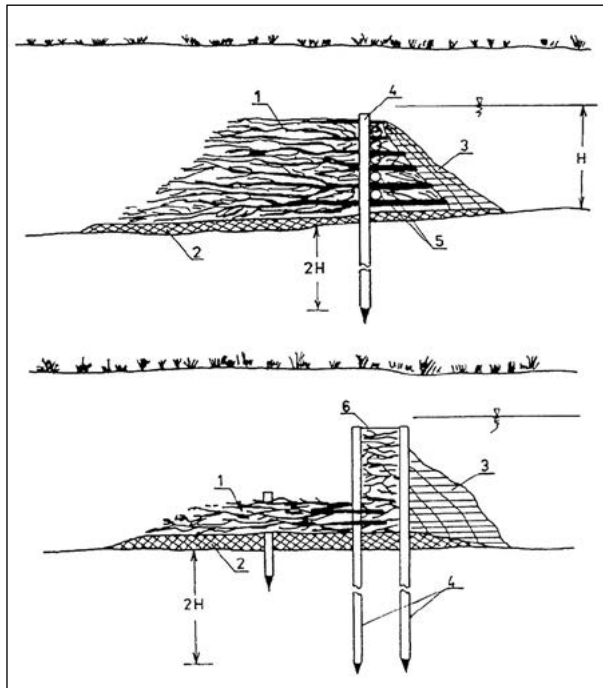


## TECHNICZNE OBIEKTY MAŁEJ RETENCJI

### Zbiorniki wodne i systemy melioracyjne

Wszystkie działania powodujące zwiększenie ilości wody zatrzymywanej w zlewni przez dowolną formę rozwiązań technicznych, na przykład budowę określonych urządzeń wodnych, zaliczają się do technicznych metod na rzecz małej retencji.

**Zbiorniki wodne.** Określenie „małe zbiorniki wodne” obejmuje szeroki zakres różnych typów zbiorników budowanych przez człowieka. Są to kopane stawy, w tym stawy rybne i mikrozbiorniki, oraz małe zbiorniki zaporowe utworzone poprzez przegrodzenie koryta rzeki i jej doliny zaporą (tama). Zbiorniki wodne nie zawsze muszą być ciągle wypełnione, mogą być także suche, napełniane wodą dopiero po ulewnych deszczach lub po spływach wód roztopowych, kiedy zwiększa się natężenie przepływu wody w cieku. Istnieje wiele różnych źródeł zasilania zbiorników wodą, mogą to być dopływy wód podziemnych, w tym naturalne źródła, spływy powierzchniowe czy też odpływy z systemów drenarskich (Mioduszewski, 2014).

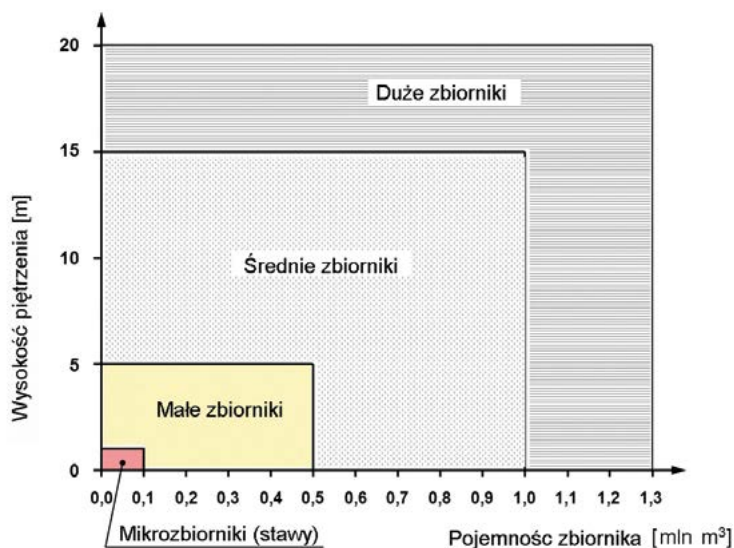


Rys. 9. Przykładowe proste progi, które mogą być wykorzystywane przy zabudowie jarów i wąwozów erozyjnych; 1 – chroniące dolne stanowisko przed rozmyciem przelewającą się wodą, 2 – umocnienie podłoża (głina lub włóknina) 3 – warstwa uszczelniająca konstrukcję, 4 – palisada z drewnianych kołków, 5 – części grubsze gałęzi, 6 – wypełnienie przestrzeni pomiędzy palisadami. Przy wąwozach o małych prognozowanych przepływach konstrukcja może być uproszczona do dwu rzędów palisad (4) z wypełnieniem gałęziami (6)

Klasyfikację różnych typów zbiorników przedstawiono na rysunku 10. Do małej retencji proponuje się zaliczyć jedynie mikro i małe zbiorniki, które zazwyczaj mają pozytywny lub minimalnie ujemny wpływ na środowisko.

Zbiorniki wodne odgrywają ważną rolę w gospodarce i w środowisku. Ze względu na pełnione funkcje, zbiorniki można podzielić na następujące kategorie:

- zbiorniki służące ograniczaniu skutków suszy (zarządzanie suszą) – zbiorniki przechowujące wodę do celów gospodarczych: retencja wody do nawodnień w rolnictwie i leśnictwie, potrzeby wodne człowieka i rolnictwa, gospodarka rybacka, produkcja energii elektrycznej (małe elektrownie wodne);
- zbiorniki ochrony przeciwpowodziowej – zbiorniki suche i wielozadaniowe, pol-dery;
- wędkarskie (ekstensywna gospodarka rybacka);
- zbiorniki ekologiczne: enklawy wodnej flory i fauny, biofiltry (biologiczne oczyszczalnie ścieków) lub zbiorniki służące jako filtry do oczyszczania wody;
- zbiorniki wodne używane do poprawy bilansu wodnego; zasilanie podziemnych zbiorniki wodne do rekreacji i celów estetycznych: kąpieliska, stawy parkowe, stawy warstw wodonośnych, ograniczanie erozji, retencja spływów powierzchniowych z powierzchni nieprzepuszczalnych (uszczelnionych).



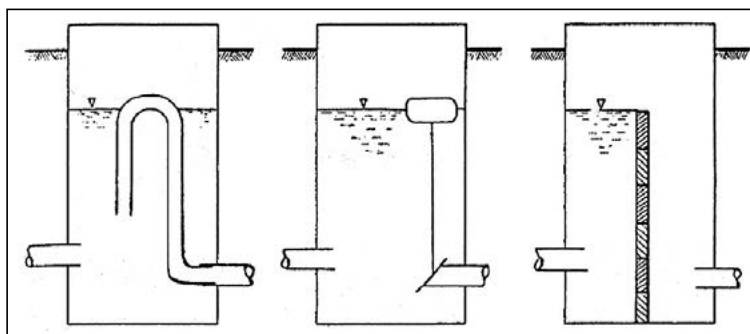
Rys. 10. Klasyfikacja zbiorników wodnych; źródło: Mioduszewski, 2003

Zbiorniki budowane jedynie w celu poprawy bilansu wodnego są rzadkością. Zbiorniki wodne są zwykle budowane, aby zaspokoić potrzeby gospodarcze lub przeciwdziałać powodziom. Tylko w wyjątkowych przypadkach zbiorniki są konstruowane, aby zaspokoić potrzeby środowiskowe. Niemal każdy zbiornik wodny, niezależnie od jego przeznaczenia wpływa jednakże na bilans wodny. Na funkcje hydrologiczne zbiornika może mieć duży wpływ sposób jego eksploatacji.



**Systemy melioracyjne.** Systemy drenarskie odprowadzają szkodliwy dla roślin uprawnych nadmiar wody, jednak powodują dalszy odpływ, gdy osiągnięta już jest optymalna wilgotność gleby. Na potrzeby produkcji rolniczej wystarcza, aby system drenarski zagwarantował objętość powietrza w strefie aeracji w granicach od 6 do 8%. Celowe jest więc zatrzymanie odpływu wody wczesną wiosną po osiągnięciu określonego poziomu wód podziemnych. Istnieją techniczne rozwiązania, które służą ograniczeniu nadmiernego odpływu wody z systemu odwadniającego. Można to osiągnąć stosując kontrolowany odpływ z systemu drenarskiego albo budując urządzenia piętrzące wodę na rowach melioracyjnych. Można także instalować specjalne urządzenia w studzienkach drenarskich (rys. 11), które pozwalają kontrolować poziom piętrzenia wody i dostosować go do panujących warunków atmosferycznych. W rowach budowane są także urządzenia piętrzące z ustalonym (stałym) progiem. Rozmieszczenie urządzeń technicznych, ich rodzaj i wysokość piętrzenia wody oraz sposób eksploatacji zależą od klimatu, objętości dostępnej wody, rodzaju gleb i upraw.

Badania wykazały, że regulowanie odpływu wody z obiektów drenarskich lub z systemów rowów nie wywiera ujemnego wpływu na produkcję rolniczą (Mioduszewski i in., 2014). Przeciwnie, ten sposób regulacji odpływu wody sprawia, że rośliny mogą wykorzystywać zgromadzoną w okresie wiosennym wodę podczas sezonu wegetacyjnego, co ogólnie usprawnia produkcję rolniczą. Ponadto, woda z regulowanych systemów odwadniających niesie mniejsze ładunki azotu i fosforu.

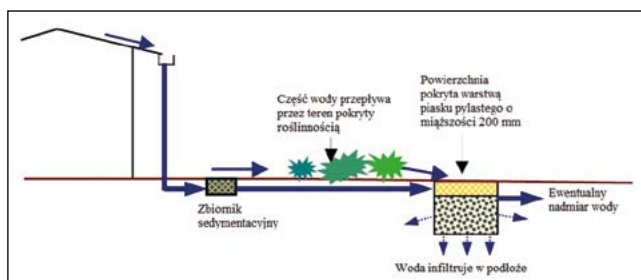


Rys. 11. Schemat urządzeń do regulacji odpływu z systemu odwadniającego; źródło Mioduszewski, 2003

### Mała retencja na obszarach zabudowanych

Obszary wiejskie coraz częściej pełnią pozarolnicze funkcje i są zabudowywane nie tylko obiektami rolniczymi, ale również o innym zastosowaniu. Budowane są drogi, place parkingowe, duże hale magazynowe itp. Powoduje to szybszy odpływ wód opadowych i roztopowych, podobnie jak to ma miejsce na obszarach zurbanizowanych. Zwiększają się przepływy wezbraniowe w małych ciekach, a tym samym wzrastają zagrożenia powodziowe. Dlatego też niezbędne jest podejmowanie działań dla zahamowania tego szybkiego odpływu.





Rys. 12. Schemat odprowadzenia wód opadowych z dachu umożliwiający zasilenie warstwy wodonośnej

W ostatnich czasach wykonywane są tzw. zielone dachy. Inaczej mówiąc tworzy się naturalne ogrody w miejsce dotychczas stosowanej papy czy dachówki. Są to bardzo interesujące i pożyteczne konstrukcje, w dużym stopniu poprawiające jakość życia w aglomeracjach miejskich, oraz zmniejszające wielkość odpływów z obszarów zabudowanych.

Wody odpływające ze szczelnych powierzchni powinny być w możliwie maksymalnym stopniu retencjonowane. Dla osiągnięcia tego celu wykonywane są różnego typu urządzenia do odbioru wody spływającej z terenów szczelnych. Są to chodniki lub jezdnie budowane z przepuszczalnych materiałów, wyłożone kratką lub innym materiałem przepuszczalnym place postojowe i parkingi.



Rys. 13. Proste rozwiązanie umożliwiające odpływ wód opadowych ze szczelnej powierzchni na teren porośnięty roślinnością



## DYSKUSJA

Przedstawiony wyżej przegląd działań, które określamy „małą retencją” wykazuje na możliwość stosowania dużej gamy różnorodnych prac pozwalających na korektę obiegu wody w zlewni i poprawę bilansu wodnego. Mała retencja jest jednym z ważniejszych elementów zarządzania ryzykiem powodziowym i ograniczania skutków suszy. Począwszy od zasad kształtowania i sposobów użytkowania terenów użytkowanych rolniczo, przez typową działalność agrotechniczną, po budowę niewielkich urządzeń wodnych. Cechą charakterystyczną proponowanych rozwiązań jest nie tylko ich duża przydatność dla poprawy zasobów wodnych, ale również korzystny wpływ zarówno na środowisko przyrodnicze, jak i na gospodarkę rolną oraz warunki przebywania ludzi. Należy jednak zwrócić uwagę, że nawet bardzo korzystne z punktu widzenia gospodarki wodnej i ochrony zasobów wodnych zabiegi w szczególnych przypadkach mogą powodować straty w środowisku. Na przykład wykonanie zbiornika przechwytyjącego wody z odpływów drenarskich na obszarze występowania cennych gatunków flory i/lub fauny może okazać się nieopłacalne z uwagi na ponoszone straty przyrodnicze.

Można powiedzieć, że nie ma działalności człowieka związanej z naruszeniem naturalnego lub przekształconego środowiska przyrodniczego, którą można by było ocenić jako w 100% korzystną lub niekorzystną. Nawet idealne rozwiązania przy ich nieprawidłowym zastosowaniu mogą okazać się szkodliwe. Stąd też każde planowane działanie, zarówno o charakterze technicznym, jak i nietechnicznym, ingerujące w środowisko przyrodnicze, musi (powinno) być szczegółowo analizowane na etapie zarówno planowania, jak i wykonawstwa.

W tabeli 2 przedstawiono ocenę ekspercką wpływu wybranych działań na zasoby wodne i środowisko przyrodnicze. Przyjęto trzystopniową skalę od bardzo korzystnego wpływu (+++) do bardzo małego, lub negatywnego (+/-). Zwraca uwagę duże zróżnicowanie oddziaływania na zasoby wodne i środowisko przyrodnicze, co należy traktować jako naturalne zjawisko. Należy również zgodzić się z faktem, że niekiedy dla osiągnięcia określonego celu, np. poprawy stosunków wodnych na terenach bagiennych (renaturyzacja odwodnionych torfowisk), konieczne jest poświęcenie niektórych mniej istotnych elementów przyrodniczych.

Dużą rolę w ochronie przed powodzią mogą pełnić oczka wodne, naturalne zagłębienia terenowe, mikro zbiorniki, szczególnie na ciekach charakteryzujących się dużym natężeniem przepływu, ale krótkim czasem trwania wysokich stanów. Warunki takie występują na małych ciekach położonych w obszarach o silnie zróżnicowanej rzeźbie terenu oraz na ciekach odbierających wodę z obszarów zurbanizowanych.

Wiele rozpatrywanych metod małej retencji polega na zwiększeniu zasilania wód podziemnych. Dotyczy to głównie płytkich warstw wodonośnych, które nie są izolowane od góry. Wody te często zanieczyszczone związkami azotu mogą stanowić dobre źródło poboru wody dla celów nawodnień rolniczych. Celowym byłoby sprecyzowanie prawa rolników do poboru wody, która została zgromadzona w wyniku retencjonowania wód opadowych na terenie gospodarstwa.





Tab. 2. Ocena wpływu działań małej retencji na zasoby wodne i środowisko przyrodnicze

Specyfikacja	Wpływ na						Zagrożenia
	wody powierzchniowe	wilgoć glebowa	wody podziemne	krajobraz	biologiczna różnorodność	jakość wody	
Zalesienia terenów o nieprzepuszczalnych glebach	++	+/-	+/-	+++	+++	++	Zanik niektórych gatunków roślin (chwastów)
Zalesienia terenów o przepuszczalnych piaszczystych glebach	+	+/-	+/-	++	+++	++	Zmniejszenie zasilania wód podziemnych
Odbudowa lasów bagiennych w dolinach rzek	+	+	+	++	++	++	Unifikacja krajobrazu, zanik niektórych cennych roślin
Pasy roślinności drzewiastej	+	++	+	+++	+++	+	Rozwój gatunków obcych
Poprawa struktury zwięzłych gleb gliniastych	++	+++	++	+	+	++	Intensyfikacja produkcji rolniczej
Poprawa struktury lekkich gleb piaszczystych	+++	+++	++	+	+	++	Zmniejszenie zasilania wód podziemnych
Ograniczanie spływu powierzchniowego	+++	+++	+++	+/-	++	+++	Zmniejszenie dopływu osadów do doliny rzecznej
Stosowanie poplonów na glebach gliniastych	+	+	+/-	+	+	+++	Zmniejszenie zasilania wód podziemnych
Strefy buforowe wzdłuż rzek i jezior	+	+	+	++	++	+++	Zmniejszenie powierzchni upraw rolnych
Regulacja odpływu z obiektów drenarskich	+	++	+++	+	+	+++	Procesy redukcyjne w glebie, przy dłuższej utrzymującej się wysokiej wilgotności
Podpiętrzanie wody w ciekach	++	++	+	++	++	++	Straty w plonach w wyniku nadmiernego uwilgotnienia
Gospodarka wodna na dolinowych systemach melioracyjnych	+++	+++	+	+	+	+	Intensyfikacja produkcji rolnej
Budowa mikrozbiorników na rowach	+++	++	++	++	+++	++	Nadmierny wzrost wilgotności użytków rolnych
Stawy i rowy infiltracyjne	+	+	+++	+	+	++	Zanieczyszczenie wód podziemnych
Suche małe zbiorniki	+++	++	+	+	++	+	Obniżenie plonów po wystąpieniu powodzi
Zbiorniki retencjonujące wody z obiektów drenarskich	++	+	+	++	++	+++	Zmniejszenie areалу użytków rolnych
Odbudowa meandrów rzecznych	++	+	++	++	++	+	Zmiana użytkowania terenu
Budowa małych zbiorników na rzekach	+++	++	++	+	++	++	Przekształcenia cennych ekosystemów, utrudnienia w migracji ichtiofauny
Zbiorniki kopane w obniżeniach terenowych	+	++	+	+	++	+	Przekształcenia cennych ekosystemów
Odbudowa zniszczonych zbiorników wodnych	++	++	+	++	+++	+++	Przekształcenie ekosystemu w mniej cenny
Renaturyzacja rzek	+++	++	+	+++	+++	++	Podtopienia użytków rolnych
Odbudowa, renaturyzacja mokradeł	+++	+++	++	+++	+++	++	Zmniejszenie zasilania cieków
Działania przeciwerozyjne	++	+	++	++	++	++	Zmiany w cennych ekosystemach

Skala: +++ duży wpływ, ++ średni wpływ, + mały wpływ +/- negatywny lub brak wpływu



## WNIOSKI

Do najważniejszych zalet małej retencji zaliczyć można:

- korzystna zmiana struktury odpływu rzeczno, obniżenie wielkości fal wezbrańowych, oraz w niektórych przypadkach zwiększenie przepływów niżówkowych;
- zaspokojenie potrzeb wodnych ekosystemów leśnych i mokradłowych oraz poprawa stanu środowiska przyrodniczego w wyniku podwyższenia poziomu wód gruntowych;
- zwiększenie zasilania warstw wodonośnych, co powoduje wzrost zasobów wód podziemnych;
- zaspokojenie niektórych celów gospodarczych, np. zbiorniki i oczka wodne mogą być wykorzystane jako ujęcia wód przeciwpożarowych, ekstensywne stawy rybne, ujęcia wód do nawodnień, wodopoje dla dzikich zwierząt;
- poprawa walorów przyrodniczych, zwiększenie biologicznej różnorodności krajobrazu rolniczego poprzez odtworzenie mokradeł, oczek wodnych, tworzenie enklaw dla naturalnej fauny i flory wodno-błotnej, tworzenie przyjaznego człowiekowi mikroklimatu;
- ochrona wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem, zatrzymywanie zawiesin, oczyszczanie wód deszczowych szczególnie ze związków biogenych (azotu i fosforu);
- możliwość zwiększenia zasobów wodnych w płytkich warstwach wodonośnych – woda ta może być wykorzystywana do nawodnień rolniczych.

## LITERATURA

- Ciepielowski A., Dąbkowski L. 1995: Problemy małej retencji w lasach. Sylwan. Rok CXXXIX, nr 11:17-20.
- Cieśliński Z. 1997: Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego. Wyd. Akademia Rolnicza, Poznań.
- Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z 23 października 2000 r. ustalająca ramy działań Wspólnoty Europejskiej w zakresie polityki wodnej. Bruksela.
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z 23 października 2007 r. w sprawie ocen ryzyka powodziowego i zarządzania nim. Bruksela
- Gutry-Korycka M., Nowicka B., Soczyńska U. (red.) 2003: Rola retencji zlewni w kształtowaniu wezbrań opadowych. Uniwersytet Warszawski: 1-285.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów 2012: Plan ochrony zasobów wodnych Europy. Bruksela. 14.11.2012 COM (2012) 673 final. Komisja Europejska.
- Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M. 1997: Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji. Materiały Badawcze IMGW, Seria: Gospodarka wodna i ochrona wód 19, Warszawa ss. 176.



- Kowalewski Z. 2004: Realizacja programów małej retencji w Polsce. Wrocław: Zeszyty Naukowe AR nr 502. Inżynieria Środowiska XII: 195-210.
- Makles M., Pawlaczyk P., Stańko R. 2014: Podręcznik najlepszych praktyk ochrony mokradeł. CKPŚ, Warszawa.
- Mioduszewski W. 2003: Mała retencja. Ochrona zasobów wodnych i środowiska naturalnego. Poradnik. Wydaw. IMUZ, Falenty.
- Mioduszewski W., 2004: Problemy gospodarki wodnej w rolnictwie w kontekście Ramowej Dyrektywy Wodnej. Światowy Dzień Wody. Komitet Gospodarki Wodnej PAN, Warszawa, s. 35–42.
- Mioduszewski W., 2014: Stawy, małe zbiorniki wodne. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Mioduszewski W., Dembek W. (red.), 2010: Woda na obszarach wiejskich. MRiRW, IMUZ Falenty.
- Natural Water Retention Measures. Science for Environment Policy. ISSUE 32, May 2012.
- Podręcznik dobrych praktyk w gospodarce wodnej na terenach nizinnych – wybrane zagadnienia. Biuro Projektów WODMEL, Poznań.
- Polski Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, 2002. Warszawa: MRiRW.
- Prawo wodne. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Tekst ujednolicony. (Dz. U. z 2012 r. poz. 145).
- Świętochowski B. 1997: Ogólna uprawa roli i roślin. PWRiL, Warszawa.
- Żelazo J., Popek Z., 2002: Podstawy renaturyzacji rzek. Wydaw. SGGW, Warszawa.

## THE INNOVATION METHOD OF INCREASING OF WATER RETENTION

**Summary:** One of the methods to improve water conditions is increasing of the retention abilities of small river basins. The studies and approximate calculations carried out show that treatment consisting in the increase of swampy areas, number of water pools and small water reservoirs, damming up of eroded rivers and canals, improvement of the soil structure, regulation of outflows from drainage systems, etc. can significantly increase water resources in river basins. The proper water management can allow to supply water with good quality both for the natural environment and for the agricultural and communal needs.

**Key words:** water resources, water management, river basin, agriculture, environmental protection.



# PRZEGLĄD WYBRANYCH PROBLEMÓW GOSPODARKI WODNEJ NA OBSZARZE ZLEWNI RZEK

Mirosław Wiatkowski<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Praca dotyczy wybranych problemów gospodarki wodnej na obszarze zlewni rzek. Podano zadania gospodarki wodnej, uwarunkowania prawne, organy odpowiedzialne za realizację gospodarki wodnej. Szczególną uwagę poświęcono problemom dotyczącym zagrożenia powodziowego i ochrony przed powodzią, zagrożenia suszą i ochrony przed suszą, stanu infrastruktury melioracyjnej i rowów melioracyjnych, zagrożeń małych zbiorników wodnych, jakości i ochrony wód. Podano propozycję działań ograniczania skutków niewłaściwego gospodarowania wodą. Zaprezentowano metody ograniczania dopływu zanieczyszczeń do wód i poprawy jakości wód powierzchniowych za pomocą zbiorników wstępnych.

**Słowa kluczowe:** gospodarka wodna, zlewnia, rzeka, zbiornik wodny, ochrona przed powodzią, jakość i ochrona wód

## WPROWADZENIE

Od wieków koncepcje gospodarowania wodami podlegały zmianom, ale zasadniczym celem i zadaniem gospodarki wodnej jest z jednej strony dostarczenie każdemu człowiekowi i gospodarce dostatecznych ilości wody o odpowiedniej jakości, a z drugiej strony obrona kraju przed niebezpieczeństwem, jakie woda często niesie ze sobą w postaci katastrofalnych ulew, powodzi, nadmiaru deszczu i wilgoci, erozji gleb itp. (Lambor, 1957). Według Ciepelińskiego (1999) gospodarka wodna to „świadome i celowe oddziaływanie człowieka na zasoby i potrzeby wodne dla zaspokojenia potrzeb ludzkich, które dokonuje się w procesach składających się z produkcji, podziału, wymiany i konsumpcji przy jednoczesnym spełnieniu wymogów ochrony środowiska naturalnego. Gospodarka wodna jest dziedziną gospodarki kraju związaną z hydrosferą. Ta natomiast oddziałuje na litosferę (poprzez wody podziemne) i na atmosferę (poprzez wody powierzchniowe i atmosferyczne). Gospodarka wodna wymaga więc planowanych, zorganizowanych działań (Trybała, 1996). Woda od zawsze była podstawą egzystencji człowieka. Postępujący rozwój cywilizacyjny, rozwój gospodarki i duża koncentracja ludności mają wpływ na obieg wody i powodują degradację zasobów wód. Zasoby wodne powstają w przestrzeni tworzonej przez obszary rolne i leśne w wyniku zmiennych w czasie i przestrzeni opadów atmosferycznych. Na tych obszarach wody opadowe są magazynowane i częściowo wykorzystywane. Zdolność zatrzymywania (magazynowania) wody jest określana mianem retencji i taką zdolność, w różnym stopniu, ma każda zlewnia rzeczna (Mioduszeński, 2006). Dlatego ważnym zadaniem jest prowadzenie racjonalnego gospodarowania wodami w zlewniach rzecznych.

---

<sup>1</sup> Mirosław Wiatkowski – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, e-mail: miroslaw.wiatkowski@upwr.edu.pl



Ustawa Prawo Wodne (2001) reguluje gospodarowanie wodami zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, a w szczególności kształtowanie i ochronę zasobów wodnych, korzystanie z wód oraz zarządzanie zasobami wodnymi. Jak podano w art. 1. tej Ustawy: „Gospodarowanie wodami jest prowadzone z zachowaniem zasady racjonalnego i całościowego traktowania zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, z uwzględnieniem ich ilości i jakości”. Ponadto gospodarowanie wodami uwzględnia zasadę wspólnych interesów i jest realizowane przez współpracę administracji publicznej, użytkowników wód i przedstawicieli lokalnych społeczności tak, aby uzyskać maksymalne korzyści społeczne i jest prowadzone w taki sposób, aby działając w zgodzie z interesem publicznym, nie dopuszczać do wystąpienia możliwego do uniknięcia pogorszenia ekologicznych funkcji wód oraz pogorszenia stanu ekosystemów lądowych i terenów podmokłych bezpośrednio zależnych od wód (Ustawa 2001).

Obecnie gospodarka wodna nabiera coraz większego znaczenia. Znaczenie wody dla człowieka i środowiska przyrodniczego jest podkreślane w wielu dyskusjach politycznych, społecznych i gospodarczych. Ma to przede wszystkim związek z występującymi, lub mogącymi się w przyszłości pojawiać, trudności w zaopatrzeniu wszystkich użytkowników w dobrą i czystą wodę. Taki stan wynika z ograniczonych zasobów oraz niekorzystnych zmian struktury bilansu wodnego. Jak podaje Kundzewicz i inni (2010) wszystkie problemy wodne można zaliczyć do trzech ogólnych kategorii: zbyt mało wody, zbyt dużo wody oraz woda zbyt zanieczyszczona. Należy raczej oczekiwać zmiany (wzrostu) częstotliwości występowania wymienionych trzech kategorii problemów wodnych, a także ich dotkliwości i ostrości (Kundzewicz i inni, 2010). Wyzwania obecnego etapu rozwoju społeczno-gospodarczego Polski oraz wymagania wynikające z dyrektyw Unii Europejskiej narzucają konieczność nowego spojrzenia na sprawy związane z gospodarowaniem wodami na obszarze zlewni rzek. Korzystanie z wód i ich ochrona to jedno z najważniejszych zadań państwa, warunkujące działanie wszystkich sektorów aktywności społeczno-gospodarczej.

Gospodarka wodna, z jednej strony jest gałęzią usługową dla wielu branż, z drugiej zaś – warunkuje rozwój oraz decyduje o poziomie bezpieczeństwa w obliczu zagrożeń naturalnych (powódź i susza), zwłaszcza w warunkach zachodzących przemian rozwojowych i zmian klimatycznych (Nachlik, 2011). Stan gospodarowania wodami wpływa na kondycję tak ważnych obszarów, jak w szczególności sektory: komunalny, przemysłowy, w tym energetyczny oraz rolnictwo. Tym bardziej, że Polska zaliczana jest do krajów coraz bardziej odczuwających skutki niedoborów wody na cele gospodarcze. Taki stan wymaga podjęcia odpowiednich działań zmierzających do poprawy bilansu wodnego (Ostrowski i Bogdał, 2006). Stąd bardzo ważne jest prawidłowe działanie systemu oraz jego wysoka efektywność gospodarcza, społeczna i przyrodnicza [Projekt Polityki Wodnej Państwa 2010].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wybranych problemów gospodarki wodnej na obszarze zlewni rzek i zbiorników wodnych. W pracy podano zadania gospodarki wodnej, uwarunkowania prawne (wg ustawy Prawo wodne z 2001 r., jak i założeń do projektu Prawo wodne 2017), system zarządzania zasobami wodnymi i organy odpowiedzialne za realizację gospodarki wodnej. Szczególną uwagę poświęcono wybranym problemom gospodarki wodnej na terenie zlewni rzek i zbiorników wodnych, tj. zagrożeniu powodziowemu i ochronie przed powodzią, zagrożeniu suszą i ochronie przed suszą, stanu infrastruktury melioracyjnej i rowów melioracyjnych, zagrożeń małych zbiorników wodnych, jakości i ochrony wód. Pracę kończy przedstawienie metod ograniczania dopływu zanieczyszczeń do wód i poprawy jakości wód powierzchniowych za pomocą zbiorników wstępnych.



## DOKUMENTY Z ZAKRESU GOSPODARKI WODNEJ

Do głównych dokumentów określających zasady gospodarki wodnej w Polsce należy zaliczyć:

**Ustawa Prawo wodne** uchwalona przez Sejm RP w lipcu 2001 (z późn. zm.). Ustawa ta reguluje zasady zarządzania zasobami wodnymi w Polsce. Zarządzanie to powinno służyć zaspokajaniu potrzeb ludności, gospodarki, ochronie wód i środowiska związanego z tymi zasobami m.in. w zakresie ochrony przed powodzią. Fundamentalną nową zasadą jest zarządzanie zasobami wodnymi z uwzględnieniem podziału Polski na dorzecza i regiony wodne.

**Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW)** Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. (Dyrektywa 2000/60/WE). Jest najważniejszym i najbardziej dalekosiężnym aktem prawnym, obejmującym zagadnienia gospodarowania wodami. Zostały w niej sformułowane spójne regulacje prawne, będące podstawą zrównoważonego gospodarowania wodą. Dyrektywa ta ustanawia ramy dla ochrony wszystkich wód (śródlądowych wód powierzchniowych, wód przejściowych, wód przybrzeżnych oraz wód podziemnych), które mają na celu: zapobieganie degradacji oraz ochronę i poprawę stanu zasobów; ochronę przed pogarszaniem się stanu wód, ekosystemów wodnych oraz ekosystemów lądowych i terenów podmokłych zależnych od wody; promowanie zrównoważonego korzystania z wód; zmniejszanie skutków powodzi i susz; oraz zapewnienie odpowiedniego zaopatrzenie odpowiedniego zaopatrzenia w wodę dobrej jakości. Dyrektywa zobowiązała każdy kraj członkowski do ustanowienia programów monitoringu wód powierzchniowych, które mają dostarczyć pełnej i spójnej informacji o stanie ekologicznym i chemicznym wód w obrębie każdej zlewni, a także umożliwić przeprowadzenie klasyfikacji tych wód (Dyrektywa 2000/60/WE). Podstawowymi dokumentami planistycznymi wg Ramowej Dyrektywy Wodnej są Plany gospodarowania wodami dla obszarów dorzeczy i programy działań. Dla każdego obszaru dorzecza musi być sporządzony plan gospodarowania wodami wraz z zestawieniem niezbędnych działań w celu osiągnięcia dobrego stanu wód w wymaganym czasie. Kraje leżące w obrębie Międzynarodowego Obszaru Dorzecza Odry opracowały Plan Gospodarowania Wodami, który opiera się na istotnych międzynarodowych problemach gospodarki wodnej w dorzeczu Odry, zidentyfikowanych w trakcie analizy ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych. Plan wykonany został w 2010 r. przez Międzynarodową Komisję Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniem we Wrocławiu (Plan MKOOpZ 2010, Wiatkowski 2010a).

**Strategia Gospodarki Wodnej**, której celem jest określenie podstawowych kierunków rozwoju gospodarki wodnej do roku 2020 oraz działań umożliwiających realizację konstytucyjnej zasady zrównoważonego rozwoju w gospodarowaniu wodami, przewiduje działania polegające na podniesieniu skuteczności ochrony przed powodzią. Należy wspomnieć, że od roku 1956 powstało kilkanaście kompleksowych i perspektywicznych programów zawierających podstawowe elementy strategii. Żaden z tych dokumentów nie doczekał się jednak pełnej realizacji z powodu m.in.: braku spójności zamierzeń i możliwości finansowych Państwa, niedoceny wpływu zmian strukturalnych w gospodarce i państwie na gospodarkę wodną, a w ostatnich latach zmiany w podejściu do gospodarki wodnej w związku z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej (Strategia 2005).

**Narodowa Strategia Gospodarowania Wodami 2030** przygotowana w 2008 roku określała podstawowe kierunki i zasady działania umożliwiające realizację idei trwałego



i zrównoważonego rozwoju w gospodarowaniu zasobami wodnymi w Polsce. Jak piszą autorzy tej strategii; „cel ten ma być osiągnięty przez zbudowanie sprawnie działającego systemu gospodarowania wodami, który wykorzystując mechanizmy prawne, instrumenty ekonomiczne i konsultacje społeczne, będzie zapewniał utrzymanie dobrego stanu wód, a w szczególności ekosystemów wodnych i od wody zależnych, pozwalał na zaspokojenie potrzeb wodnych ludności w wodę do picia oraz uzasadnionych potrzeb wodnych innych użytkowników, zwiększał bezpieczeństwo powodziowe kraju i chronił go przed skutkami suszy (Projekt Narodowej Strategii Gospodarowania wodami, 2008). Jednak ta strategia nie uzyskała oficjalnego zatwierdzenia.

**Ustawa Prawo ochrony środowiska.** Zagadnienia gospodarki wodnej i ochrony wód zawarte są także w Ustawie Prawo ochrony środowiska z 2001 r. W art. 8 podano, że polityki, strategii, plany lub programy dotyczące m.in. gospodarki wodnej powinny uwzględniać zasady ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Natomiast art. 400a, ust.1. ustala, że finansowanie ochrony środowiska i gospodarki wodnej obejmuje m.in.: opracowywanie planów służących gospodarowaniu wodami, planów zarządzania ryzykiem powodziowym, planów przeciwdziałania skutkom suszy, przedsięwzięcia związane z ochroną wód, wspomaganie osłony hydrologicznej i meteorologicznej społeczeństwa oraz gospodarki, a także rozpoznawanie, kształtowanie i ochronę zasobów wodnych kraju. Ponadto obejmuje wspomaganie realizacji zadań w zakresie rozpoznawania, bilansowania i ochrony wód podziemnych w celu ich racjonalnego wykorzystania przez społeczeństwo i gospodarkę oraz wspomaganie realizacji zadań modernizacyjnych i inwestycyjnych, służących ochronie środowiska i gospodarce wodnej, w tym dotyczących instalacji lub urządzeń ochrony przeciwpowodziowej i obiektów małej retencji wodnej.

**Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym** z dnia 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Art. 1.2. Ustawy wskazuje, że w planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym uwzględnia się m.in. wymagania ochrony środowiska, w tym gospodarowania wodami i ochrony gruntów rolnych i leśnych.

Zgodnie z Ustawą Prawo wodne (2001) naczelnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach gospodarowania wodami w Polsce jest Minister Środowiska. Za wykonywanie w jego imieniu zadań z zakresu gospodarki wodnej odpowiedzialna jest dwuinstancyjna administracja rządowa: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, którym kieruje Prezes KZGW oraz Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej, którymi kierują dyrektorzy RZGW. Najważniejszymi zadaniami Ministra Środowiska są:

- kształtowanie polityki państwa poprzez inicjowanie odpowiednich aktów prawnych, w tym między innymi mających na celu kreowanie instrumentów prawnych i ekonomicznych służących racjonalizacji wykorzystywania oraz ochronie jakości zasobów wodnych;
- programowanie kierunków rozwoju i zasad działania gospodarki wodnej;
- wydawanie przepisów wykonawczych z zakresu gospodarki wodnej;
- sprawowanie nadzoru nad podporządkowanymi jednostkami.

Najważniejszymi instytucjami właściwymi w sprawach gospodarowania wodami w regionie wodnym są Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej (RZGW) - terenowe organy administracji rządowej niezespólonej. Administrowanie wodami powierzchniowymi Skarbu Państwa nie będącymi w gestii Regionalnych Zarządów jest podzielone między wojewódzkie zarządy melioracji i urządzeń wodnych, które są podległe samorządom wojewódzkim oraz Agencję Nieruchomości Rolnych.





System zarządzania zasobami wodnymi obejmuje zarówno administrację rządową, jak i samorządową. Zadania natury planistycznej oraz zadania wykonawcze, inwestycyjne leżą w gestii samorządów wszystkich szczebli: wojewódzkich, powiatowych i gminnych. Instrumentami, które umożliwiają realizację tych zadań są m.in. strategia rozwoju województwa, wojewódzki program zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska oraz sporządzane przez gminy miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego. Zadania regulujące sytuację prawną korzystania z zasobów, są wykonywane przez administrację rządową - wojewodów, a także przez starostów (zadania zlecone z zakresu administracji rządowej).

Kontrolą przestrzegania przepisów oraz monitoringiem środowiska zajmuje się Główny Inspektor Ochrony Środowiska, a na terenie województw funkcję tę wykonuje wojewoda poprzez Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska.

W Ustawie Prawo wodne (2001) podane są ponadto instrumenty zarządzania zasobami wodnymi, do których zaliczyć możemy: plany gospodarki wodnej, pozwolenia wodnoprawne, opłaty i należności w gospodarce wodnej, kataster wodny, kontrola gospodarowania wodami.

Obecnie przygotowywane jest nowe Prawo wodne (<https://bip.kprm.gov.pl>, Projekt 2016). Opracowywany projekt ustawy - Prawo wodne ma za zadanie zmianę systemu zarządzania gospodarką wodną przez wzmocnienie zlewniowego zarządzania gospodarką wodną. Problemem funkcjonowania tego sektora pozostaje brak jasno sprecyzowanego systemu finansowania działań mających na celu utrzymywanie wód, poprawę stanu ich jakości oraz realizację inwestycji w gospodarce wodnej. Przewidziana jest również transpozycja dyrektywy 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniem powodowanym przez azotany pochodzenia rolniczego (Dz. Urz. WE L 375 z 31.12.1991) oraz pełne wdrożenie zasady zwrotu kosztów usług wodnych zgodnie z art. 9 dyrektywy 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz. Urz. WE 327 z 22.12.2000). Nowe prawo wodne ma wprowadzić scentralizowany system organizacyjny w gospodarce wodnej - Państwowe Gospodarstwo Wody Polskie. Przejmie ono większość kompetencji i dochodów związanych z gospodarowaniem wodami a docelowo ma zapewnić racjonalne gospodarowanie wodami i zwiększenie bezpieczeństwa powodziowego obywateli (<https://bip.kprm.gov.pl>).

Wg projektu nowego prawa wodnego (<https://legislacja.rcl.gov.pl> 2016) zarządzanie zasobami wodnymi ma służyć zaspokajaniu potrzeb ludności i gospodarki oraz ochronie wód i środowiska związanego z tymi zasobami, w szczególności w zakresie (Art. 10):

1. zapewnienia odpowiedniej ilości i jakości wody dla ludności;
2. ochrony przed powodzią oraz suszą;
3. ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem oraz niewłaściwą lub nadmierną eksploatacją;
4. utrzymywania lub poprawy stanu ekosystemów wodnych i od wody zależnych;
5. zapewnienia wody na potrzeby rolnictwa oraz przemysłu;
6. tworzenia warunków dla energetycznego, transportowego oraz rybackiego wykorzystania wód;
7. zaspokojenia potrzeb związanych z turystyką, sportem oraz rekreacją.

Z projektu nowego prawa wynika także, że (Art. 14. ust.1) organami właściwymi w sprawach gospodarowania wodami będą: minister właściwy do spraw gospodarki wodnej; Prezes Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie; dyrektor regionalnego zarządu gospodarki wodnej Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie;





dyrektor zarządu zlewni Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie; kierownik nadzoru wodnego Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie; dyrektor urzędu morskiego; wojewoda; starosta; wójt, burmistrz lub prezydent miasta.

## ZADANIA I PROBLEMY GOSPODARKI WODNEJ

Nieodzownym elementem wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich i wsi, prowadzącym do poprawy cywilizacyjno-bytowych warunków życia i zamożności jej mieszkańców jest racjonalne gospodarowanie wodą (Mosiej i Somorowski, 2001). Gospodarowanie wodą jest to proces pozyskiwania, gromadzenia, użytkowania i ochrony wody, a także usuwania jej nadmiaru i ograniczania zagrożeń z nią związanych, jak również łagodzenia niedoborów wody i ich likwidacji. Jedną z form gospodarowania jest racjonalne gospodarowanie, czyli takie, które optymalizuje korzyści. Z reguły korzyści te mają charakter ekonomiczny. W obliczu współczesnych wyzwań rozwojowych coraz mocniej akcentuje się pozaekonomiczne kryteria wyboru (środowiskowe, społeczne, etyczne itp.). W tym przypadku gospodarowanie wodą najbardziej racjonalne z punktu widzenia jednych korzyści, nie musi być optymalne z punktu widzenia innych. Fakt ten komplikuje problem zdefiniowania racjonalności gospodarczej. Do racjonalnego gospodarowania zmusza okresowa szczupłość zasobów wodnych (Kaca i in., 2011).

To jak wyglądała gospodarka wodna dotychczas i jaką spełniała funkcję opisał w swojej publikacji prof. Mioduszewski (2014). Analizę przeprowadzono w oparciu o podział na cztery okresy. Okres pierwszy obejmował pozyskanie nowych, żyznych terenów w celu zwiększenia produkcji rolnej. Zaspokojenie potrzeb żywności (walka z głodem) przy prymitywnej agrotechnice i mało wydajnych roślinach. Podejmowano odwodnienia takich terenów jak: Żuławy, dolina Wisły, Biebrzy itp. Drugi okres to okres międzywojenny - zwiększenie wydajności rolnictwa poprzez rozwój systemów drenarskich (powstawały stowarzyszenia melioracyjne), odwodnienia torfowisk Polesia (utworzenie stacji badawczej na Polesiu). Okres trzeci obejmuje lata powojenne (PRL) - ograniczanie niedoborów żywności i uwarunkowania polityczne: drenowanie (100-150 tys. ha rocznie), odwodnienie bagien, na uczelniach utworzone zostały wydziały melioracji wodnych, powstał Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Natomiast okres czwarty to lata współczesne: intensyfikacja produkcji rolnej (większe plony na mniejszej powierzchni upraw) - ochrona środowiska przyrodniczego, konkurencyjność polskich gospodarstw (doganianie rozwiniętych krajów europejskich w produkcji rolnej i ochronie środowiska), precyzyjna gospodarka wodna, utrzymanie istniejącej infrastruktury melioracyjnej (Mioduszewski, 2014).

W publikacji prof. Mioduszewskiego (Mioduszewski, 2014) pojawia się ciekawe pytanie: „po co człowiek wchodził z uprawami rolnymi na trudno dostępne tereny bagienne i dlatego osiedlał się nad wodą oraz dlaczego wszystkie kłęski, które go tam spotykały nie powodowały żeby się wyprowadzić i zamieszkać gdzieś wyżej, gdzie nie ma zagrożenia żywołem wodnym”? Odpowiedzi udzielił Autor podając, że przyczyną była potrzeba produkowania coraz więcej żywności dla zwiększającej się liczby ludności. Przy prymitywnej agrotechnice, braku nawozów i mało wydajnych gatunkach roślin człowiek musiał poszukiwać nowych terenów pod uprawy. Natomiast osiedlanie się w dolinie rzecznej pozwalało na dostęp do wody i umożliwiało osiąganie wyższych plonów na żyznych glebach dolinowych (Mioduszewski, 2014). Podobne informacje na temat atrakcyjności i zagospodarowywania



rzek i dolin rzecznych przedstawili m.in. Radczuk i inni (2001). Wskazywali oni, że ludzie osiedlali się w dolinach rzek, rozwijali tam infrastrukturę, rozwijały się osiedla i miasta. Wskazali także, że równoległe z rozwojem terenów dolin rzecznych i korzyściami z tego płynącymi pojawiły się ograniczenia i niebezpieczeństwa ze strony rzek, szczególnie w przypadku takich zjawisk jak wezbrania i powodzie. Jak stwierdzają Żelazo i Popek (2002) aktualne zagospodarowanie zlewni jest wynikiem wielowiekowej ekspansji człowieka, wyrażającej się w rozwinięciu różnorodnej infrastruktury technicznej, dostosowaniu przestrzeni rolniczej do potrzeb produkcyjnych, ograniczaniu lesistości czy przeobrażeniu terenów przywodnych. Ponadto Autorzy Ci stwierdzają, że sposób zagospodarowania zlewni ma istotny wpływ na reżim hydrologiczny rzek, jakość wody oraz stan środowiska przyrodniczego związanego z tymi wodami (Żelazo i Popek, 2002).

Mieszkańcy różnych regionów Polski borykają się z różnymi problemami związanymi z jakością i ilością wody. Do głównych zadań gospodarki wodnej w Polsce należy zaliczyć (Ministerstwo Środowiska 2006):

- poprawa stanu czystości wód powierzchniowych i podziemnych,
- zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości wody dla ludności, przemysłu oraz na potrzeby rolnictwa,
- ochrona przed powodzią i suszą,
- ochrona wód przed zanieczyszczeniem oraz ich niewłaściwą albo nadmierną eksploatacją,
- utrzymanie i poprawa stanu ekosystemów wodnych i od wody zależnych,
- stworzenie warunków do energetycznego, rybackiego oraz transportowego wykorzystania zasobów wodnych,
- zaspokojenie potrzeb związanych z turystyką, sportem oraz rekreacją.

Realizację zadań gospodarki wodnej można oceniać na podstawie kryteriów skuteczności działań, np. stopnia zaspokojenia potrzeb, wielkości strat powodziowych, stanu czystości wód. Zadania te powinny być realizowane zawsze z myślą o zachowaniu równowagi zasobów wodnych (Ciepielowski, 1999). Zadania z zakresu gospodarki wodnej powinny być realizowane zgodnie z polityką zrównoważonego rozwoju i podstawowymi dokumentami z zakresu gospodarki wodnej.

Część problemów, z uwagi m. in. na ich skalę, poziom złożoności lub tendencję, uznawanych jest za problemy istotne, przy czym nie należy tego rozumieć tak, że jakiś problem, z którym boryka się społeczność lokalna, nie zasługuje na potraktowanie go jako „istotny”. Termin „istotne problemy gospodarki wodnej” nie został nigdzie zdefiniowany. Używany jest jednakże na określenie najważniejszych problemów, będących zarówno negatywnymi skutkami działania człowieka w przyrodzie, które utrudniają osiągnięcie „dobrego stanu wód”, czyli stanu najbardziej zbliżonego do naturalnego jak i przyczynami, które warunkują istnienie owych skutków. Istotnym problemem gospodarki wodnej może być także znalezienie rozwiązań (prawnych, organizacyjnych, finansowych i/lub techniczno-technologicznych), które wyeliminują (a jeśli to niemożliwe, ograniczą) negatywne skutki bądź też pozwolą wyeliminować lub ograniczyć przyczyny. Nie każde rozwiązanie można bowiem w konkretnych warunkach zastosować i nie na każde rozwiązanie, choćby było najlepsze z możliwych, będzie stać tych, którzy będą chcieli je wdrożyć (<http://www.gliwice.rzg.gov.pl/index.php/pl/regionwodny/konsultacje-spoeczne/obszar/500-przegldu-istotnych-problemow-gospodarki-wodnej-dla-obszarow-dorzeczy>)



W codziennym życiu jesteśmy w stanie wskazać wiele z lokalnie występujących problemów gospodarki wodnej w zlewniach rzek. Do głównych możemy zaliczyć:

1. Zagrożenie powodziowe i ochrona przed powodzią,
2. Zagrożenie suszą i ochrona przed suszą,
3. Stan infrastruktury melioracyjnej i rowów melioracyjnych oraz zagrożenia zbiorników wodnych,
4. Jakość i ochrona wód.

## CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PROBLEMÓW GOSPODARKI WODNEJ

### Ad. 1) Zagrożenie powodziowe i ochrona przed powodzią

Powódź jest wezbraniem wody w ciekach, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu, podczas którego woda po przekroczeniu stanu brzegowego zalewa doliny rzeczne albo tereny depresyjne i powoduje zagrożenie dla ludności lub mienia. Wg prawa wodnego przez powódź rozumie się czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, w szczególności wywołane przez wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, z wyłączeniem pokrycia przez wodę terenu wywołanego przez wezbranie wody w systemach kanalizacyjnych. Powodzie są zjawiskiem naturalnym, związanym z obiegiem wody w przyrodzie. Nie sposób więc ich uniknąć. Pomimo ogromnego postępu w ciągu ostatnich dziesięcioleci w wielu obszarach nauki i techniki ryzyko powodzi nie zostało zażegnane (Kundzewicz, 2002). Powodzie mogą mieć różne przyczyny, m.in. takie, że człowiek wkroczył na tereny zalewowe. Powodzie, które wystąpiły w dorzeczu rzeki Odry w 1997, 2006 i 2010 roku czy też Wisły w 2001 roku spowodowały duże straty ekonomiczne. Niezbędne było zaangażowanie wielu sił ludzkich, środków technicznych i materiałów do walki z tą klęską żywiołową. Na rysunku 1 przedstawiono wezbranie powodziowe i jego skutki na rzece Odrze w maju 2010 roku.



Rys. 1. Wezbranie powodziowe na Odrze w przekroju Opole, maj 2010 r.  
(Fot. M. Wiatkowski - po lewej; KMPSP Opole – po prawej)

W związku z tym, że powodzie, jak i inne zjawiska ekstremalne występują obecnie i będą występowały w przyszłości istnieje pilna potrzeba szybkiego i dokładnego przekaza-



zywania wszystkim zainteresowanym użytkownikom informacji o zagrożeniach i przewidywanych skutkach. Bardzo ważne jest prowadzenie osłony hydrologiczno-meteorologicznej. Jak podają Wiatkowski i inni (2010) zagrożenie powodziowe i powódź oraz jej skutki najbardziej są odczuwalne na szczeblu gminy. Na tym właśnie szczeblu obywatele odczuwają jak w praktyce funkcjonuje szeroko pojęta ochrona przeciwpowodziowa a w niej system zarządzania kryzysowego i realizacja funkcji państwa w zakresie zapewnienia im bezpieczeństwa w przypadku powodzi jak również i innych różnego rodzaju zagrożeń i sytuacji kryzysowych.

Powodzie są normalnymi zjawiskami przyrodniczymi, zdarzeniem żywiołowym i występującym losowo, związanym z przerwaniem wału i zatopieniem zawala lub zalaniem doliny niechronionej, powodującym wystąpienie strat gospodarczych i społecznych (Mioduszewski i inni, 2006). Natomiast wezbraniem nazywa się podniesienie stanu wody w rzece w wyniku wzmożonego zasilania lub piętrzenia wody przez zator lodowy lub śryżowy, nagromadzenie pni i gałęzi drzew, a nawet nadmiernego rozwoju roślinności w korycie rzeki (Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski, 2006; Byczkowski, 1996). Wezbranie jest zjawiskiem hydrologicznym, natomiast powódź to zjawisko o charakterze hydrologicznym ale przede wszystkim przyrodniczo-gospodarczym.

Powodzie są efektem działalności człowieka poprzez zakłócenie normalnych zjawisk przyrodniczych lub też wynikiem awarii urządzeń technicznych. Do przyczyn naturalnych wezbrań zaliczamy: wezbrania nawalne (pochodzące z gwałtownych deszczy); wezbrania rozlewnie (pochodzące z deszczy głównie w miesiącach letnich przy opadach trwających 3–5 dni); wezbrania zatorowe (wynikające z zablokowania przekroju poprzecznego rzeki śryżem, krą i lodem dennym); roztopowe (w wyniku topnienia śniegu i lodu); roztopowo-opadowe; lawiny i sztormy (Czaban, 2008).

Przez ochronę przeciwpowodziową rozumie się zespół działań mających na celu ograniczenie strat powodziowych. Poczynania te mają charakter zabiegów technicznych oraz nietechnicznych (Pierzgalski i Żelazo, 2008; Wołoszyn i inni, 1994; Zagrożenia, 2002).

Wraz z Dyrektywą Powodziową wprowadzony został do praktyki działania nowy sposób myślenia o metodach radzenia sobie ze zjawiskiem powodzi i jej skutkami. W praktyce zaproponowano stosować trzy strategie ograniczania strat powodziowych, które w rzeczywistości powinno się stosować równocześnie:

- Strategia 1. Trzymać powódź z daleka od ludzi.
- Strategia 2. Trzymać ludzi z daleka od powodzi.
- Strategia 3. Nauczyć się żyć z powodzią (Siudak i Konieczny, 2010).

Ze względu na stosowane środki techniczne ochronę przed powodzią dzielimy na ochronę czynną i bierną. Ochrona czynna przed powodzią polega na sterowaniu obiektami hydrotechnicznymi (zbiorniki retencyjne, poldery z ruchomymi zamknięciami sterowane, suche zbiorniki z regulowanym odpływem, działania polegające na lodofamaniu i likwidacji zatorów lodowych oraz na retencyjnym przysposobieniu zlewni poprzez zwiększenie powierzchni zalesienia, zwiększenie zdolności retencyjnej małych zbiorników wodnych, stawów i cieków oraz poprzez właściwą agrotechnikę i agromeliorację) w celu ograniczenia wielkości wezbrania. Bierna ochrona przeciwpowodziowa - obiekty, które zabezpieczają określone tereny lub zmniejszają wielkość fali wezbraniowej przez sam fakt swego istnienia: wały przeciwpowodziowe, poldery przepływowe (niesterowane), suche zbiorniki przeciwpowodziowe bez zamknięć, kanały ulgi i wrota przeciwpowodziowe, uregulowane rzeki i potoki górskie. Do metod nietechnicznych można zaliczyć: wszystkie zarządzenia



określające sposób działania komitetów przeciwpowodziowych, ich organizację i kompetencje, wyposażenie magazynów, wreszcie różnego rodzaju nakazy i zakazy dotyczące zagospodarowania obszarów zagrożonych zalewami; odpowiednie ustawodawstwo stymulujące zabudowę na terenach najbardziej zagrożonych; warunkowe udostępnianie dla budownictwa terenów mniej zagrożonych, zabezpieczenie obiektów istniejących na terenach zalewowych; budowę lokalnych systemów bezpośredniego ostrzegania ludzi; organizowanie formalnych i nieformalnych (wolontariat) struktur reagowania na powódź; poprawę wiedzy ludzi o powodzi; budowanie public relations dla komunikacji wewnątrz i na zewnątrz samorządu. Do metod nietechnicznych należy również usprawnienie systemów ostrzegawczo-alarmowych, ratowniczych i innych systemów szybkiego działania. Ponadto do podstawowych działań, które w zdecydowany sposób przyczyniają się do zmniejszenia strat powodziowych można zaliczyć także: właściwe odprowadzenie wód deszczowych z okolicy domu, dbałość o prawidłowe działanie rowów odwadniających, zabezpieczenie kanalizacji przed cofaniem się ścieków, przygotowanie domu na powódź (stosowanie osłon stałych, worków z piaskiem, organizacja życia w domu, przygotowanie rodziny do ewakuacji, itp. (Mioduszewski i inni, 2006; Paul i Wiatkowski, 2008; Wiatkowski i inni, 2010; Wołoszyn i inni, 1994; Zagrożenia, 2002).

Dla działań w zakresie ochrony przeciwpowodziowej w dorzeczu Odry ustalono następujące priorytety (Monitoring 2007):

- Zmniejszenie ryzyka szkód powodziowych.
- Podwyższenie świadomości zagrożenia powodzią.
- Doskonalenie systemu osłony przeciwpowodziowej i prognoz.
- Zmniejszenie zanieczyszczeń wód spowodowanych przez powódzie.
- Dostosowanie przepisów prawnych.
- Powiększenie naturalnej retencji w całym dorzeczu, zwłaszcza w górnym i środkowym biegu Odry oraz jej dopływów.
- Powiększanie sztucznej retencji na Odrze i jej dopływach.
- Techniczną ochronę przeciwpowodziową i poprawę sterowania zbiornikami retencyjnymi, polderami i zaporami.
- Wpływanie na wielkość ryzyka powodziowego przez zmniejszanie potencjału szkód, doskonalenie systemu osłony i prognoz powodziowych, podwyższanie świadomości ryzyka oraz wspieranie indywidualnych i lokalnych działań zapobiegawczych (Monitoring 2007).

W 2007 r. kraje członkowskie UE przyjęły Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (2007/60/WE), zwaną „Dyrektywą Powodziową”. Dyrektywa ta dąży do ujednoczenia definicji i wyznaczenia ogólnego standardu postępowania przy identyfikacji zagrożenia, oceny ryzyka i podjęcia środków zaradczych ograniczających straty powodziowe. Dyrektywa odchodzi od pojęcia „ochrona przed powodzią” na rzecz opracowywania map zagrożeń powodziowych i opracowania dokumentu „Plan zarządzania ryzykiem powodziowym”. Przyjmuje się tu nieco inną filozofię mówiąc, że istnieje tylko możliwość ograniczenia zagrożeń powodziowych, ale nie ma możliwości zapewnienia całkowitej (100%) ochrony. Oprócz obszaru dorzeczy, dyrektywa oraz związana z tym aktualizacja Prawa wodnego dotyczą również ryzyka powodziowego od strony morza, w tym morskich wód wewnętrznych.

Podstawowe dokumenty, które powstają/ły w ramach Dyrektywy Powodziowej to:

- Wstępna Ocena Ryzyka Powodziowego.





- Mapy Zagrożenia Powodziowego.
- Mapy Ryzyka Powodziowego.
- Plan Zarządzania Ryzykiem Powodziowym.

Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW) sukcesywnie i terminowo wdrażał postanowienia Dyrektywy Powodziowej. Pierwszy z dokumentów – wstępna ocena ryzyka powodziowego - został opracowany i opublikowany w grudniu 2011 r. Kolejny etap, czyli sporządzenie map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego, również został zakończony. Mapy są już dostępne na stronie internetowej KZGW. W dniu 22 grudnia 2013 r. mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego, przekazane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, zostały opublikowane na Hydroportalu MZP i MRP w formie plików PDF. W 2014 r. mapy podlegały sprawdzaniu i weryfikacji. Uwagi zgłaszane przez organy administracji były rozpatrywane i w uzasadnionych przypadkach uwzględniane. Przekazanie przez Prezesa KZGW ostatecznych wersji map jednostkom administracji nastąpiło w dniu 15 kwietnia 2015 r. Mapy w wersji kartograficznej w formacie pdf dostępne są na Hydroportalu KZGW, pod adresem: <http://mapy.isok.gov.pl>.

W ramach projektu ISOK zostały opracowane mapy zagrożenia powodziowego przedstawiające obszary zagrożone powodzią o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia:

- obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest niskie i wynosi 0,2 %, (czyli raz na 500 lat);
- obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1 %, (czyli raz na 100 lat),
- obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi 10 %, (czyli raz na 10 lat);

Obszary zagrożone powodzią o prawdopodobieństwie 1% i 10%, stanowią obszary szczególnego zagrożenia powodzią, w rozumieniu ustawy Prawo wodne, dla których obowiązują zakazy zabudowy. Dodatkowo na mapach zagrożenia powodziowego przedstawiono obszary obejmujące tereny narażone na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia wału przeciwpowodziowego lub budowli ochronnych pasa technicznego. Przy wyznaczaniu tych obszarów uwzględniono w obliczeniach przepływ o prawdopodobieństwie wystąpienia 1%. Ponadto na mapach zagrożenia powodziowego przedstawiono:

- głębokość wody;
- oraz prędkość wody i kierunki przepływu wody – dla miast wojewódzkich i miast na prawach powiatu oraz innych miast o liczbie mieszkańców przekraczającej 100 000 osób.

Należy pamiętać, że studia ochrony przeciwpowodziowej dla odcinków rzek, dla których nie wykonano map w I cyklu planistycznym, zachowują ważność do czasu sporządzenia i przekazania właściwym organom map zagrożenia powodziowego, opracowanych w kolejnych cyklach planistycznych (<http://www.isok.gov.pl>).

Uzupełnieniem map zagrożenia powodziowego są mapy ryzyka powodziowego, określające wartości potencjalnych strat powodziowych oraz przedstawiające obiekty narażone na zalanie w przypadku wystąpienia powodzi o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia. Są to obiekty, które pozwolą na ocenę ryzyka powodziowego dla zdrowia i życia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej, czyli grupy, dla których należy ograniczyć negatywne skutki powodzi zgodnie z celami Dyrektywy Powodziowej.



Jak podano na stronach Informatycznego Systemu Ochrony Kraju ([www.isok.gov.pl](http://www.isok.gov.pl)) mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego jako dokumenty planistyczne stanowią w praktyce nietechniczny środek ochrony przeciwpowodziowej mający na celu ograniczenie potencjalnych negatywnych konsekwencji powodzi. Celem powstania tych dokumentów jest właściwe zarządzanie ryzykiem jakie może stwarzać powódź dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, gospodarki. Udostępnienie informacji o obszarach zagrożonych powodzią i poziomie tego zagrożenia, jak również wskazanie jakie ryzyko wiąże się z wystąpieniem powodzi na danym obszarze, z pewnością przyczyni się do podejmowania przez mieszkańców, jak również władze lokalne, świadomych decyzji odnośnie lokalizacji inwestycji. Każdy obywatel może sprawdzić, czy zamieszkuje obszar zagrożony powodzią, a jeśli tak, to jak bardzo jest zagrożony. Mapy stanowią podstawę dla racjonalnego planowania przestrzennego na obszarach zagrożonych powodzią, a tym samym dla ograniczania negatywnych skutków powodzi. Informacje zawarte na mapach będą również przydatne w reagowaniu i zarządzaniu kryzysowym w przypadku wystąpienia powodzi. Mapy mogą stanowić punkt wyjścia do prowadzenia dalszych analiz niezbędnych do realizacji działań różnych organów administracji, w tym zarządzania kryzysowego. Zakres danych zawartych na mapach z pewnością może stanowić element wspomagający wprowadzenie normatywnych określających zasady ubezpieczenia ludzi i majątku trwałego na obszarach zagrożonych powodzią. Jednak głównym celem opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego jest stworzenie podstaw do opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym – ostatniego etapu wdrażania Dyrektywy Powodziowej. Mapy te będą skutecznym narzędziem pozyskiwania danych, podstawą ustanawiania priorytetów i podejmowania dalszych decyzji o charakterze technicznym, finansowym i politycznym dotyczących zarządzania ryzykiem powodziowym (<http://www.isok.gov.pl>).

Często zagrożenie powodziowe w dolinach rzek spowodowane jest w dużej mierze złym stanem technicznym obwałowań i murów oporowych, które wymagają remontu i modernizacji. Na rys. 2 przedstawiono wały odrzańskie w Opolu, wybudowane po powodzi w 1903 roku. Podczas powodzi na Odrze w 2010 roku wzmacniano wały workami z piaskiem.



Rys. 2. Wały odrzańskie w przekroju Opole, w okresie powodzi na Odrze w 2010 r. Widok od strony zawala (Fot. M. Wiatkowski)

Wały przeciwpowodziowe zaliczane są jako budowle przeznaczone do ochrony przeciwpowodziowej, do jednej z 4 klas budowli hydrotechnicznych w zależności od wielkości



obszaru chronionego danym obwałowaniem (według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie (Borys i Rycharska, 2008). Przekrój poprzeczny wału powinien być zaprojektowany tak, aby wał był stateczny oraz aby krzywa depresji w korpusie obwałowania w granicznym położeniu była oddalona od powierzchni skarpy odpowietrznej nie mniej niż 1 m. Rzędna korony wału wynika z położenia zwierciadła wód obliczeniowych ustalonych na podstawie przepływów miarodajnych i kontrolnych oraz wyników obliczeń hydraulicznych. Obliczeniowe przepływy wezbraniowe wód miarodajnych i kontrolnych przyjmuje się zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2007. Jak podaje Mioduszewski (2010) klasy wałów przeciwpowodziowych powinny być okresowo weryfikowane. Dotyczy to szczególnie podwyższenia klasy, gdy nastąpił rozwój zabudowy obszaru chronionego.

Pewnym zagrożeniem w dolinach rzek są podtopienia. Jest to pojawienie się wód podziemnych blisko powierzchni terenu w związku z: obniżaniem powierzchni terenu, piętrzeniem wód podziemnych na skutek podnoszenia się zwierciadła wód w ciekach i zbiornikach powierzchniowych, antropogenicznym zahamowaniem przepływu wód podziemnych (Nowicki i inni, 2007), rys. 3.



Rys. 3. Podtopienie terenów w wyniku podniesienia się zwierciadła wód w zbiorniku Michalicy na rzece Widawie (po lewej) oraz wód w zbiorniku Psurów na rzece Prośnie (Fot. M. Wiatkowski)

Podtopienia są to zalania terenów z innych przyczyn niż powódź (np. wystąpienie wody z koryta rzeki). Ich przyczynami mogą być np. wypełnienie retencji powierzchniowej zlewni, duże opady deszczu oraz przesiąki wody przez wały przeciwpowodziowe (Bednarczyk i inni, 2006). Podtopienia zachodzą również w warunkach bardzo płytkiego występowania wód gruntowych i słabo przepuszczalnego podłoża, przy jednoczesnym niewielkim spadku hydraulicznym. W sytuacji intensywnego zasilania przez opady atmosferyczne następuje spiętrzenie wód gruntowych aż do powierzchni terenu a następnie jego zalanie. Ma to przede wszystkim miejsce na dużych płaskich powierzchniach, bagnach i niekorkowanych zagłębieniach terenu. Podtopienia mogą występować stale lub sezonowo w ciągu roku, jak i w podczas intensywnych opadów atmosferycznych, roztopów i powodzi (Nowicki i inni, 2007). Jak podaje Pierzgałski (2011) podtopienia występują w sąsiedztwie stopni i zbiorników wodnych, a także mogą być skutkiem działalności bobrów.



## Ad. 2) Zagrożenie suszą i ochrona przed suszą

Nadzwyczajne zagrożenia i katastrofy związane z pogodą wzbudzają w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie. Susza jest zjawiskiem złożonym i trudnym do jednoznacznego określenia. Pojawia się okresowo, w różnych porach roku. Podstawowymi charakterystykami suszy są: intensywność, czas trwania i zasięg (Łabędzki, 2006). Susze są ekstremalnymi zjawiskami przyrodniczymi, które charakteryzują się długotrwałym brakiem lub niedostatkim opadów atmosferycznych. W okresie tym występuje niedostatek wody w ciekach powierzchniowych, w glebie oraz ma miejsce obniżanie się poziomu zwierciadła wody podziemnej. Obniżenie zwierciadła wody podziemnej oddziałuje na ekosystemy lądowe bezpośrednio zależne od nich, tj. ekosystemy zaopatrujące się w wodę z wód podziemnych.

Oddziaływanie suszy na środowisko, społeczeństwo i gospodarkę w regionie zależy zarówno od czasu trwania, natężenia, zasięgu przestrzennego jak również od podatności środowiska, społeczeństwa i gospodarki na pojawianie się suszy. Czynnikiem zwiększającymi podatność są m.in.: niewłaściwe użytkowanie ziemi, nieracjonalne gospodarowanie wodą, w tym brak właściwego zarządzania i administrowania jej poborem oraz mała retencyjność zlewni rzecznych. Susza przebiega w kilku fazach rozwojowych. W fazie pierwszej ma miejsce brak opadów atmosferycznych lub występuje taki ich niedobór, który w połączeniu z wysoką temperaturą powietrza prowadzi do przewagi wielkości ewapotranspiracji nad wielkością opadu. Gdy stan przewagi ilości wyparowywanej wody nad dostarczaną z atmosfery utrzymuje się dłużej pojawia się faza druga - susza glebowa, w następnej fazie (trzeciej) utrzymywanie się niedoboru opadów powoduje obniżenie poziomu wód podziemnych, z którym ustaje zasilanie wód powierzchniowych. Wyróżnia się w związku z tym suszę atmosferyczną, glebową i hydrologiczną. Efektem występowania susz i związanych z tym niedoborów wody są często poważne straty w całej gospodarce, której najwrażliwszą gałęzią jest rolnictwo. Susze są również przyczyną pożarów lasów czy torfowisk. W ramach polityki dotyczącej niedoboru wody i susz do głównych elementów zaliczono działania mające na celu:

- oszczędne gospodarowanie wodą (w rolnictwie i środowisku miejskim),
- lepsze planowanie (zarządzanie zapotrzebowaniem, planowanie przestrzenne, utworzenie obserwatorium ds. susz i opracowanie wskaźników, większe uwzględnienie kwestii niedoboru wody i susz w planach gospodarowania wodami w dorzeczu oraz w polityce poszczególnych sektorów) oraz
- odpowiednie instrumenty wykonawcze (takie jak finansowanie oszczędnego gospodarowania wodą, ustalanie cen wody, rozdział wody).

Bardzo dużą wagę przywiązuje się do rozwoju obserwatorium ds. susz i systemu wczesnego ostrzegania przed suszami (Żyromski, 2013). Niżówki letnie ilustruje rysunek 4.





Rys. 4. Niżówka letnia, rzeka Bóbr poniżej granicy z Czechami w województwie dolnośląskim oraz rzeka Pratwa poniżej zbiornika Brzózki w województwie opolskim (Fot. M. Wiatkowski)

Stosowane obecnie w Polsce metody przeciwdziałania szkodliwym efektom susz w rolnictwie, to przede wszystkim: zwiększanie naturalnych zasobów wodnych strefy produkcyjnej, zwiększanie wykorzystania dostępnych zasobów wodnych, zmniejszanie potrzeb wodnych upraw rolniczych oraz zmniejszanie strat wody (Łabędzki, 2004). Spośród tych metod do najważniejszych i najbardziej efektywnych zalicza się: technologie uprawy gleby zwiększające jej wilgotność i stopień wykorzystania wody glebowej (zatrzymywanie opadu w miejscu jego wystąpienia, zwiększenie infiltracji, zwiększenie warstwy czynnej poboru wody przez korzenie); dobór odpowiednich gatunków i odmian roślin (odporność na suszę, krótszy okres wegetacji i mniejsze w związku z tym potrzeby wodne, głębszy system korzeniowy); odpowiednie nawożenie rozwijające silny system korzeniowy; gromadzenie wody w okresach jej nadmiaru – wiosną i po dużych opadach (budowa zbiorników retencyjnych i budowli melioracyjnych hamujących odpływ wody z pól) oraz nawodnienia (Łabędzki, 2004). Choć jak donoszą Kaca i Mioduszewski (2011) pobór wody do nawodnień rolniczych, w chwili obecnej jest niewielki, dużo mniejszy niż w krajach europejskich o podobnych warunkach klimatycznych. Ponadto są to głównie wodochłonne nawodnienia tzw. podsiątkowe stosowane na użytkach zielonych w dolinach rzek. Jak podają Ci Autorzy wszelkie analizy wykazują, że powierzchnia nawadniana, głównie przy stosowaniu wodooszczędnych nawodnień mechanicznych, będzie stale wzrastać, szczególnie nawodnienia warzyw i upraw sadowniczych oraz wysokowydajnych roślin polowych i energetycznych. Nawodnienia stanowią jeden z ważniejszych elementów zapewniających wzrost konkurencyjności polskiego rolnictwa. Natomiast zmniejszać się będzie areał nawodnień podsiątkowych m.in. w wyniku wycofywania się rolnictwa z trudnych terenów. Natomiast będzie wzrastać rola tych nawodnień jako czynnika ograniczającego degradację cennych przyrodniczo odwodnionych mokradeł (Kaca i Mioduszewski, 2011).

### **Ad. 3) Stan infrastruktury melioracyjnej i rowów melioracyjnych oraz zagrożenia zbiorników wodnych**

Zgodnie z Prawem wodnym „melioracje wodne polegają na regulacji stosunków wodnych w celu polepszenia zdolności produkcyjnej gleby, ułatwienia jej uprawy oraz na ochronie użytków rolnych przed powodzią” (Mioduszewski, 2014). Warunkiem popraw-

nego funkcjonowania systemów nawadniających i odwadniających jest utrzymanie sieci rowów z budowlami w sprawności technicznej. W okresie powojennym (lata 60 i 70 XX wieku) na dużych obszarach użytków rolnych wykonano systemy melioracyjne. Budowano dwa typy systemów: systemy drenarskie na gruntach ornych oraz sieć rowów odwadniających na użytkach zielonych, głównie w dolinach rzek (Mioduszewski, 2004).

Infrastruktura wodno-melioracyjna jest bardzo bogata. Ponad 30% powierzchni gruntów rolnych (18% powierzchni kraju) wyposażona jest w różnego typu techniczne urządzenia wykonane dla potrzeb regulacji uwilgotnienia gleb. W skład systemów melioracyjnych wchodzi ponad 60 tys. km rzek uregulowanych i nieuregulowanych. Są to tzw. melioracje podstawowe – istotne dla regulacji stosunków wodnych w rolnictwie, w stosunku do których obowiązki właściciela pełni Marszałek województwa. Systemy melioracyjne to również ponad 250 tys. km rowów i kanałów będących w użytkowaniu właścicieli gospodarstw rolnych (melioracje szczegółowe). Stan utrzymania infrastruktury technicznej jest niewystarczający. Widoczny jest proces degradacji urządzeń i obiektów powodujący, że w okresach suszy lub powodzi urządzenia te nie spełniają swoich funkcji. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak środków finansowych, ale również niedocenianie przez właścicieli potrzeby utrzymania urządzeń w sprawności technicznej. Spotykane są coraz częściej przypadki występowania znacznych ograniczeń w zakresie konserwacji cieków z uwagi na ochronę walorów przyrodniczych tych cieków oraz siedlisk znajdujących się w otoczeniu terenów rolnych. Niezbędne jest podjęcie działań dla ograniczenia procesu degradacji urządzeń wodno-melioracyjnych na terenach rolnych i utrzymania ich w pełnej sprawności technicznej przy jednoczesnym uwzględnianiu potrzeb środowiska przyrodniczego i zapewnieniu biologicznej różnorodności obszarów wiejskich (Kaca i Mioduszewski, 2011).

Gospodarowanie na obiekcie musi być dostosowane do sposobu użytkowania terenu. Urządzenia melioracyjne muszą być inaczej eksploatowane w warunkach intensywnego a inaczej ekstensywnego użytkowania rolniczego doliny (Jurczuk i Mioduszewski, 2006). Priorytetem działań utrzymaniowych jest takie regulowanie poziomem wody w rzece i w przyległej dolinie, aby spełnione zostały warunki „polepszenia zdolności produkcyjnej gleby”. Jak podaje Mioduszewski (2014) oprócz aspektów przyrodniczych poza kompetencjami służb melioracyjnych znajdują się również takie zagadnienia jak: nawodnienia sadów i warzyw, pobór wody powierzchniowej i podziemnej do nawodnień gruntów ornych, gospodarka wodna w lasach i na terenach zabudowanych, pobór wody do napełniania stawów rybnych, działania z zakresu małej retencji (z wyjątkiem „średnich” zbiorników wodnych). Profesor Mioduszewski zwraca uwagę na to, że „melioracje” w obecnym stanie prawnym i organizacyjnym nie są organizacją, która mogłaby realizować kompleksową gospodarkę wodną uwzględniającą potrzeby wszystkich użytkowników wody i dbającą o poprawę struktury bilansu wodnego.

Obecnie jest ważne utrzymanie rzek istotnych dla rolnictwa. Rzeki istotne dla rolnictwa podlegają marszałkowi województwa, a ich utrzymanie jest w gestii wojewódzkich zarządów melioracji działających w imieniu marszałka. Pełnią one następujące funkcje (Mioduszewski i Gniazdowska, 2014):

- odbiorniki wód drenarskich z systemów odwadniających grunty orne usytuowanych na terenach przyległych do doliny rzecznej,
- regulowanie poziomu wód gruntowych w użytkowanej rolniczo dolinie rzecznej i odbierającej wody z rowów odwadniających,



- retencjonowanie wód w korycie lub zbiorniku wodnym na potrzeby prowadzenia nawodnień (mechaniczny lub grawitacyjny pobór wody),
- przepuszczenie wód powodziowych nie powodując wystąpienia dużych szkód materialnych.

Systemy melioracyjne są jednym z ważniejszych technicznych elementów gospodarki wodnej na obszarach wiejskich. Ważną zasadą jest, aby możliwie dużo wody retencjonować na miejscu, ale bez szkody dla roślin uprawnych. Natomiast bardzo trudnym problemem, z którym musi zmierzyć się gospodarka wodna na obszarach wiejskich jest utrzymanie dolinowych systemów melioracyjnych oraz rzek jako odbiorników wód z obiektów drenarskich i jako koryt umożliwiających bezpieczne dla ludzi przeprowadzenie wód powodziowych (Mioduszeński, 2014).

Przez wiele lat na obiektach melioracyjnych oraz rzekach, również tych uregulowanych nie prowadzono żadnych prac utrzymaniowych (rys. 5). Zwierciadło wody w zarośniętych i zamulonych rzekach utrzymuje się wysoko powodując stałe podtapianie doliny, utrudniając odpływ wody z systemów odwadniających i hamując odpływ wód powodziowych. Na zaniedbanych systemach melioracyjnych obserwuje się duże zmiany roślinności oraz procesy wtórnego zabagnienia. Niektóre z tych dolin są nadal użytkowane rolniczo, ale są również tereny, z których wycofuje się rolnictwo (Mioduszeński, 2014).



Rys. 5. Rów z Biskupic (dopływ do zbiornika Brzózki na rzece Pratwie) oraz ciek Zimnik (dopływ do zbiornika Mściwojów) (Fot. M. Wiatkowski)

Niezbędne jest utrzymywanie w dobrym stanie technicznym budowli piętrzących, urządzeń kontrolno-pomiarowych i komunikacyjnych, mechanizmów wyciągowych i zamknięć budowli piętrzących. Urządzenia te muszą być utrzymane w pełnej sprawności (Jurczuk i Mioduszeński, 2006). Wtórne zabagnienia terenu mogą wystąpić także w zmelirowanych siedliskach, gdzie urządzenia melioracyjne straciły swe funkcje wskutek braku ich konserwacji. Długoletnie zaniedbania konserwacji urządzeń melioracyjnych, na terenach leśnych, mogą także spowodować znaczące szkody przyrodnicze i straty ekonomiczne (Pierzgalski, 2011). W praktyce dość często eksploatacja urządzeń melioracyjnych ogranicza się do realizacji procesu użytkowania. Konsekwencją tego jest między innymi zmniejszanie się sprawności urządzeń i przyspieszona ich dekapitalizacja. Warunkiem prawidłowej eksploatacji danego urządzenia technicznego jest więc jego obsługiwanie (utrzymanie) i użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem (Nyc i Pokładek, 2009).



Biorąc pod uwagę możliwe przyczyny powodzi, a także spodziewane zdynamizowanie zjawisk pogodowych (wiązane m.in. z globalnym ociepleniem klimatu) należy liczyć się ze wzrostem zagrożenia powodziowego na obszarach stosunkowo niewielkich zlewni. W takich warunkach podstawową, techniczną formą ochrony przeciwpowodziowej będzie poprawa retencyjności zlewni związana ze zmianami form zagospodarowania terenu oraz rozwój tzw. małej retencji zbiornikowej, a przede wszystkim właściwe utrzymanie cieków wodnych pod względem przepustowości hydraulicznej (Klędyński, 2011).

Małe zbiorniki wodne są podstawowymi obiektami małej retencji. Wykorzystywane są one dla różnorodnych celów m.in. do nawodnień rolniczych, hodowlanych jako stawy rybne, stawy ozdobne bądź też dla celów wędkarskich (nieprzemysłowa hodowla ryb); rekreacyjnych jako kąpieliska i magazynowania wody w okresach gdy przepływy wody są większe niż zapotrzebowanie na nią lub nie wystarczają na pokrycie potrzeb (Dziewoński, 1973; Mioduszewski i Łoś, 2002). Obok celu gospodarczego najważniejszym przeznaczeniem zbiorników jest ochrona przeciwpowodziowa. Wszystkie zbiorniki, niezależnie od rodzaju i wielkości, przyczyniają się do zmniejszenia zagrożenia powodziowego, akumulując nadmiary wód opadowych lub roztopowych. Dzięki możliwości regulowania przepływu zamknięciami urządzeń upustowych zbiorników następują zmiany przepływu rzeki z naturalnego na sterowany. Można stwarzać odpowiednie warunki przepływu w rzece poniżej zbiornika w celu zachowania charakterystycznych okazów flory i fauny.

Klasyfikacja małych zbiorników wodnych opiera się najczęściej na podstawie ich wielkości, źródeł zasilania wodą, przeznaczenia itp. (Mioduszewski, 1997, 2008). Kryteria podziału uwzględniają także funkcje i zadania zbiorników, lokalizację, sposób uzyskania pojemności, skutki społeczno-gospodarcze ewentualnej katastrofy oraz parametry zbiorników. Według podziału podanego przez Adamskiego i in. (1986) do małych zbiorników wodnych zalicza się te, których pojemność całkowita wynosi od 1 do 5 mln m<sup>3</sup> – przy czym zbiorniki o pojemności mniejszej od 0,05 mln m<sup>3</sup> oraz powierzchni zalewu mniejszej od 5 ha klasyfikuje się jako stawy wiejskie małe. Są one jednym ze sposobów pozyskiwania zasobów wody dyspozycyjnej dla środowiska przyrodniczego. Podział zbiorników przedstawił także Ciepłowski (1999). Podzielił on zbiorniki na: jednozadaniowe i wielozadaniowe (budowane częściowo). Natomiast ze względu na bezpieczeństwo budowli piętrzących i zagrożenia, jakie mogą wynikać dla środowiska Mioduszewski (2008) zaproponował podział zbiorników na małe zbiorniki (wysokość piętrzenia do 5m i pojemność do 0,5 mln m<sup>3</sup>), średnie zbiorniki (wysokość piętrzenia do 15m i pojemność do 1,0 mln m<sup>3</sup>) oraz zbiorniki duże (wysokość piętrzenia powyżej 15 m i pojemność powyżej 1,0 mln m<sup>3</sup>). Z grupy małych zbiorników wydziela się najmniejsze – mikrozbiorniki, o pojemności mniejszej niż 100 tys. m<sup>3</sup> i wysokości piętrzenia niższej niż 1,0 m. Mikrozbiorniki bardzo rzadko mogą stanowić zagrożenie dla człowieka lub środowiska przyrodniczego. W wielu przypadkach mogą one być wykonane sposobem gospodarczym i eksploatowane przez właściciela gruntu (nieruchomości), bez potrzeby powoływania specjalistycznych służb eksploatacyjnych (Mioduszewski, 2008).

W celu właściwego gospodarowania wodą retencionowaną w zbiornikach należy rozwiązać szereg problemów takich jak: zasady wyrównania odpływu i częstotliwości opróżniania zbiorników, właściwy dobór miarodajnych i kontrolnych przepływów dla opracowania gospodarki wodnej oraz wymiarowania urządzeń upustowych, szeroki zakres zagadnień związanych z wykonawstwem, bezpieczeństwem i statecznością zapór ziemnych, uregulowanie stosunków wodnych na terenach przyległych, jakość wody w zbiorniku, zagospodarowanie przestrzenne oraz odpowiednia gospodarka wodna w zlewni celem utrzymania



czystej wody w zbiorniku (Pływaczek, 1995; Wiatkowski i Kasperek, 2008). Bardzo ważna dla właściwej eksploatacji każdego zbiornika wodnego jest instrukcja gospodarowania wodą, opracowywana na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z 17.08.2006 w sprawie zakresu instrukcji gospodarowania wodą (Rozporządzenie 2006). Dla każdego zbiornika wodnego taka instrukcja powinna być wykonana i złożona do właściwego urzędu. Dopiero wówczas zbiornik może być użytkowany.

Jak podają Mioduszewski i Łoś (2002) dużym utrudnieniem przy użytkowaniu zbiorników małej retencji jest to, że obiekty te nie mają zagwarantowanej stałej eksploatacji przez fachowe służby potrafiące właściwie operować ruchomymi urządzeniami upustowymi. Natomiast Kaca i Mioduszewski (2011) stwierdzają, że duże obawy budzi stan kadry technicznej specjalizującej się w gospodarce wodnej na obszarach wiejskich. Wyraźnie odczuwa się brak specjalistów z odpowiednimi uprawnieniami budowlanymi i projektowymi. Duże braki kadrowe odczuwane są zarówno w administracji samorządowej (WZMiUW), jak i w biurach projektowych. Niezbędne jest podjęcie działań dla zahamowania niekorzystnego trendu w celu zapewnienia odpowiednich kadr niezbędnych dla rozwoju i utrzymania systemów wodnych i melioracyjnych.

Główne zagrożenia małych zbiorników zaporowych dotyczą budowli hydrotechnicznych, a szczególnie zapór. Ponadto dotyczą brzegów i czaszy zbiorników oraz stanu jakości wód. Małe zbiorniki zaporowe powinny pozostawać pod stałą kontrolą techniczną. Powinny być objęte przeglądami bieżącymi (dwa razy w ciągu roku) oraz okresową kontrolą (raz w ciągu roku i raz na 5 lat) wykonywaną przez osoby posiadające uprawnienia budowlane. Wynika to z art. 62 Prawa Budowlanego (Prawo Budowlane, 1994 z późn. zm). W celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji zbiorników należy dokonywać pomiarów i obserwacji stanu budowli, a więc betonów, skarp i ich roślinności, korony zapory oraz ewentualnych wycieków z drenaży do dolnego stanowiska. Takie kontrole są niezbędne, gdyż zagrożenia zbiorników dotyczące budowli wodnych stanowią duże niebezpieczeństwo przy eksploatacji zbiorników. Bardzo niebezpieczne dla budowli są zlodzenia, zwłaszcza te długotrwałe. Jak podaje Wiatkowski (2013a) na zbiorniku Nowaki na Korzkwi (lewostronny dopływ Cielnicy, która uchodzi do rzeki Nysy Kłodzkiej) takie zlodzenie miało miejsce zimą 2001/2001, czego wynikiem było pochylenie środkowego filara kładki prowadzącej do wieży upustu. Zniszczenie na skutek zlodzenia miało miejsce także na zbiorniku Brzózki na rzece Pratwie (dopływ rzeki Proсны). W czasie zimy 2005/2006 podczas długotrwałego zlodzenia uszkodzeniu uległ pomost spacerowy na lewym brzegu zbiornika. Stan taki zagrażał bezpieczeństwu turystom i wędkarzom (Wiatkowski, 2013a).

Dużym zagrożeniem dla małych zbiorników zaporowych jest proces eutrofizacji (rys. 6). Często możliwość wykorzystania retencjonowanej wody w zbiornikach zależy od jej jakości, a ta wynika m.in. z prowadzonej gospodarki wodno-ściekowej w zlewni zbiornika (Koc i Skwierawski, 2004; Wiatkowski i Paul, 2009). Źródłami zanieczyszczeń wody są źródła punktowe, rozproszone i obszarowe. Bardzo ważne więc jest solidne scharakteryzowanie wybranych problemów gospodarki wodnej na terenie zlewni danego zbiornika retencyjnego, podanie wszystkich skutków oddziaływań problemów gospodarki wodnej a także przedstawienie propozycji zmian mających na celu poprawę tego stanu. Nie bez znaczenia dla jakości wody zbiorników jest gospodarka rolna i wodno-ściekowa prowadzona w zlewni zbiorników, zarówno w bezpośredniej jak i pośredniej oraz ochrona zbiorników wodnych w krajobrazie (Koc i inni, 2001). Szczególnie ważne z punktu widzenia właściwego funkcjonowania zbiorników retencyjnych są zagadnienia gospodarki wodnej na obszarach ich



zlewni. Zbiorniki zaporowe bowiem ze względu na położenie w najniższym miejscu zlewni są odbiornikami zanieczyszczeń z obszaru całej zlewni, co decyduje o ich dużej wrażliwości na procesy w niej zachodzące (Wiatkowski i Rosik-Dulewska, 2015).



Rys. 6. Eutrofizacja zbiornika Psurów na rzece Prośnie (po lewej) oraz zbiornika Turawa na rzece Mała Panew (po prawej) (Fot. M. Wiatkowski)

#### **Ad. 4) Jakość i ochrona wód**

Ochrona wód stanowi ważny cel europejskiej polityki wodnej. Konsekwentne stosowanie RDW powinno pozwolić na osiągnięcie dobrego stanu chemicznego i ekologicznego dla wód powierzchniowych w szerokim znaczeniu oraz właściwego stanu chemicznego i ilościowego wód podziemnych. Jest to zadanie bardzo ambitne. Różnorodne wykorzystanie wód i gruntów powoduje różne oddziaływania na ogólną jakość i ilość wód oraz strukturę hydromorfologiczną wód powierzchniowych. W celu minimalizacji tych oddziaływań wszyscy, przede wszystkim przemysł i rolnictwo, powinni się zaangażować w realizację działań służących wdrażaniu RDW. Aby cele założone w RDW mogły być osiągnięte, konieczne jest usunięcie lub ograniczenie istotnych problemów gospodarki wodnej, które występują na obszarach dorzeczy. Zaliczyć do nich możemy m.in.: odprowadzanie do wody nieczyszczonych ścieków, nierównomierne występowanie zasobów wodnych i ich nadmierna eksploatacja, zagrożenie powodziowe, intensywna gospodarka stawowa, niezabezpieczone składowiska odpadów.

Ramowa Dyrektywa Wodna w zakresie wód powierzchniowych wymaga działań dotyczących: zapobiegania pogorszeniu się stanu wszystkich akwenów, ochrony i rekultywacji akwenów; ochrony i polepszania stanu wszystkich sztucznych i silnie zmienionych akwenów w celu osiągnięcia dobrego potencjału ekologicznego oraz dobrego stanu chemicznego wód; progresywnej redukcji zanieczyszczeń wód substancjami szczególnie niebezpiecznymi przez przerwanie czy stopniową eliminację emisji i zrzutów tych substancji. Wymagany jest ponadto monitoring stanów wody w akwenach i przepływów wody w ciekach w zakresie uwzględniającym relacje z charakterystykami ekologicznymi wód i związanego z tymi wodami środowiska, włączając kontrolę stanu chemicznego wód (stężenia zanieczyszczeń) oraz ocenę potencjału ekologicznego. W przypadku monitoringu należy zwrócić uwagę na znaczne rozszerzenie zakresu oraz na większą szczegółowość kontroli charakterystyk hydrobiologicznych i środowiskowych niż było to w dotychczasowej praktyce odpowiednich służb w Polsce. W zakresie wód podziemnych RDW wymaga działań dotyczących:





zapobiegania lub ograniczenia dopływu zanieczyszczeń do wód podziemnych i pogarszania się stanu zasobów tych wód; ochrony, polepszenia stanu i rekultywacji zasobów wód podziemnych oraz osiągnięcia równowagi między zasilaniem warstw wodonośnych a poborem z ujęć wód podziemnych; odwrócenia znaczących i trwałych trendów we wzroście stężeń zanieczyszczenia wód podziemnych powodowanego działalnością człowieka, co winno doprowadzić do progresywnej redukcji emisji substancji niebezpiecznych. Wymagany jest monitoring stanu chemicznego i ilościowego zasobów wód podziemnych (Materiały RDW [www.rdw.org.pl](http://www.rdw.org.pl)).

Zanieczyszczenie azotanami wód powierzchniowych, ocenione na podstawie wyników monitoringu z lat 1990-1999, było bardzo niskie. Z liczby 95523 wyników tylko 0,38% odpowiadało stężeniom azotanów powyżej 50 mg NO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> oraz 0,26% stężeniom 40 - 50 mg NO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>. Jak stwierdzono - na obszarach rolniczych problem zanieczyszczeń azotanowych w Polsce nie jest tak znaczący jak w krajach UE, jednakże będzie narastał ze względu na zaniedbania w zakresie przechowywania odchodów zwierząt, a także środków ochrony roślin (PROW 2007-2013). Jak wykazały badania Mioduszewskiego i innych (2002) najbardziej podatnymi na zanieczyszczenie substancjami biogennymi są wody powierzchniowe i gruntowe, na terenach intensywnej produkcji rolnej (wysoka nadwyżka azotu), w warunkach wysokich opadów (duża ilość wody z opadów przedostających się do warstw wodonośnych). Ilość azotu przedostającego się do warstw wodonośnych zależy w mniejszym stopniu od rodzaju gleby.

W Polsce 75% zwierząt utrzymywanych jest w systemie ściółkowym (gdzie wytwarzany jest obornik i gnojówka), a 25% w systemie bezściółkowym (gdzie wytwarzana jest gnojowica). Najważniejsze problemy z zanieczyszczeniem ze źródeł rolniczych wiążą się z:

- powszechną praktyką, jaką jest przechowywanie obornika bezpośrednio na gruncie, co ma duży wpływ na zanieczyszczenie studni przydomowych. Wg danych Ministerstwa Zdrowia, w 2000 roku 44,8% studni przydomowych posiadało wody złej jakości i nie nadającej do picia (powyżej 10 mg NO<sub>3</sub>/l);
- słabym wyposażeniem gospodarstw w płyty gnojowe i zbiorniki na gnojowicę; około 47% gospodarstw posiadało płyty gnojowe i 3,8% zbiorniki na gnojowicę o średniej pojemności, która pozwalała na przechowywanie gnojowicy przez 4 miesiące.

Jednym z najważniejszych czynników wpływających na jakość wody jest wielkość obsady zwierząt gospodarskich. Pogłowie zwierząt gospodarskich według Powszechnego Spisu Rolnego z 2002 wynosiło 5 532,7 tys. sztuk bydła, 18 628,9 tys. sztuk trzody chlewnej, 198783,5 tys. sztuk drobiu. Czynnikiem wpływającym na jakość wody mogą być także pozostałości chemicznych środków ochrony roślin oraz inne substancje toksyczne. Środki ochrony roślin mogą się dostawać do wód zarówno w obrębie zagrody wiejskiej, jak i z pól, na których są stosowane. W obrębie gospodarstwa rolnego zagrożenie wynika więc z niewłaściwego ich przechowywania i przygotowania do stosowania, a w obrębie pól z wymywania do wód gruntowych lub przemieszczania się do wód powierzchniowych (PROW 2007-2013).

Jakość wód powierzchniowych na terenach rolniczych zależy od wielu czynników, wśród których najistotniejsze to: intensywność stosowania nawozów mineralnych i środków ochrony roślin oraz terminy ich wysiewu, hodowla zwierząt, zły stan sanitarny wsi oraz opad atmosferyczny (Pijanowski i Kanownik, 2002). Działalność człowieka na obszarach zlewni rzecznych powoduje powstawanie zanieczyszczeń, które mogą być o charakterze punk-



towym, rozproszonym lub obszarowym. Jednym z najważniejszych problemów ochrony wód na obszarach wykorzystywanych rolniczo jest przeciwdziałanie zanieczyszczeniom obszarowym związkami azotu i fosforu, które powodują eutrofizację wód i prowadzą do niekorzystnych zmian w ekosystemach wodnych (Borecki i in., 2003). Przyjmuje się, że około 50-60% azotu i 30-40% fosforu odprowadzanych z terenu Polski do Bałtyku pochodzi z rolniczych zanieczyszczeń punktowych i obszarowych (Kodeks 2002). Wieloletnie badania prowadzone w wielu krajach doprowadziły do stwierdzenia, że 1-5% fosforu i 10-20% azotu wprowadzonego do gleby z nawozami mineralnymi zostaje wypłukane do okolicznych wód (Lossow i Gawrońska, 2000).

Ochrona jakości zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego wymaga podejmowania wielokierunkowych działań. Jednym z nich jest ograniczanie zanieczyszczeń u źródeł ich powstawania poprzez prowadzenie m.in. odpowiedniej gospodarki rolnej, zarówno w strefie zabudowań gospodarczych, jak i na użytkach rolnych. Możliwość realizacji takich działań na terenach rolniczych dają odpowiednie pakiety programów rolnośrodowiskowych. W celu ochrony wód przed zanieczyszczeniami w zlewni należy przestrzegać następujących zasad:

- a. na obszarach położonych w bezpośredniej bliskości wód powierzchniowych należy przestrzegać zasad stosowania nawozów,
- b. w odległości do 20 m od wód powierzchniowych, nie można stosować nawozów naturalnych, a nawozy mineralne należy rozsiewać ręcznie,
- c. pastwiska znajdujące się w bliskim sąsiedztwie wód powierzchniowych nie powinny być obciążone zbyt dużą liczbą zwierząt,
- d. wszystkie produkowane w gospodarstwie odpady pochodzenia zwierzęcego powinny być przechowywane w specjalnych i szczelnych zbiornikach.

W celu ochrony wód przed zanieczyszczeniami potrzeba jest również realizacji stref buforowych w zlewniach bezpośrednich rzek i zbiorników wodnych, zwłaszcza gdy te tereny w pobliżu wód są użytkowane rolniczo (rys. 7).



Rys. 7. Użytkowanie zlewni bezpośredniej zbiornika Brzózki na rzece Pratwie (dopływ rzeki Prosnny) (Fot. M. Wiatkowski)

Stężenie zanieczyszczeń w wodzie rzecznej wynika z interakcji pomiędzy ilością wody w rzece a stężeniem dostarczanych do niej zanieczyszczeń punktowych i obszarowych. Dla zanieczyszczeń i przyjmujących je rzek ustanowiono w Polsce normy określające



dopuszczalne stężenie zawartych w nich zanieczyszczeń (Chełmicki, 2001). Obecnie zakres i sposób badań jakości wód oraz kryteria oceny stanu wód określają rozporządzenia:

- Ministra Środowiska z dnia 4 października 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz. U. z 2002 r. Nr 176, poz.1455);
- Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych (Dz. U. z 2002 r. Nr 241, poz. 2093);
- Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych (Dz.U. z 2011 nr 258 poz. 1549);
- Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2014 poz. 1800);
- Ministra Zdrowia z dnia 3 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpielii (Dz.U. 2015 poz. 1510);
- Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2015 poz. 1989);
- Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. z 2016 poz. 1187);
- Ministra Środowiska z dnia 19 lipca 2016 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (Dz.U. z 2016 poz. 1178).

Zagadnienia związane z prowadzeniem badań monitoringowych wód reguluje art. 155a ustawy Prawo wodne, zgodnie z którym, celem monitoringu wód jest pozyskanie informacji o stanie wód dla potrzeb planowania w gospodarowaniu wodami. Ustawodawca czyni wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska odpowiedzialnym za badania wód powierzchniowych w zakresie elementów fizykochemicznych, chemicznych i biologicznych. Natomiast państwową służbę hydrologiczno-meteorologiczną zobowiązuje do badania wód powierzchniowych w zakresie elementów hydrologicznych i morfologicznych (Ocena 2011).

Wojewódzki inspektor ochrony środowiska wykonuje zadania m. in. w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Informacje wytworzone w ramach PMŚ wykorzystywane są przez jednostki administracji rządowej i samorządowej w celu podjęcia kluczowych decyzji w zakresie zarządzania środowiskiem i planowaniu przestrzennym, np. podczas opracowywania programów ochrony środowiska, sprawdzania skuteczności działań podjętych w celu ochrony środowiska czy wydawania pozwoleń na wprowadzanie do środowiska substancji lub energii. Nie bez znaczenia są także badania prowadzone przez inne instytucje np. uczelnie wyższe i instytuty naukowo-badawcze. Dostarczane przez te instytucje wyniki badań mogą uzupełnić informacje o środowisku, zwłaszcza gdy dotyczą one małych rzek i małych zbiorników wodnych.

Wśród wielu działań na rzecz ochrony jakości zasobów wodnych zasadnicze znaczenie może mieć wykorzystanie odpowiednich pakietów programów rolnośrodowiskowych, realizowanych w ramach Planu Rozwoju Obszarów Wiejskich, szczególnie w zlewniach rzecznych



(PROW). Programy rolnośrodowiskowe są instrumentem finansowym, jako wynagrodzenie za podejmowane działania na rzecz ochrony środowiska i realizowane są przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (Wiatkowski i Wiatkowska, 2006; Wiatkowski 2010b).

Eutrofizacja wód jest ważnym problemem, dotyczącym nie tylko Polski, ale również pozostałych państw Wspólnoty Europejskiej. W celu zapobieżenia niepożądanym skutkom eutrofizacji, Rada Unii Europejskiej wydała odpowiednie akty prawne, w tym dyrektywę ściekową (91/271/EWG), dotyczącą oczyszczania ścieków komunalnych, dyrektywę azotanową (91/676/EWG), która dotyczy ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego oraz Ramową Dyrektywę Wodną (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE), ujmującą kompleksowo zagadnienia związane z gospodarowaniem i ochroną wszystkich rodzajów wód (powierzchniowych oraz podziemnych). Celem RDW było osiągnięcie do 2015 r. dobrego stanu wód, również poprzez przeciwdziałanie eutrofizacji, a więc ograniczanie dopływu do wód substancji biogenych, aby zapobiec wzmożonemu rozwojowi fitoplanktonu oraz innych organizmów (Ocena 2011).

W celu zmniejszenia procesu eutrofizacji wód należy zmniejszyć dopływ do środowiska wodnego biogenów, poprzez uporządkowanie gospodarki ściekowej, stosowanie wysokoefektywnych metod oczyszczania ścieków, prowadzenie gospodarki rolnej zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej (m. in. poprzez stosowanie nawożenia w odpowiednich terminach, magazynowanie w gospodarstwach nawozów naturalnych w sposób zabezpieczający wymywanie czy przesiąkanie biogenów). Ponadto należy zakładać strefy buforowe, których głównym celem jest uniknięcie skażenia wód powierzchniowych w otwartych ciekach wodnych, jak i zbiornikach wodnych. Realizacja pakietów na rzecz ochrony wód w zlewni zbiornika powinna być prowadzona zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej (Wiatkowski i Wiatkowska, 2006). Nie bez znaczenia jest również edukacja społeczeństwa w zakresie stosowania środków piorących.

Ochrona zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami obszarowymi pochodzącymi z terenów wiejskich wymaga podejmowania wielokierunkowych działań, polegających na:

- likwidacji zanieczyszczeń u źródeł ich powstawania poprzez prowadzenie odpowiedniej gospodarki rolnej, budowę oczyszczalni, wprowadzenia technologii bezodpadowych itp.,
- ograniczeniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń poprzez powodowanie i stymulowanie procesów samooczyszczania się wód powierzchniowych i gruntowych.

Jak wynika z literatury przeprowadzone badania stężenia azotu i fosforu, na zlewniach średniej wielkości na obszarze USA, wykazały silny związek między rodzajem użytkowania a ich stężeniem (Chełmicki, 2001). Szczególnie duże znaczenie ma udział obszarów rolniczych, który sprzyja wysokiemu stężeniu biogenów i lasów – sprzyjający stężeniu niskiemu. Stąd bardzo ważnym zagadnieniem jest ochrona i poprawa jakości wód w ciekach i zbiornikach.



## METODY OGRANICZANIA DOPŁYWU ZANIECZYSZCZEŃ DO WÓD I POPRAWY JAKOŚCI WÓD

Ochrona jakości wód obejmuje dwa podstawowe obszary działań:

- ograniczenie emisji zanieczyszczeń obszarowych u źródeł ich powstawania poprzez stosowanie odpowiednich metod gospodarki rolnej, budowę oczyszczalni, poprawę stanu sanitarnego wsi i zagrody itp.;
- ograniczenie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, spowolnienie obiegu związków chemicznych oraz stymulowanie procesów samooczyszczania się wód podziemnych i powierzchniowych (Mioduszeowski, 2004).

Najkorzystniejsze jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń u źródeł ich powstawania. Jednak nawet szeroko zakrojone działania nie spowodują całkowitej likwidacji wszystkich źródeł zanieczyszczeń. Dlatego równoległe muszą być prowadzone prace polegające na ograniczaniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, w szczególności działania zmierzające do spowolnienia obiegu wody i materii w zlewni (Mioduszeowski, 2004). Dużą rolę odgrywa tu mała retencja w tym mikrozbiorniki, często okresowo napełniane wodą. Są to bardzo płytkie stawy i co najmniej w 50 % powierzchni porośnięte roślinnością wodną. W języku angielskim nazywa się je „constructed wetlands”.

Ograniczenie dopływu do wód związków biogenych stanowi ważne i niekiedy wystarczające przedsięwzięcie zapobiegające przed degradacją wody w większych zbiornikach wodnych. Dla spełnienia tego celu stosuje się dwie metody: uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej w zlewni cieków (m.in. budowa oczyszczalni ścieków) lub zastosowanie zbiornika wstępnego. Najlepsze rezultaty dotyczące ograniczenia dopływu do zbiornika zanieczyszczeń otrzymuje się przy zastosowaniu oczyszczalni ścieków. Jednak jest to działalność niezmiernie kosztowna, wymagająca dużego nakładu pracy i o długim czasie realizacji. Dlatego w praktyce inżynierskiej stosuje się zbiorniki wstępne (Czamara i inni, 2008). Zastosowanie zbiorników wstępnych w Polsce do ochrony retencjonowanej wody przed eutrofizacją ma miejsce od niedawna. Tylko nieliczne zbiorniki retencyjne zlokalizowane w zlewni rzeki Odry posiadają część wstępną, należą do nich: Turawa, na Małej Panwi, zbiornik Mściwojów na rzece Wierzbiak, Brzózki na rzece Pratwie i Gołuchów na rzece Ciemna. Znane są przykłady efektywności działań w zakresie ograniczenia dopływu nutrientów do zbiornika głównego przez wykorzystanie zbiorników wstępnych (Benndorf i in., 1975; Skonieczek i Koc, 2008; Wiatkowski, 2013b; Wiatkowski i Rosik-Dulewska, 2016). Prace te jednoznacznie donoszą, że stopień skuteczności zbiorników wstępnych jest wystarczający do ochrony przed eutrofizacją znajdujących się poniżej zbiorników głównych.

### Zbiorniki wstępne

Zmniejszenie dopływu do zbiornika substancji użyźniających, przede wszystkim fosforu może zostać osiągnięte na wiele sposobów i to z różnym stopniem skuteczności. Jednym ze sposobów jest zastosowanie zbiornika wstępnego. Zbiornik taki lokalizuje się bezpośrednio przed zbiornikiem głównym. Najczęściej w części cofkowej zbiornika głównego lub z boku (rys. 8). W zbiorniku tym zachodzi szereg procesów, w wyniku których do zbiornika głównego dopływa mniejsza ilość substancji użyźniających i zanieczyszczeń. Ponadto zbiorniki wstępne umożliwiają zatrzymywanie rumowiska, ochronę zbiornika głównego przed awaryjnymi zrzutami nieoczyszczonych ścieków, niedopuszczenie do odsłonięć w obszarach cofkowych przy obniżeniach zwierciadła wody zbiornika głównego a przez





to do ich zarastania i do nieestetycznych naruszeń krajobrazu, stworzenie dodatkowego magazynu wody w zbiorniku wstępnym, utrzymywanie zapasu wody na okres, gdy rezerwy zbiornika głównego są wyczerpane (Czamara i inni, 2008; Wiatkowski i Rosik-Dulewska, 2016).



Rys. 8. Zbiornik wstępny Klingenberg na rzece Wilde Weißeritz (Niemcy) oraz zbiornik wstępny Jedlice w cofce zbiornika Turawa na rzece Mała Panew (Fot. M. Wiatkowski)

### **Bariery biogeochemiczne**

Na wymywanie składników chemicznych z pól uprawnych do wód powierzchniowych duży wpływ ma szata roślinna. Ze zlewni o przewadze lasów rocznie wymyć się może z powierzchni 1 ha 2,2, kg azotu a ze zlewni o przewadze gruntów ornych 4,8 kg azotu. Ponadto znaczny udział w odpływie do wód związków chemicznych ma stopień zwarcia pokrywy uprawianych na polu roślin. I tak z łąk czy innych pól, gdzie rośliny wytwarzają zwarty kołnierze, wymywanych jest mniej składników w porównaniu z uprawami roślin okopowych (Karg i Karlik, 1993).

Intensywne wymywanie związków chemicznych na dużym terenie nie jest łatwe do kontroli przez zastosowanie technicznych urządzeń, tak jak to ma miejsce w przypadku zanieczyszczeń punktowych. Wymywane z dużych obszarów składniki mineralne, dominujące w zanieczyszczeniach obszarowych mogą być skutecznie ograniczone w efekcie przechwytywania ich przez systemy barier biogeochemicznych. Do takich barier należy zaliczyć przede wszystkim łąki zadrzewienia, ze względu na silnie rozbudowane systemy korzeniowe i wielowarstwowy układ roślinności krzewiastej oraz zielnej (Karg i Karlik, 1993). Jak podają Ci Autorzy prowadzone wieloletnie badania wynika, że zadrzewienia łąki posiadają dużą zdolność ograniczania przemieszczania się składników chemicznych pomiędzy ekosystemami w krajobrazie rolniczym. Np. koncentracje azotanów rozpuszczonych w wodach przesączających się z pól uprawnych przez pasmo zadrzewienia ulegają nawet około 20-krotnemu obniżeniu. Zadrzewienia ograniczają także migrację fosforu i metali ciężkich. Autorzy na dowód przedstawiają w swojej pracy wyniki badań chemizmu wód gruntowych w zlewni użytkowanej rolniczo, które wykazały że położone na linii spływu wód gruntowych zadrzewienia pasmowe i kępowe mogą poprzez swój dobrze rozwinięty system korzeniowy wykorzystać część migrujących z wodą gruntową składników biogennych z pól uprawnych. Wyniki badań nad azotem azotanowym i amonowym, fosforem fosforanowym, potasem, wapniem, magnezem, sodem, chlorem i siarką w postaci jonu siarczanowego



wskazują, że stężenia każdego z tych jonów w wodzie gruntowej pod zadrzewieniem jest mniejsze niż w wodzie gruntowej pod polem uprawnym (Karg i Karlik, 1993).

Ważne informacje na temat barier biogeochemicznych przedstawił także w swojej pracy Mioduszeński (2005). Stwierdził w pracy, że istotną rolę w gospodarowaniu wodą może odgrywać prawidłowe kształtowanie ładu przestrzennego obszarów wiejskich. Chodzi tu o tworzenie takiego układu przestrzennego, w którym nie będzie występował szybki odpływ wód opadowych i roztopowych. Można to osiągnąć m.in. poprzez: kształtowanie na obszarze zlewni odpowiedniego układu pól ornych, użytków zielonych i lasów, tworzenie roślinnych pasów ochronnych (krzewy, drzewa – zwiększanie lesistości zlewni), odtwarzanie możliwie licznych użytków ekologicznych, w tym oczek wodnych (Mioduszeński, 2005).

Istotne znaczenie roślinności w krajobrazie rolniczym przedstawiły Sumorok i Zdanowicz (2006). Wskazały, że roślinność, z dobrze zachowanymi zbiorowiskami roślinnymi oraz kompozycją różnych gatunków, jest naturalną barierą biogeochemiczną. Rośliny wykorzystują do budowy swoich tkanek pierwiastki biogeniczne, pochodzące również z nawożenia a także akumulują pewne ilości pierwiastków i związków pochodzących z zanieczyszczeń punktowych i obszarowych, w tym metale ciężkie (Sumorok i Zdanowska, 2006).

## PODSUMOWANIE

Gospodarka wodna odgrywa bardzo ważną rolę w życiu człowieka i często decyduje o stanie środowiska przyrodniczego. Jej zadaniem jest dostarczenie każdemu człowiekowi i gospodarce dostatecznych ilości wody (woda ta powinna charakteryzować się odpowiednią jakością). Z drugiej spełnia ona funkcję obronną przed niebezpieczeństwem, jakie woda często niesie (np. powódzie i susze). Obecnie przed gospodarką wodną stoją nowe wyzwania, wynikające z naturalnych, jak i antropogenicznych przekształceń.

Do głównych problemów gospodarki wodnej na terenie zlewni rzek i zbiorników wodnych omówionych w niniejszej pracy należy zaliczyć: zagrożenie powodziowe i ochronę przed powodzią, zagrożenie suszą i ochronę przed suszą, ocenę stanu infrastruktury melioracyjnej i rowów melioracyjnych, zagrożenia małych zbiorników wodnych, zagrożenia jakości i ochronę wód.

Jednymi z ważniejszych elementów gospodarki wodnej na obszarach wiejskich są systemy melioracyjne. Bardzo ważne jest właściwe utrzymanie w pełnej sprawności tych systemów oraz rzek jako odbiorników wód z obiektów drenarskich i jako koryt umożliwiających bezpieczne dla ludzi przeprowadzenie wód powodziowych. Należy ograniczać jakiegokolwiek szkody przyrodnicze i straty ekonomiczne.

Do głównych form ochrony przeciwpowodziowej należy zaliczyć poprawę retencyjności zlewni, rozwój małej retencji (przede wszystkim zbiornikowej) oraz właściwe utrzymanie cieków wodnych pod względem przepustowości hydraulicznej.

W celu zapobieganiu zagrożeniom wywołanym przez wodę należy uniezależniać się od zmiennych warunków przyrodniczych, wykorzystując rozwiązania techniczne, np. wały przeciwpowodziowe, zbiorniki wodne, systemy melioracyjne, oraz dostosowywać działalność człowieka do występujących zjawisk przyrodniczych, poprzez m.in. takie zagospodarowanie i użytkowanie terenu, aby występujące zjawiska przyrodnicze w jak najmniejszym stopniu oddziaływały ujemnie na życie i działalność gospodarczą człowieka. Ochrona przeciwpowodziowa wymaga rozwiązań kompleksowych dostosowanych





do warunków hydrologicznych zlewni. Obejmuje działania o charakterze technicznym (np. modernizacja istniejących wałów przeciwpowodziowych, budowa zbiorników wodnych) oraz działania nietechniczne.

Ochrona przed suszą powinna uwzględniać działania mające na celu oszczędne gospodarowanie wodą w rolnictwie i środowisku miejskim, lepsze planowanie, uwzględnienie kwestii niedoboru wody i susz w planach gospodarowania wodami w dorzeczach oraz wykorzystanie odpowiednich instrumentów wykonawczych (finansowanie oszczędnego gospodarowania wodą, ustalenie cen wody, rozdział wody).

Ochrona jakości wód wymaga podejmowania wielokierunkowych działań. Jednym z nich jest ograniczanie zanieczyszczeń u źródeł ich powstawania. W celu zmniejszenia procesu eutrofizacji wód należy zmniejszyć dopływ do środowiska wodnego biogenów, poprzez uporządkowanie gospodarki ściekowej, stosowanie wysokoefektywnych metod oczyszczania ścieków, prowadzenie gospodarki rolnej zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej.

W pracy przedstawiono metody ograniczania dopływu zanieczyszczeń do wód i poprawy jakości wód powierzchniowych. W celu ochrony wód przed zanieczyszczeniami potrzeba jest również realizacji stref buforowych w zlewniach rzek i zbiorników wodnych. Ponadto istnieje możliwość zastosowania zbiornika wstępnego.

Gospodarowanie wodami powinno odbywać się zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, z zachowaniem zasady racjonalnego i całościowego traktowania zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, z uwzględnieniem ich ilości i jakości. Gospodarowanie wodami powinno uwzględniać zasadę wspólnych interesów wszystkich użytkowników wód i powinno mieć charakter systemowy oraz odbywać się w granicach zlewni. Ponadto gospodarowanie wodami powinno być realizowane przez ścisłą współpracę specjalistów z różnych dziedzin a także przedstawicieli różnych instytucji oraz lokalnych społeczności.

## LITERATURA

- Adamski W., Gortat J., Leśniak E., Żbikowski A., 1986: Małe budownictwo wodne dla wsi. Arkady, Warszawa.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 2006: Hydrologia ogólna, PWN, Warszawa.
- Bednarczyk S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E. Vademecum ochrony przeciwpowodziowej. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Gdańsk, grudzień 2006 r.
- Benndorf, J., Pütz K., Krinitz H., Henke W., 1975: Die Funktion der Vorsperren zum Schutz der Talsperren vor Eutrophierung. WWT 25, 1, 19-25.
- Borecki T., Pierzgałski E., Żelazo J., 2003: Aktualny stan i niektóre zadania gospodarki wodnej w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem obszarów wiejskich. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 3, 103-108.
- Borys M., Rycharska J., 2008: Aktualny stan wałów przeciwpowodziowych. [w:] Czamara W., Dubicki A., Wiatkowski M. (red.), Zarządzanie kryzysowe – ochrona przed powodzią (zagadnienia naukowe), Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 159-172.
- Byczkowski A., 1996: Hydrologia. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Chełmicki W., 2001: Woda. Zasoby, degradacja, ochrona. PWN, Warszawa.
- Ciepielowski A., 1999. Podstawy gospodarowania wodą. Wyd. SGGW, Warszawa.



- Czaban S., 2008: Powodzie w Europie w latach 1985-2007. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich – Infrastructure and Ecology of Rural Areas, PAN, O/Kraków, 7, 243-254.
- Czamura W., Czamura A., Wiatkowski M. 2008. The Use of pre-dams with plant filters to improve water quality in storage reservoirs. Archives of Environmental Protection, vol. 34, SI, 79-89.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, [www.mos.gov.pl](http://www.mos.gov.pl)
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim. Dziennik Urzędowy UE L 288/27, 6.11.2007.
- Dziewoński Z., 1973: Rolnicze zbiorniki retencyjne. Wyd. PWN, Warszawa.
- Jurczuk S., Mioduszewski W., 2006: Gospodarowanie wodą w dolinowych systemach melioracyjnych. W: Woda w krajobrazie rolniczym, Wyd. IMUZ, Falenty, 29-43.
- Kaca E., Drabiński A., Ostrowski K., Pierzgalski E., Szafranski Cz., 2011: Gospodarowanie wodą w sektorze rolno-żywnościowym i obszarach wiejskich w warunkach nowych wyzwań i ograniczeń. Polish Journal of Agronomy 7, 14–21.
- Kaca E., Mioduszewski W., 2011: Woda w rolnictwie. W: „Potencjał obszarów wiejskich szansą rozwoju. Samorząd terytorialny dla Polski. Gospodarka wodna. Rola samorządu terytorialnego i użytkowników gruntów w przeciwdziałaniu podtopieniom i niedoborom wody”, Warszawa, 27-32.
- Karg J., Karlik B., 1993: Zadrzewienia na obszarach wiejskich. Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań.
- Kledyński Z., 2011: Ochrona przed powodzią i jej infrastruktura w Polsce. XXV Konf. Nauk.-Techn. Awarie budowlane, Międzyzdroje, 243-254.
- Koc J., Cymes I., Skwierawski I., Szperek U. 2001. Znaczenie ochrony małych zbiorników wodnych w krajobrazie rolniczym. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., PAN, 476, 397-407.
- Koc J., Skwierawski A., 2004: Uwarunkowania jakości wody małych zbiorników na obszarach wiejskich, Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., PAN, 499, 121-128.
- Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, 2002: Warszawa, MRiRW.
- Kundzewicz Z., 2002: Czy ryzyko powodzi ulega zmianom. [w:] Kundzewicz Z., Radziejewski W. (red.). Detekcja zmian klimatu i procesów hydrologicznych, Poznań, 139-152.
- Kundzewicz Z., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgalski E., 2010: Zagrożenia związane z wodą. Nauka, 4, 87-96.
- Lambor J.: 1957: Gospodarka wodna. PWN, Łódź - Warszawa.
- Lossow K., Gawrońska H., 2000: Ochrona zbiorników wodnych. Przegląd Kom. 9, 92-93.
- Łabędzki L., 2004: Problematyka susz w Polsce. Woda-Środowiska-Obszary Wiejskie, t.4, z. 1 (10), 47-66.
- Łabędzki Ł., 2006: Susze i powodzie – zagrożenia dla rolnictwa. W: Woda w krajobrazie rolniczym, Wyd. IMUZ, Falenty, 29-43.
- Materiały Ramowej Dyrektywy Wodnej. [www.rdw.org.pl](http://www.rdw.org.pl).
- Ministerstwo Środowiska - Harmonogram i program prac związanych ze sporządzaniem planów gospodarowania wodami dla obszarów dorzeczy wraz z zestawieniem działań, które należy przeprowadzić w drodze konsultacji społecznych. Broszura informacyjna ([www.mos.gov.pl](http://www.mos.gov.pl)), Warszawa 2006.
- Mioduszewski W., 1997: Rola małych zbiorników w środowisku przyrodniczym. IMUZ Falenty, 40, 5-18.



- Mioduszewski W., Łoś M.J., 2002: Mała retencja w systemie ochrony przeciwpowodziowej kraju. *Gosp. Wodna*, 2, 68-73.
- Mioduszewski M., Mannowski R., Deumlich D., Radczuk L., Olearczyk D., Kajewski I., 2002: Ocena zanieczyszczenia obszarowego w dorzeczu Odry, [w:] T. Ciupa, E. Kupczyk, R.Suligowski(red.),*Obiegwodywzmieniacymięśrodowisku*,AkademiaŚwiętokrzyska w Kielcach, 7, Instytut Geografii, Kielce, 203-213.
- Mioduszewski W., 2004: Gospodarowanie zasobami wodnymi w aspekcie wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t.4, z. 1 (10), 11-29.
- Mioduszewski W., 2005. *Gospodarka wodna w obszarach wiejskich*. Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie, 1(31), 5-18.
- Mioduszewski W., 2006: Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. W: *Woda w krajobrazie rolniczym*, Wyd. IMUZ, Falenty 2006, 11-28.
- Mioduszewski W., Borys M., Kowalewski Z. 2006: *Ochrona przed powodzią*. W: *Woda w krajobrazie rolniczym*, Wyd. IMUZ, Falenty 2006, 152-171.
- Mioduszewski W., 2008: *Małe zbiorniki wodne. Wytyczne projektowania*, Wyd. IMUZ, Falenty.
- Mioduszewski W., 2010: *Ochrona przed powodzią – kilka uwag*, ITP, Falenty.  
[http://www.itp.edu.pl/nauka/konferencje/ko20101201/5\\_prezentacja%20OCHRONA.pdf](http://www.itp.edu.pl/nauka/konferencje/ko20101201/5_prezentacja%20OCHRONA.pdf). Dostęp. 05.12.2016.
- Mioduszewski W., 2014: *Gospodarka wodna na obszarach wiejskich w świetle nowych wyzwań*. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, 2-9.
- Mioduszewski W., Gniazdowska J., 2014: *Utrzymanie rzek istotnych dla rolnictwa na przykładzie województwa mazowieckiego*. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 2, 50-59.
- Mosiej J., Somorowski Cz. 2001. *Aktualne problemy gospodarowania wodą w rolnictwie dla zrównoważonego i wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich*. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, 2-7.
- Monitoring wdrażania „Programu działań przeciwpowodziowych w dorzeczu Odry”*. Opracowanie, Międzynarodowa Komisja Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniem, Wrocław 2007.
- Nachlik E., 2011: *Rola samorządu terytorialnego i rolnictwa w ograniczaniu zagrożenia powodziowego oraz w łagodzeniu skutków niedoboru wody*. W: „Potencjał obszarów wiejskich szansą rozwoju. Samorząd terytorialny dla Polski. Gospodarka wodna. Rola samorządu terytorialnego i użytkowników gruntów w przeciwdziałaniu podtopieniem i niedoborom wody”, Warszawa 2011 r., 9-21.
- Nowicki Z. (red.). *Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2007.
- Nyc K., Pokładek R., 2009: *Eksplotacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym*. *Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska*, XIV, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław.
- Ocena jakości wód powierzchniowych i podziemnych w województwie opolskim w 2010 roku*. Komunikat 3/W/2011. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu, Opole 2011.
- Ostrowski K., Bogdał A., 2006: *Ocena zasobów wód odpływających z wybranych małych zlewni rolniczych Pogórza Wadowickiego*. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*, 2(18), 281-292.



- Paul L., Wiatkowski M., 2008. Powodzie w Niemczech i Polsce oraz sposoby ich ograniczania, [w:] Czamara W., Dubicki A., Wiatkowski M. (red.), Zarządzanie kryzysowe – ochrona przed powodzią (zagadnienia naukowe), Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 189-215.
- Pierzgalski E., Żelazo J., 2008: Uwarunkowania i kierunki ochrony przed powodzią. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie Nr 1/2008, 15-20.
- Pierzgalski E., 2011: Gospodarowanie wodą w obszarach leśnych. W: „Potencjał obszarów wiejskich szansą rozwoju. Samorząd terytorialny dla Polski. Gospodarka wodna. Rola samorządu terytorialnego i użytkowników gruntów w przeciwdziałaniu podtopieniom i niedoborom wody”, Warszawa, 33-39.
- Pijanowski Z., Kanownik W., 2002: Wpływ wiejskich obszarów zabudowanych na zawartość substancji chemicznych w wodach Trybskiej Rzeki (Spisz Polski). Zesz. Nauk. AR Kraków, Inż. Środ. 23, 43–51.
- Plan gospodarowania wodami dla międzynarodowego obszaru dorzecza Odry. Raport dla Komisji Europejskiej, Międzynarodowa Komisja Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniem, Wrocław 2010.
- Pływaczyk L., 1995: Mała retencja wodna i jej uwarunkowania techniczne. W: Ekologiczne aspekty melioracji wodnych. L. Tomiało (red.). Wyd. Instytutu Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 141-148.
- Prawo Budowlane z dn. 7 lipca 1994 r. wraz z późniejszymi zmianami.
- Projekt Narodowej Strategii Gospodarowania Wodami 2030 (z uwzględnieniem etapu 2015). PROEKO CDM sp. z o.o., Warszawa 2008.
- Projekt polityki wodnej państwa do roku 2030 r. (z uwzgl. etapu 2016). KZGW, Warszawa 2010.
- Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013 (PROW 2007-2013). Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa lipiec 2007. <http://www.minrol.gov.pl/pol/Wsparcie-rolnictwa-i-rybolowstwa/PROW-2007-2013/Dzialania-PROW-2007-2013>. Dostęp. 30.11.2016.
- Radczuk L., Szymkiewicz R, Jełowicki J, Żyszkowska W, Brun J.F., 2001: Wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego, BKPBS, Wrocław.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zakresu instrukcji gospodarowania wodą. Dz. U. Nr 150, poz. 1087.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 86, poz. 579.
- Skonieczek P., Koc J., 2008: Role of preliminary reservoirs in reducing phosphorus inflow from agricultural and afforested catchment areas to the lake. *Ecological Chemistry and Engineering*, 15 (12), 1347-1357.
- Siudak M., Konieczny R., 2010: Jak sobie radzić z powodzią. Poradnik dla animatora edukacji powodziowej. KZGW, Kraków. <http://www.kzgw.gov.pl>
- Strategia Gospodarki Wodnej. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 13 września 2005 r. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, wrzesień 2005 r.
- Sumorok B., Zdanowicz A., 2006: Rola roślinności w ochronie jakości wód. W: Woda w krajobrazie rolniczym, Wyd. IMUZ, Falenty, 125-140.
- Trybała M., 1996: Gospodarka wodna w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne z późn. zm. (Dz.U. z 11 paźdz.2001 r. Nr 115 poz. 1229).



- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska z późn. zm.
- Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z późn. zm. Dz.U. 2003 Nr 80 poz. 717.
- Wiatkowski M., Wiatkowska B., 2006: Ochrona jakości zasobów wodnych w aspekcie programów rolno-środowiskowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Infrastructure and Ecology of Rural Areas, PAN, O/Kraków, Nr 4/3, 179-188.
- Wiatkowski M., Kasperek R., 2008: Gospodarka wodna i eksploatacja małego zbiornika wodnego „Adymacz” na rzece Prószkowskiego Potoku. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 528, PAN, [w]: Melioracje Wodne w Inżynierii Kształtowania Środowiska, 457-466.
- Wiatkowski M., Paul L., 2009: Surface water quality assessment in the Troja river catchment in the context of Włodzienin reservoir construction. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 18, No. 5, 923-929.
- Wiatkowski M., 2010a: Wybrane aspekty gospodarki wodnej na obszarze zlewni. Cz. I. Zadania gospodarki wodnej. [w]: Wiatkowski M., Czamara W. (red.), Zarządzanie kryzysowe – ograniczanie skutków zjawisk ekstremalnych, Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 109-123.
- Wiatkowski M., 2010b: Wybrane aspekty gospodarki wodnej na obszarze zlewni. Cz. II. Problemy gospodarki wodnej w zlewniach zbiorników retencyjnych. [w]: Wiatkowski M., Czamara W. (red.), Zarządzanie kryzysowe – ograniczanie skutków zjawisk ekstremalnych, Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 125-133.
- Wiatkowski M., Czamara W., Karbowski W., Labuhn M., Lipka R., 2010: Wybrane aspekty osłony hydrologiczno-meteorologicznej dla województwa opolskiego. Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole.
- Wiatkowski M., 2013a: Retencja zbiornikowa w Polsce i w województwie opolskim. [w]: Wiatkowski M. (red.), Retencja wodna na obszarach wiejskich – wybrane zagadnienia, Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 35-63
- Wiatkowski M., 2013b: Zagrożenia jakości wód retencjonowanych i działania dążące do ich ochrony. [w]: Wiatkowski M. (red.), Retencja wodna na obszarach wiejskich – wybrane zagadnienia, Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 175-200.
- Wiatkowski M., Rosik-Dulewska Cz., 2015: Water management problems at the Bukówka drinking water reservoir's cross-border basin area in terms of its established functions. Journal of Ecological Engineering. Vol. 16, 2, 52-60.
- Wiatkowski M., Rosik-Dulewska Cz., 2016: Hydrologiczne i hydrauliczne uwarunkowania budowy zbiornika wstępnego w cofce zbiornika Słup. Hydrological and hydraulic conditions for a construction of a pre-dam reservoir in the Słup reservoir backwater. Annual Set The Environment Protection/Rocznik Ochrona Środowiska, Vol./Tom 18, 2, 468-479.
- Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J., 1994: Regulacja rzek i potoków. Wyd. AR we Wrocławiu, Wrocław.
- Zagrożenia naturalne, 2002: Maszynopis IMGW, Warszawa.
- Żelazo J., Popek Z., 2002: Podstawy renaturyzacji rzek. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Żyromski A., 2013: Susze i ochrona przed nimi. [w]: Wiatkowski M. (red.), Retencja wodna na obszarach wiejskich – wybrane zagadnienia, Wyd. Uniwersytet Opolski, Opole, 149-174.
- <http://mapy.isok.gov.pl>. Dostęp 25.11.2016.



(<http://www.gliwice.rzgw.gov.pl/index.php/pl/regionwodny/konsultacje-spoeczne/obszar/500-przegldu-istotnych-problemow-gospodarki-wodnej-dla-obszarow-dorzeczy>).  
Dostęp 02.12.2016.

<https://bip.kprm.gov.pl/kpr/bip-rady-ministrow/prace-legislacyjne-rm-i/prace-legislacyjne-rady/wykaz-prac-legislacyjny/r2041,Projekt-ustawy-Prawo-wodne.html>.  
Dostęp 05.12.2016.

<https://legislacja.rcl.gov.pl/docs//2/12284651/12349269/12349270/dokument249523.pdf>.  
Tekst projektu nowego prawa wodnego Dostęp 23.12.2016.

## **OVERVIEW OF SOME PROBLEMS WITH WATER MANAGEMENT IN RIVERS CATCHMENT AREA**

**Summary:** Selected problems of water management in the catchment's area of rivers are presented in this paper. Furthermore, its objectives, legal conditions and authorities responsible for water management are given, as well. Discussed in detail issues relating to flood risk and flood-protection, drought risk and protection against drought, the state of infrastructure and the drainage ditches, threats of small water reservoirs, quality and water protection. Moreover, a suggestion of operations on how to decrease the effects of improper management of water resources was provided. Presented methods to reduce inputs of pollutants and improve the quality of surface water through pre-dams.

**Key words:** water management, catchment, river, water reservoir, flood protection, quality and water protection







# ROLA I ZNACZENIE MAŁYCH BUDOWLI MELIORACYJNYCH W KSZTAŁTOWANIU ZASOBÓW WODNYCH W ZLEWNIACH NIEZURBANIZOWANYCH

Tomasz Kałuża<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Istniejące obiekty i urządzenia melioracyjne mogą być wykorzystywane do realizacji programów małej retencji. Ma to istotne znaczenie dla zwiększenia możliwości retencyjnych małych zlewni w ekosystemach rolniczych i leśnych. W pracy przeanalizowano znaczenie budowli melioracyjnych na terenach niezurbanizowanych w kontekście ich roli w kształtowaniu zasobów wodnych. Przedstawiono, najczęściej stosowane w przypadku programów małej retencji, budowle melioracyjne. Zaprezentowano również przykłady inwestycji realizowanych zarówno przez Lasy Państwowe (zbiorniki w Nadleśnictwie Taczanów) jak i Wojewódzkie Zarządy Melioracji i Urzędzeń Wodnych (zbiorniki Czerwieńsk i Strużyna). Omawiając wybrane projekty zwrócono uwagę na potrzebę właściwej eksploatacji i monitoringu tych obiektów. Tylko prawidłowe rozpoznanie uwarunkowań środowiskowych projektowanych budowli, poprawna realizacja i ich eksploatacja pozwalają na bezpieczne i zgodne z oczekiwaniami funkcjonowanie tych budowli.

**Słowa kluczowe:** zbiorniki małej retencji, eksploatacja obiektów melioracyjnych, zasoby wodne

## WPROWADZENIE

Racjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi stanowi obecnie podstawowe wyzwanie w odniesieniu zarówno do kwestii zrównoważonego rozwoju, ochrony środowiska, wyzwań demograficznych i spodziewanych zmian klimatu (Kowalczak, 2001). Jest to zagadnienie niezwykle istotne, zarówno w leżącej w strefie klimatu umiarkowanego Polsce, jak i na całym świecie. Polska pod względem zasobów wodnych należy do krajów najuboższych w Europie (Mioduszewski, 2003). Przyczyną takiego stanu rzeczy jest stosunkowo mała ilość opadów atmosferycznych oraz mała retencja gleb. Obserwacje z ostatniego 50-lecia wskazują na nasilanie się na obszarze naszego kraju susz i niedoborów wody. Susze pojawiają się coraz częściej, są coraz intensywniejsze i wywołują ujemne skutki w rolnictwie, leśnictwie i innych działach gospodarki. Według Szafrąńskiego (2007) znajomość zasobów ma duże znaczenie dla działalności człowieka, gdyż woda jest czynnikiem limitującym rozwój gospodarczy. Generalnie Polska ma najgorszy bilans wodny w Europie i dlatego prawidłowa gospodarka wodą w naszym kraju jest podstawowym czynnikiem harmonijnego rozwoju gospodarczego (Kędziora, 1995). Marcilonek i in. (1995) również podkreślają problem pogłębiających się deficytów wody w środowisku, wynikający z uwarunkowań klimatycznych, zwłaszcza w pasie nizin środkowopolskich. Według Kraski i Kanieckiego (1995) w obecnych czasach na obszarze Polski, szczególnie w dorzeczu Warty, mamy do czynienia ze zjawi-

<sup>1</sup> Tomasz Kałuża – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, e-mail: tomasz.kaluza99@gmail.com



skiem większego prawdopodobieństwa występowania lat suchych aniżeli lat z przeciętnym lub wyższym opadem rocznym. Jak podają Woś (1994) oraz Przybyła i Tymczuk (2005) w dotychczasowych opracowaniach klimatologicznych, a także hydrologicznych, Nizina Wielkopolska, w porównaniu z innymi regionami fizycznogeograficznymi Polski, uchodzi za obszar najbardziej deficytowy w wodę.

W kontekście występujących deficytów wody podejmuje się szereg działań zarówno w sektorze rolnictwa, jak i leśnictwa zmierzających do ochrony i zwiększenia zasobów wodnych (Mioduszewski, 2003). Znajduje to odzwierciedlenie w wielu aktach prawnych i dokumentach, w których celem nadrzędnym jest racjonalne gospodarowanie tymi zasobami (Dyrektywa 2000; Prawo wodne, 2001; Instrukcja urządzania lasu 2012). Projekty małej retencji realizowane są zarówno na terenach wiejskich jak i w lasach. W wyniku realizacji różnorodnych programów powstało w naszym kraju wiele małych budowli melioracyjnych, których celem jest racjonalne kształtowanie zasobów wodnych w zlewniach niezurbanizowanych. W pracy przedstawiono, najczęściej stosowane w przypadku programów małej retencji budowle melioracyjne. Zaprezentowano również przykłady inwestycji realizowanych zarówno przez Lasy Państwowe (zbiorniki w Nadleśnictwie Taczanów) jak i Wojewódzkie Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (zbiornik Strużyna). Omawiając wybrane obiekty zwrócono uwagę na potrzebę właściwej eksploatacji i monitoringu obiektów małej retencji, gdyż tylko w ten sposób można zapewnić bezpieczne i zgodne z oczekiwaniami funkcjonowanie tych budowli.

## **ZAŁOŻENIA REALIZACJI OBIEKTÓW MAŁEJ RETENCJI**

Podstawowym celem realizacji obiektów małej retencji jest spowolnienie lub zatrzymanie odpływu wód powierzchniowych oraz zwiększenie możliwości retencyjnych małych zlewni w ekosystemach rolniczych i leśnych (Mioduszewski, 2003). Związane z tym działania dotyczą: retencjonowania wód (zwiększania zasobów wód powierzchniowych, glebowych i podziemnych), renaturyzacji cieków oraz obszarów podmokłych (zachowanie różnorodności biologicznej i krajobrazowej) oraz wyrównywania i spowalniania spływu wód wezbraniowych (retencja powodziowa) (Miler, 2009).

W ramach tych trzech podstawowych działań podejmowane są szczegółowe zadania inwestycyjne, których zamierzeniem jest m.in. utrzymanie i wzrost retencji korytowej i zbiornikowej poprzez np. budowę i modernizację zbiorników wodnych, ale także zbiorników zbierających wody opadowe, odtwarzane stawów (Mioduszewski i Pierzgalski, 2009). Ten sam cel przyświeca również inwestycjom związanym z modernizacją i odbudową elementów istniejących zbiorników wodnych tj. grobli, przelewów, piętrzeń na jeziorach oraz mniczków. Ważnym zagadnieniem w tym kontekście jest również budowa i modernizacja małych budowli melioracyjnych zlokalizowanych na rowach i ciekach naturalnych służących spowolnieniu odpływu wody ze zlewni, gdzie stosować można zastawki, progi, przepusty piętrzące (Miler, 2009). Inwestycje związane ze wzrostem znaczenia retencji lokalnej przyczyniają się do wyrównywania i spowalniania spływu wód wezbraniowych (retencja powodziowa). Przy czym czasami możliwe jest łączenie tych funkcji (budowa zbiorników o funkcji przeciwpowodziowej z dodatkowo dużą objętością użytkową zbiornika). Czasem jednak funkcje przeciwpowodziowe są istotną dominantą funkcjonowania takich obiektów np. zbiorniki suche, obwałowania, progi, stopnie, zabudowa biologiczno-techniczna skarp.



Stosunkowo nowym, acz intensywnie podejmowanym tematem jest renaturyzacja cieków poprzez np. przywracanie im naturalnego kształtu, odtwarzanie naturalnego przebiegu (meandrowanie), zabudowa biologiczna, nasadzenia wokół cieku, przywracanie ciągłości biologicznej cieku (np. budowa przepławek dla ryb), budowa i przebudowa przepustów, mostów, budowa brodów, a czasami nawet modernizacja lub rozbiórka obiektów hydrotechnicznych. W tej grupie inwestycji mieszczą się także działania związane z przywracaniem funkcji obszarom mokradłowym, budowa i modernizacja zastawek, zasypywanie rowów melioracyjnych, przetamowania ziemne rowów odwadniających, odtwarzanie rowów nawadniających, budowa małych oczek wodnych stanowiących lokalne, okresowe zbiorniki wody w naturalnych zagłębieniach terenu.

W realizowanych aktualnie programach przyjęto, że duże możliwości retencjonowania wód stwarza szczególnie przebudowa istniejących systemów melioracyjnych w kierunku hamowania odpływu wody – naprawa dawnych błędów, polegających na nadmiernym odwadnianiu. Działania powodujące opóźnienie i ograniczenie odpływu, np. poprzez spiętrzenie wody w rowach, podpiętrzanie jej w jeziorach, stawach, oczkach wodnych i podobnych obniżeniach terenu, z których woda jest odprowadzana rowami, przynoszą poprawę struktury bilansu wodnego i zwiększenie różnorodności biologicznej (Mioduszewski, 2003). Według Wytycznych do realizacji obiektów małej retencji w Nadleśnictwach (Wytyczne 2008) wśród licznych funkcji, jakie mogą pełnić małe zbiorniki wodne oraz piętrzenia na ciekach można wymienić: zapobieganie suszy, funkcje przeciwpowodziowe, odtworzenie naturalnych warunków wodnych torfowisk i innych mokradeł, podtrzymywanie poziomu wód gruntowych, podtrzymywanie podziemnego zasilania źródeł, utrzymanie i powstawanie ostoi flory i fauny wodnej, wodno-błotnej lub okresowo związanej z wodą, oczyszczanie wody, ograniczenie erozji, wodopoje dla dzikich zwierząt, woda do celów przeciwpożarowych (Pierzgalski, 2007). Każda z tych funkcji może być przydatna w określonych przypadkach do realizowania celów ochrony przyrody. Obserwuje się również liczne przykłady pozytywnych działań budowy i odbudowy retencji w lasach, służących jednocześnie ochronie siedlisk przyrodniczych na obszarach chronionych (Pierzgalski, 2007).

## **MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA INFRASTRUKTURY WODNO-MELIORACYJNEJ NA OBSZARZE LEŚNICTWA TACZANÓW NA POTRZEBY MAŁEJ RETENCJI**

### **Charakterystyka obiektu**

Obszar uroczyska Las Taczanowski położony jest w zachodniej części Nadleśnictwa Taczanów. Obszar ten podlega odwodnieniu zarówno przez odpływ powierzchniowy wód, jak i przez odpływ podziemny (w mniejszym stopniu). Z uwagi na zdecydowaną przewagę siedlisk świeżych oraz małe właściwości retencyjne gleb zjawisko to ma istotny wpływ na bilans wodny. Na znacznej części obszaru płyczej lub głębiej zalegają utwory trudno przepuszczalne, a stan wód w glebach ma ścisły związek z ilością opadów. Daje się zauważyć proces wysychania śródleśnych bagienek i zbiorników wodnych oraz proces zanikania i decesji małych torfowisk. Pod względem hydrograficznym lasy Leśnictwa Taczanów znajdują się w zlewni rzeki Warty, w wododziałowej partii zlewni Lutyni (40 %) i lewobrzeżnych dopływów Proсны (60 %). Przebiegający przez obszary leśne wododział (czerwone linie na rys. 1) jest czynnikiem korzystnym z punktu widzenia gospodarowania zasobami wodnymi, ponieważ obszary źródliskowe i całość zasobów wodnych zlewni znajduje się w obszarze



leśnictwa. Obszar Leśnictwa Taczanów odwadniany jest przez sieć rowów melioracyjnych, które uchodzą do cieków: Dopływ z Józefiny (Zlewnia rzeki Lutyni) oraz Dopływ z Sowiny, Giszka i Potok Borutyński (Zlewnia rzeki Proсны) (rys. 1).

Według danych z inwentaryzacji urządzeń wodno-melioracyjnych (Kałuża et. al. 2014), przeprowadzonej na obszarze Leśnictwa Taczanów, na obiekcie tym znajduje się sieć rowów melioracyjnych o łącznej długości 58,52 km. Stan około 32,93 km oceniono jako dobry, 25,31 km jako średni, a tylko stan jednego odcinka rowu o długości ok. 0,272 km oceniono jako zły. Zdecydowana większość rowów wymaga przeprowadzenia jedynie bieżących robót konserwacyjnych, a tylko niektóre odcinki o łącznej długości 1,413 km wymagają odbudowy.

Na obiekcie zlokalizowanych zostało łącznie 101 przepustów oraz 3 zastawki. W dobrym stanie są 42 przepusty, w średnim 51, zaś w złym 11 przepustów. 5 przepustów wymaga odbudowy, 41 renowacji, zaś pozostałe 55 przepustów i 3 zastawki wymagają jedynie konserwacji.







## Charakterystyka zbiorników wodnych na obszarze Leśnictwa Taczanów

Na terenie Leśnictwa Taczanów funkcjonuje 5 sztucznych zbiorników wodnych, w tym 2 zbiorniki przeciwpożarowe i 3 zbiorniki retencyjne, które również mogą spełniać funkcję przeciwpożarową. Powierzchnia tych zbiorników wynosi od 0,23 do 42 ha. Łączna ich powierzchnia wynosi 1,46 ha a objętość zgromadzonej wody wynosi ok. 18 tyś. m<sup>3</sup>. Z liczby pięciu istniejących, w ostatnim czasie zbudowano 3 nowe zbiorniki: I - Leśnictwo Koryta oddział 229a, II - Leśnictwo Koryta oddział 213 pododdział f, III - Leśnictwo Taczanów oddział 184 pododdział g. Parametry nowych zbiorników zestawiono w tabeli 1. Ze względu na brak obserwacji pomiarów stanów wody i przepływów, przepływy charakterystyczne obliczono na podstawie wzorów empirycznych Iszkowskiego i Lewego.

Tab. 1. Zestawienie parametrów nowych zbiorników

Parametr	Jednostka	Zbiornik I	Zbiornik II	Zbiornik III
Powierzchnia	m <sup>2</sup>	1850	1054	2350
Pojemność	m <sup>3</sup>	1500	1570	2600
Średnia głębokość	m	1,20	1,50	1,40
Rzędna uśrednionego dna	m n.p.m.	147,80	97,50	146,15
Rzędna zwierciadła wody	m n.p.m.	149,00	99,00	147,55
Maksymalna wysokość piętrzenia	m	0,90	0,80	0,95
SQ	m <sup>3</sup> /s	0,09	0,015	0,09

Zbiornik I zlokalizowany na terenie gminy Raszków w m. Koryta. Teren stanowi drzewostan o charakterze lasu mieszanego. W zasięgu zbiornika istnieją drogi leśne nieurtworzone. Zbiornik wodny (rys. 2) został zlokalizowany na rowie leśnym. Odbiornikiem wód rowu jest rzeka Lutynia.



Rys. 2. Zbiornik retencyjny w Leśnictwie Koryta oddział 229a (Zbiornik I)

Cele budowy zbiornika to m.in. retencja wód powodująca podniesienie poziomu wody gruntowej, wyrównanie przepływu w rowie L-8 z zachowaniem przepływu nienaruszalnego, stworzenie warunków wodopoju dla zwierząt leśnych, stworzenie warunków dla



ochrony przeciwpowodziowej. Zakres prac obejmował przebudowę rowu melioracyjnego L-8 poprzez wykonanie przepustu w km 1+073.

Zbiornik II zlokalizowany jest w m. Bógwidze, gmina Pleszew, oddział 213 pododdział f na rowie A (rys. 3.). Odbiornikiem wód z rowu jest ciek Giszka. Celem budowy zbiornika była retencja wód powodująca lokalne podniesienie poziomu wody gruntowej, wyrównanie przepływów rowu A wraz z umożliwieniem zachowania ciągłości przepływu nienaruszalnego, stworzenie warunków wodopoju dla zwierząt leśnych, stworzenie warunków dla ochrony przeciwpożarowej, stworzenie warunków ochrony przeciwpowodziowej. Zakres prac obejmował przebudowę rowu melioracyjnego A poprzez wykonanie przepustu z możliwością piętrzenia o średnicy 600 mm.



Rys. 3. Zbiornik retencyjny w m. Bógwidze, gmina Pleszew, oddział 213f (Zbiornik II)

Zbiornik III zlokalizowany jest w m. Taczanów, gmina Pleszew, oddział 184 pododdział g na rowie G – 8 (rys. 4.). Odbiornikiem wód z rowu jest rzeka Lutynia. Celem budowy zbiornika była retencja wód powodująca lokalne podniesienie poziomu wody gruntowej, wyrównanie przepływów rowie G - 8 wraz z umożliwieniem zachowania ciągłości przepływu nienaruszalnego, stworzenie warunków wodopoju dla zwierząt leśnych, stworzenie warunków ochrony przeciwpowodziowej. Zakres prac obejmował przebudowę rowu melioracyjnego G-8 poprzez wykonanie przepustu z zastawką (rys. 5.).



Rys. 4. Zbiornik retencyjny w wydzielaniu 184g (Zbiornik III)



Rys. 5. Zastawka piętrząca wodę i przepust na zbiorniku retencyjnym w wydzielaniu 184g (Zbiornik III)

Na terenie uroczyska Las Taczanowski brak większych naturalnych zbiorników wodnych. Poza urządzeniami wodno-melioracyjnymi na analizowany terenie znajdują się 3 oczka wodne oraz 15 obszarów bagiennych o powierzchni od 2 do 164 arów.

### **Możliwości zwiększenia zasobów wodnych w Leśnictwie Taczanów**

W celu wprowadzenia optymalnego, z punktu widzenia potrzeb lasu i zachowania zasobów wodnych, programu małej retencji, przeprowadzono działania, które można podzielić na dwie zasadnicze grupy: opracowanie koncepcji rozwinięcia systemu urządzeń małej retencji z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury urządzeń wodno-melioracyjnych i obiektów małej retencji oraz wprowadzenie monitoringu zasobów wodnych i kontroli funkcjonowania małej retencji. Opracowanie koncepcji obejmowało m.in. wytypowanie obszarów optymalnych z punktu widzenia potrzeb i możliwości zwiększenia retencji, z uwzględnieniem warunków glebowych i siedliskowych. Poza nowo wybudowanymi zbiornikami retencyjnymi do obszarów tych należy zaliczyć oczka wodne i obszary bagiennie oraz obszary zaliczone do bagiennych i wilgotnych typów siedliskowych lasu. Dodatkowo wytypowano miejsca lokalizacji urządzeń piętrzących, optymalnych z punktu widzenia



uzyskanych efektów zwiększenia retencji przy minimalizacji kosztów ich wykonania. Zasięg cofki uzyskanej w wyniku piętrzenia w założeniach był jak największy, a jednocześnie w zasięgu cofki znalazły się obszary o dużych potrzebach wodnych, takie jak siedliska bagienne, obszary mokradłowe itp. Wybór miejsc był dodatkowo poparty przeprowadzaniem wizji lokalnej i konsultacjami z leśnikami. Dla zapewnienia sprawności działania wytypowanych rowów i urządzeń wodnych na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji opracowano szczegółowe wskazania dotyczące ewentualnej renowacji i remontów.

Wprowadzenie monitoringu zasobów wodnych i kontrola małej retencji w uroczysku Las Taczanowski zrealizowano poprzez m.in. budowę sieci 10 punktów pomiarowych (piezometrów) rozmieszczonych w sąsiedztwie sztucznych zbiorników wodnych (zbiornik w oddziale 184 – dwa piezometry w wydzieleniach 184g i 190a; zbiornik w oddziale 200 – trzy piezometry w wydzieleniu 200c; zbiornik w oddziale 229 – trzy piezometry w wydzieleniach 229a i 218b; zbiornik w oddziale 222 – dwa piezometry w wydzieleniu 222f). Monitoring poziomu wód w piezometrach realizowany jest w cyklach miesięcznych, z dwoma odczytami w miesiącu. Regularna kontrola poziomu wód gruntowych umożliwi obserwowanie zmian w zasobach wodnych oraz dostarczy informacji odnośnie ewentualnej potrzeby dalszej rozbudowy sieci zbiorników retencyjnych na obszarze uroczyska Las Taczanowski. Systematycznie zbierane dane pozwolą także na opracowanie szczegółowych wytycznych dotyczących prowadzenia sterowanej gospodarki wodnej, co powinno przyczynić się do optymalizacji gospodarki leśnej z uwzględnieniem potrzeb siedliskowych jak i ochrony zasobów wodnych. Znajomość funkcjonowania gospodarki wodnej na badanym obszarze pozwoli w przyszłości na kontrolowanie całego systemu małej retencji. Uzupełnienie systemu mogą stanowić dodatkowo przeprowadzone w początkowym okresie działania okresowe pomiary uwilgotnienia wierzchnich warstw gleb w wybranych miejscach na obszarach objętych projektem.

Poza działaniami na obszarze Leśnictwa Taczanów konieczne jest także właściwe utrzymanie urządzeń melioracyjnych poza granicami lasu w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Ich zły stan może bowiem skutkować ograniczeniem możliwości odprowadzenia nadmiaru wód z obszarów leśnych, co utrudni prowadzenie racjonalnej gospodarki wodnej w lesie.

## **WPŁYW ODBUDOWY ZBIORNIKA STRUŻYNA NA TERENY PRZYLEGŁE**

### **Opis zbiornika**

W ramach inwestycji „Zbiorniki małej retencji wodnej gm. Czerwieńsk – zbiornik Strużyna i zbiornik Czerwieńsk”, których inwestorem był WZMiUW w Zielonej Górze, wykonano zbiornik wodny „Czerwieńsk” usytuowanego w dolinie Kanału Łącza oraz zmodernizowano urządzenia upustowo- przelewowe na istniejącym zbiorniku wodnym „Strużyna” usytuowanym w dolinie Kanału Strużyna (rys.6).





Rys.6 . Lokalizacja zbiornika Strużyna na mapie poglądowej

Budowa urządzeń wodnych na istniejącym zbiorniku na Kanale Strużyna, w km 0+200 ciek, miała na celu zastąpienie będących w złym stanie urządzeń wodnych (zapora ziemna i budowla piętrząco-upustowa), nowymi obiektami o odpowiednich parametrach technicznych. Zbiornik Strużyna powstał bowiem w okresie przedwojennym i część urządzeń wodnych pochodziła z tego okresu. Ze względu na stan techniczny zbiornika wodnego „Strużyna”, w ramach inwestycji „Zbiorniki małej retencji wodnej gm. Czerwieńsk – zbiornik Strużyna i zbiornik Czerwieńsk” zmodernizowano m.in. urządzenia upustowo-przelewowe zbiornika, wykonano zaporę i przepławkę. Podstawowe parametry techniczne zmodernizowanego zbiornika przedstawiają się następująco (Projekt 2007):

- lokalizacja zapory - km 0+200 Kanału Strużyna;
- długość zapory - 46 m;
- normalny poziom piętrzenia NPP - 58,00 m npm;
- maksymalny poziom piętrzenia max PP - 58,55 m npm;
- normalna wysokość piętrzenia -  $H_{NPP}$  - 2,85 m;
- objętość zbiornika przy NPP - 28 tys. m<sup>3</sup>;
- powierzchnia zbiornika przy NPP - 3,6 ha;
- powierzchnia zbiornika przy max PP - 3,7 ha;
- średnia głębokość przy NPP - 0,8 m;
- długość zbiornika - 0,9 km;

Podstawowe parametry techniczne budowli piętrząco-upustowej – upustu wieżowego są następujące:

konstrukcja żelbetowa złożona z wieży i przewodu spustowego ( leżaka);

- średnica wieży - 4 m;
- przekrój leżaka - 2 x 1,0 x 1,5 m.

natomiast przepławkę dla ryb:

- żelbetowo-kamienne bystrze o szerokości dna - 1,5 m;
- długość przepławkę - 115,6 m.

Przekazanie zbiornika małej do eksploatacji nastąpiło 29 grudnia 2011 roku. Gospodarzem obiektów jest Lubuski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Zielonej Górze.





## Problemy eksploatacji zb. Strużyna

Po wykonanej modernizacji zb. Strużyna na terenie sąsiedniej działki należącej do firmy Jorge pojawiły się problemy związane z podniesieniem stanu wód gruntowych. Pierwsze podtopienie piwnicy „budynku 3” miało miejsce już dnia 15 marca 2012r. Rozmiar zalania o głębokości wody ok. 5 cm dotyczył ok. 80 m<sup>2</sup> powierzchni magazynu w piwnicy „budynku 3”. Kolejne systematyczne zalania odnotowywano co kilka miesięcy. Stan taki wywołany został wysokim poziomem wód gruntowych, które poprzez posadzkę budynku spowodowały zalewanie piwnicy. Przyczyną podniesienia stanu wód gruntowych w sąsiedztwie „budynku 3” mógł być wpływ piętrzenia wody na zb. Strużyna. W wyniku wysokiego stanu wody gruntowej, wychodzącej na powierzchnię posadzki piwnicy, nastąpiło zawilgocenie zewnętrznych przegród budowlanych, nawet do poziomu stropu. Podczas wizji lokalnej w dniu 20 października 2014 roku ściany zewnętrzne wykazywały zawilgocenie na skutek podsiąku kapilarnego do wysokości 2 metry ponad poziom terenu.

Na etapie przygotowywania koncepcji i projektu szacowano iż modernizacja zbiornika może spowodować zmiany poziomu lustra wody gruntowej w podłożu gruntowym pod budynkami na terenie sąsiadującym ze zbiornikiem lecz położenie spiętrzonego lustra wody gruntowej oszacowano na poziomie 55,10 m npm, czyli znacznie poniżej poziomu posadzki piwnicy (rzędne 56,29-56,39 m npm). W założeniach przebudowy, przy zachowaniu poprzedniej wartości NPP przyjęto, że oddziaływanie zbiornika nie ulegnie zmianie. W Operacji wodno prawnym zbiornika Strużyna (Operat 2007) czytamy wprost: „*Po przebudowie tych obiektów i rozpoczęciu eksploatacji lustro wody gruntowej powróci do obecnego poziomu. Oddziaływanie zbiornika na tereny przyległe jak w dotychczasowej eksploatacji.*” Rzeczywiście, we wcześniejszym okresie eksploatacji starego zbiornika nie odnotowano zalewania posadzki i przyspieszonej destrukcji budynku nr 3, którego piwnice wykorzystywano dotychczas do celów magazynowych. Zakładano, więc że przy zachowaniu poprzednich warunków piętrzenia, nie zmieni się również stan wód gruntowych wokół zbiornika.

Wieloletnia eksploatacja starego zbiornika Strużyna, którego brzegi były gęsto zalesione, mogła doprowadzić na naturalnego uszczelnienia się dna materiałem organicznym. Rozkopanie czaszy zbiornika i jego odmulenie zmieniło w sposób drastyczny lokalne warunki gruntowo – wodne (rys. 7). Zaproponowane w projekcie uszczelnienie skarp i częściowo dna bentomatem SP okazało się (jak wykazały obserwacje stanów wody w piezometrach) niewystarczające.







Rys. 7. Wieża przelewowa i umocnienie skarpy na lewym brzegu zbiornika (Fot. z okresu budowy) (<http://www.czerwiensk.pl/>)

### **Metodyka przeprowadzonych pomiarów wód gruntowych**

Dla określenia wpływu zbiornika wodnego w dniu 17 października 2014 r. na terenie firmy JORGE założona została sieć piezometrów otwartych, pozwalająca na pomiary zmian zwierciadła wody gruntowej, a w dalszej kolejności na określenie związku między wodami gruntowymi, a poziomem piętrzenia wody w zbiorniku Strużyna. Sieć piezometrów tworzą cztery piezometry otwarte, zewnętrzne, oznaczone jako PJ1, PJ2, PJ3 i PJ4. Pozostałe piezometry stanowią trzy otwory wywiercone przez posadzkę piwnicy budynku magazynu. Oznaczono je jako PJ5, PJ6, PJ7. Warunki gruntowe w profilach w poszczególnych studzienkach piezometrycznych PJ1, PJ2, PJ3, PJ4 i PJ8 oszacowano na podstawie metody makroskopowej. Poniżej warstwy darni i humusu dominował piasek drobny/piasek średni, natomiast kilka centymetrów powyżej lustra wody gruntowej (ok. 2 m poniżej terenu) piaski z dodatkami części spoiwych i organicznych (piasek gliniasty + namuły, osady).

Do wykonania studzienek piezometrycznych wykorzystano rury PCV o średnicy 5 cm. Głębokość osadzenia rur była uzależniona od głębokości pojawienia się zwierciadła wody gruntowej w trakcie odwiertu. Dolna krawędź rury każdego piezometru została osadzona około 0,5 do 1,0 m poniżej zwierciadła wody. Aby umożliwić swobodny napływ wód gruntowych do piezometrów, w końcowym metrowym odcinku rury ponacinano szczeliny. Na podstawie niwelacji określono rzędne krawędzi rur piezometrów PJ1-PJ4 i PJ8, poziom posadzki przy piezometrach PJ6 i PJ7 oraz zwierciadło wody górnej i dolnej przy budowlu upustowo-przelewowej zbiornika Strużyna.

### **Analiza wyników**

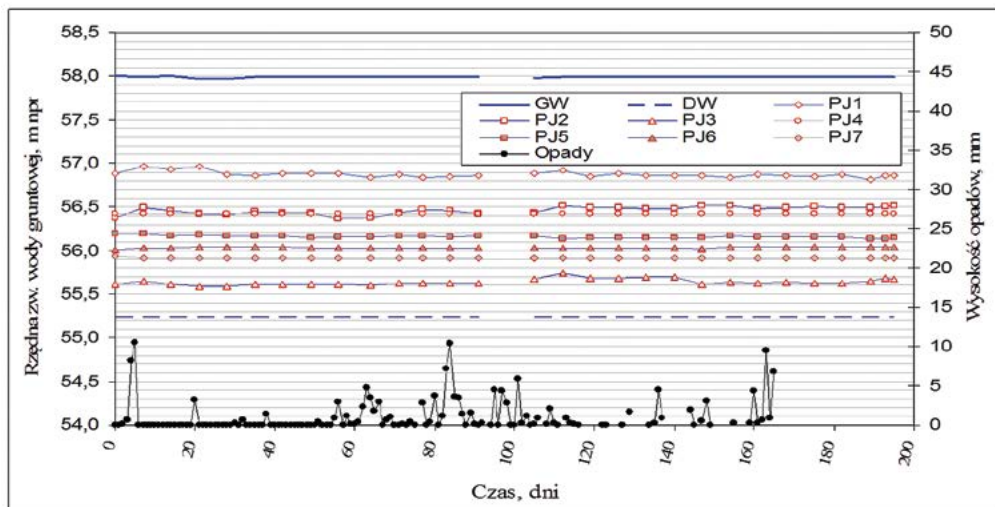
Badania zwierciadła wód gruntowych w piezometrach i na urządzeniach upustowo-przelewowych prowadzono w okresie od października 2014 r. do maja 2015 r. W okresie pomiarów największe, sięgające 15 cm wahania zwierciadła wody, zaobserwowano w piezometrach PJ1-PJ3 (tab. 2) położonych bezpośrednio przy ogrodzeniu firmy JORGE, czyli w najbliższym sąsiedztwie zbiornika Strużyna. W pozostałych piezometrach oraz w górnym (GW) i dolnym (DW) stanowisku zbiornika nie zaobserwowano większych zmian mierzonego zwierciadła wody.



Tab. 2. Statystyka zmian mierzonych zwierciadeł wody w okresie od 17.10.14 do 08.05.15

Oznaczenia	Zbiornik Strużyna		Piezometry [m]						
	GW	DW	PJ1	PJ2	PJ3	PJ4	PJ5	PJ6	PJ7
Średnia	<b>57,99</b>	<b>55,23</b>	<b>56,87</b>	<b>56,46</b>	<b>55,64</b>	<b>56,42</b>	<b>56,16</b>	<b>56,03</b>	<b>55,92</b>
Odchylenie	0,01	0,00	0,03	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00
Maks.	58,00	55,24	56,97	56,52	55,74	56,42	56,20	56,04	55,94
Minim.	57,97	55,23	56,82	56,37	55,59	56,42	56,13	56,01	55,91
Zakres	0,03	0,01	0,15	0,15	0,15	0,00	0,06	0,03	0,03

Przebieg zmian zwierciadła wody w okresie pomiarowym pokazano na rysunku 8. Na wykresie przyjęto 0 dzień pomiaru w dniu 17 października 2014 r. Na rycinie tej pokazano również wysokości opadów atmosferycznych w okresie badań pomierzone na stacji meteorologicznej IMGW Zielona Góra. Okres ten należy uznać za suchy lub nawet bardzo suchy, suma opadów nie przekroczyła 160 mm. W okresie tym tylko trzykrotnie suma opadów dobowych była bliska 10 mm: 22 października, 9 stycznia i 29 marca. Obserwowany przebieg zmian wyklucza wpływ opadów atmosferycznym na zmiany wód gruntowych w okresie pomiaru.

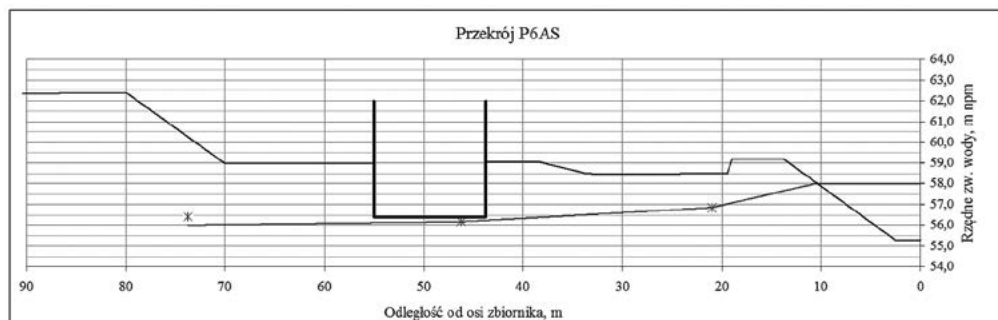


Rys. 8. Zmiany położenia zwierciadeł wody w piezometrach oraz w górnym i dolnym stanowisku zbiornika Strużyna w porównaniu z wysokością opadów atmosferycznych (stacja meteorologiczna Zielona Góra)

Do analizy położenia zwierciadła wód gruntowych, na podstawie przeprowadzonych pomiarów w piezometrach, wykorzystano program SURFER, który pozwolił na wykreślenie hydroizohips oraz wskazanie największych gradientów spadku wód gruntowych.

Spadek zwierciadła wód gruntowych oraz ich zasilanie wodami filtrującymi ze zbiornika pokazano na rysunku 9. Wybrano tutaj przekrój poprzeczny do osi zbiornika, oznaczony

w projekcie jako P6AS. Zaznaczono na nim również położenie piezometrów PJ1 i PJ5 oraz zarys ścian i posadzki piwnicy budynku magazynowego firmy JORGE. Przebieg krzywej depresji pokazuje, że fundamenty budynku położone są nieznacznie poniżej zwierciadła wody. Dalsze zasilanie wód gruntowych wodami ze zbiornika może powodować stopniowe podnoszenie zwierciadła wód gruntowych aż do wyrównania się poziomów.



Rys. 9. Układ zwierciadła wody (krzywa depresji) pod piwnicą budynku firmy JORGE przy piętrzeniu wody w zbiorniku Strużyna do rzędnej NPP = 58,0 m npm

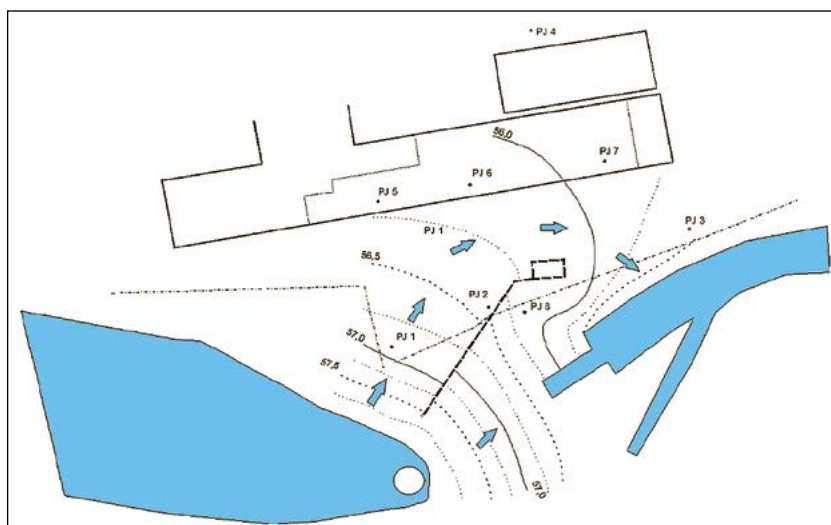
Z opisu zbiornika Strużyna wynika, że pierwotnie piętrzenie na zbiorniku Strużyna było wykorzystywane do celów energetycznych. Nie zachowały się urządzenia ale pozostały elementy budowli hydrotechnicznych: mur oporowy (rys. 10.) i komora turbiny, których korona widoczna jest powyżej terenu.



Ryc. 10. Fotografia z budowy (2010-10-26); na skarpie widoczny mur oporowy z przyporą wlotu do komory turbin (<http://www.czerwienski.pl/>)

Okazuje się, że również te pozostałości budowli hydrotechnicznych mają wpływ na warunki przepływu wód gruntowych wokół zbiornika. W dniu 8 maja założono dodatkowo piezometr PJ8 z drugiej strony muru oporowego, poza terenem firmy JORGE. Porównując rzędną zwierciadła wody w PJ2 56,51 m npm i w PJ8 56,31 m npm, widać różnicę poziomów wody gruntowej po obu stronach muru oporowego. Jego prawdopodobny wpływ na spływ wód gruntowych (kierowanie przepływu w kierunku budynku) pokazano na rysunku 11.





Rys. 11. Położenie wód gruntowych na terenie firmy JORGE; strzałkami zaznaczono głównie kierunki napływu wody

### Uwagi na temat wpływu odbudowy zbiornika

Budowa, modernizacja obiektów małej retencji, wymaga określenia ich wpływu na tereny przyległe. Przykład zb. Strużyna wskazuje, że przyjęte uproszczone założenia przebudowy mogą czasami stać się przyczyną problemów ich eksploatacji. Przeprowadzone badania i analizy oparte zarówno na dokumentacji technicznej zbiornika jak i wynikach pomiarów piezometrycznych pozwoliły na sformułowanie następujących uwag:

Obecny stan techniczny podpiwniczonej części budynku nr 3 firmy Jorge wynika z oddziaływania wód gruntowych (wysokiego zwierciadła wód gruntowych) spowodowanego działaniem zbiornika Strużyna po wykonanej modernizacji.

Wcześniej realizowane piętrzenie (przed modernizacją) nie powodowało, mimo identycznej rzędnej NPP, żadnego negatywnego wpływu na stan techniczny budynku.

W okresie badań nie stwierdzono wpływu opadów atmosferycznych na zmiany poziomu wód gruntowych wokół budynku nr 3 w tym na zalewanie piwnic budynku.

Wysoki stan wód gruntowych w sąsiedztwie budynku nr 3 wynika z ułatwionej filtracji wód spiętrzonych w zbiorniku Strużyna, dodatkowo kierowanych murem oporowym dawnego urządzenia piętrzącego w kierunku budynku (wskazuje na to różnica stanów wód gruntowych przed i za murem).

Ułatwiona filtracja wynika prawdopodobnie z przeprowadzonej przebudowy zbiornika Strużyna, a w szczególności przeprowadzonych prac związanych z budową wieży przelewowo-spustowej i odmulenia zbiornika, w wyniku czego doszło do naruszenia istniejącej struktury skarp i dna czaszy zbiornika. W podłożu zbiornika występują grunty przepuszczalne. Struktura dna i skarp, funkcjonującego przez wieloletnia zbiornika była w naturalny sposób uszczelniona (zakolmatowana). Przerwanie tej warstwy w trakcie realizacji przebudowy zbiornika spowodowało zmianę, obserwowaną jako podniesienie stanu wód gruntowych wokół zbiornika.

## WNIOSKI

Specyfika małych budowli piętrzących realizowanych w ramach programów małej retencji oraz projektów renaturyzacyjnych często polega na realizacji projektów niestandardowych, w których wykorzystywane są różnorodne materiały (zarówno naturalne oraz sztuczne), takie jak drewno, kamień naturalny, roślinność, faszyna oraz tworzywa sztuczne i kompozyty. W związku z tym uwzględniać należy mniejszą trwałość powstających budowli oraz konieczność monitoringu i częstej konserwacji. Istotna jest także konieczność właściwej oceny wpływu tych konstrukcji na środowisko.

Nawet w przypadku obiektów tak powszechnie znanych i stosowanych jak zbiorniki wodne, zarówno na etapie projektu jak i inwestycji zwrócić należy uwagę na szereg istotnych zagadnień rzutujących na dalszą bezpieczną eksploatację tych obiektów. Już na etapie przygotowywania koncepcji/projektu należy zaplanować i wykonać system monitoringu, który pozwoli prawidłowo ocenić wpływ inwestycji na teren przyległy. Dotyczy to zarówno obiektów małej retencji budowanych w lasach jak i na terenach rolniczych. Długotrwałe obserwacje (prowadzone także po wybudowaniu zbiorników) stanowią niezbędne źródło danych pozwalających na rzetelną ocenę ich znaczenia oraz wpływu na środowisko. Systematycznie zbierane dane pozwalają także na opracowanie szczegółowych wytycznych dotyczących prowadzenia odpowiedniej gospodarki wodnej na tych zbiornikach. Take założenia przyświecają inwestycji na terenie Uroczyska Las Taczanowski.

Nawet w przypadku tak prostych zdawałoby się inwestycji jak przebudowa urządzenia piętrzącego przy niezmiennych warunkach piętrzenia, zachować należy daleko idącą ostrożność. Szczegółowa ocena warunków hydrogeologicznych jest tu podstawą zaprojektowania bezpiecznej budowli. Również na etapie realizacji samej inwestycji istotna jest wiedza dotycząca możliwych skutków pewnych działań. Źle, lub wadliwie położona izolacja, brak systemu monitoringu, zaniechanie likwidacji pozostałości starych urządzeń piętrzących może znacząco przyczynić się do wielu problemów związanych z eksploatacją budowli. Tak stało się w przypadku obiektu Strużyna. Przedstawione przykłady uczą, że nawet w przypadku małych zbiorników wodnych nie należy lekceważyć podstawowych zasad i norm właściwego ich projektowania i budowy. Obiekty te są niezwykle cenne i spełniają wiele funkcji warto więc przy ich wznoszeniu dochować wszelkiej profesjonalnej staranności.

## LITERATURA

- Biuro Urządzenia Lasu, 2013: Mapa przeglądowa, Monitoring hydrologiczno-środowiskowy w Uroczysku Las Taczanowski, Nadleśnictwo Taczanów Obręb Taczanów, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu. Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej. Oddział w Poznaniu.
- Dyrektywa 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- Instrukcja urządzania lasu, 2012: Część II – instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 147 ss.
- Kałuża T., Stasik R., Szałkiewicz E., 2014: Wykorzystanie istniejącej infrastruktury urządzeń wodno-melioracyjnych na obszarze Leśnictwa Taczanów na potrzeby małej retencji.





- Monografia pt. „Problemy gospodarowania wodą na terenach leśnych, zurbanizowanych i nieurbanizowanych”. Bogucki Wydawnictwo Naukowe Poznań, s. 41-59
- Kędziora A. 1995: Prognoza zmian klimatycznych. [W:] S. Kozłowski (red.), Prognoza ostrzegawcza zmian środowiskowych warunków życia człowieka w Polsce na początku XXI wieku. PAN, Kom. Nauk. Człowiek i Środow. 10: 97–132.
- Kowalczak P., 2001: Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w dorzeczu Warty. Wyd. IMGW Warszawa.
- Kraska M., Kaniecki A. 1995: Mała retencja wodna w Wielkopolsce i jej uwarunkowania przyrodnicze. [W:] L. Tomiałojć (red.), Ekologiczne aspekty melioracji wodnych. Wyd. Instytutu Ochrony Przyrody PAN, Kraków, s. 123–139.
- Marcilonek S., Kostrzewa S., Nyc K., Drabiński A. 1995: Cele i zadania współczesnych melioracji wodnych. [W:] L. Tomiałojć (red.), Ekologiczne aspekty melioracji wodnych. Wyd. Instytutu Ochrony Przyrody PAN, Kraków, s. 71–84. Ochrona środowiska 2006. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa.
- Miler A.T., 2009: Stan obecny małej retencji wodnej oraz perspektywy jej rozbudowy na przykładowych terenach leśnych w Wielkopolsce. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN Oddz. W Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi. Nr 4, 231–237.
- Mioduszewski W., 2003: Mała retencja. Poradnik ochrony zasobów wody i środowiska naturalnego. Wyd. IMUZ Falenty.
- Mioduszewski W., Pierzgalski E. (2009): Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych (projekt programu), Warszawa, 73.
- Operat, 2007: Operat wodno-prawny. Zbiorniki małej retencji wodnej, gm. Czerwieńsk. Raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko. Biuro Projektów Inżynierii Środowiska i Melioracji „EKOPROJEKT” sp. z o.o. w Zielonej Górze.
- Projekt, 2007: Zbiorniki małej retencji wodnej gm. Czerwieńsk – zbiornik Strużyna, zbiornik Czerwieńsk. Projekt budowlany – Tom II – Projekt architektoniczno-budowlany. Biuro Projektów Inżynierii Środowiska i Melioracji „EKOPROJEKT” sp. z o.o. w Zielonej Górze.
- Przybyła C., Tymczuk Z. 2005: Aktualny stan i program małej retencji dla Wielkopolski. [W:] K. Kasprzak (red.), Gospodarowanie wodą w Wielkopolsce. Abrys, Poznań, s. 7–15.
- Szafrański C. 2007: Zasoby wodne Polski i ich ochrona. [W:] J. Nowacki (red.), Zasoby przyrodnicze szansą zrównoważonego rozwoju. Wyd. AR w Poznaniu, s. 67–77.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne.
- Woś A. 1994. Klimat Niziny Wielkopolskiej. Wyd. Naukowe UAM, Poznań. Zasady hodowli lasu. 2012. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. Zasady planowania i realizacji zasad małej retencji w Lasach Państwowych. 1997. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Biuro Studiów i Projektów Leśnictwa Biproplas.
- Wytyczne do realizacji obiektów małej retencji w Nadleśnictwach, 2008: Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych. Warszawa, ss. 57  
<http://www.czerwiensk.pl/> (dostęp 5.05.2016)





## **ROLE AND IMPORTANCE OF SMALL DRAINAGE STRUCTURES IN THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NON-URBANIZED CATCHMENTS**

**Summary:** The main aim of objects of small retention is slowing or stopping the outflow of surface water. This is important to increase the possibility of small retention basin in agricultural ecosystems and forestry. In the study was analyzed the importance of small water reservoirs on non-urbanized areas in the context of their role in the development of water resources. In the paper are presented the most often used in small retention programs drainage structures. Also are presented examples of investments by both the State Forests (water reservoirs in the Forest District Taczanów) and Provincial Boards of Land Reclamation and Water Facilities (water reservoirs Czerwieńsk and Strużyna). Discussing the selected projects was pointed out for the need for proper operation and monitoring of these objects. Only the correct diagnosis of the environmental conditions of designed structures, the correct implementation and operation will allow for safe and consistent with the expectation of functioning of these structures.

**Key words:** small water reservoirs, exploitation of land reclamation structures, water resources



# STAN, POTRZEBY I UWARUNKOWANIA ROZWOJU MELIORACJI W POLSCE

Józef Lipiński<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Opracowanie zawiera przegląd badań własnych, jak również innych autorów, w zakresie produkcyjnej i ekonomicznej efektywności melioracji, ich wpływu na środowisko przyrodnicze oraz stanu i potrzeb rozwoju. Nawodnienia w Polsce obejmują mniejszy odsetek użytków rolnych niż w krajach sąsiednich (poza Litwą), natomiast odsetek odwodnianych użytków rolnych jest u nas podobny jak w Niemczech, Czechach, na Słowacji i Białorusi oraz zdecydowanie mniejszy niż na Litwie. Ze względu na zużycie techniczne i niesprawność urządzeń, odbudowy lub modernizacji wymagają urządzenia melioracyjne na 1469,7 tys. ha użytków rolnych, co stanowi 23% całkowitego ich areалу w Polsce. Nawadnianie ciśnieniowe upraw ogrodniczych jest wysoce efektywne, natomiast efektywność ekonomiczna drenowania gruntów ornych oraz melioracji odwadniająco-nawadniających na użytkach zielonych jest zdecydowanie niższa. Drenowania powodują spłaszczenie fali powodziowej w ciekach rolniczych, zmniejszają intensywność szkodliwych dla środowiska procesów oksyredukcyjnych, zwiększają natomiast odpływ biogenów (głównie azotu azotanowego) z obszarów rolniczych. Poprzez sterowanie odpływem wody siecią melioracyjną można minimalizować negatywne skutki melioracji, zachowując jednocześnie ich pozytywny wpływ na produkcję rolną.

**Słowa kluczowe:** drenowanie, nawadnianie, rolnictwo, zanieczyszczenie wód

## WPROWADZENIE

Melioracje mają na celu dostosowanie uwilgotnienia gleby do potrzeb wodnych roślin poprzez odprowadzenie nadmiaru wody z gleby lub jej doprowadzenie w przypadku niedoborów. Są podstawą wyżki plonowania roślin oraz poprawy jakości produktów, dzięki czemu można stymulować bilanse produkcyjne i handlowe towarami rolno-spożywczymi. Umożliwiają wykonanie zabiegów agrotechnicznych i zbior plonów we właściwych terminach. Melioracje, to jednocześnie ingerencja w naturalne środowisko przyrodnicze, która ma na ogół pozytywne skutki, jednak w niektórych przypadkach (np. melioracje terenów torfowych i mokradłowych) mogą powodować zjawiska niepożądane, takie jak mineralizacja masy organicznej i zwiększony, powodujący eutrofizację cieków, odpływ biogenów lub niekorzystne zmiany w ekosystemach.

Niniejsze opracowanie stanowi przegląd wyników badań własnych, jak również innych autorów, istotnych z punktu widzenia oceny celowości, skutków i potrzeb rozwoju melioracji w Polsce.

---

<sup>1</sup> Józef Lipiński – Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, e-mail: j.lipinski@itp.edu.pl



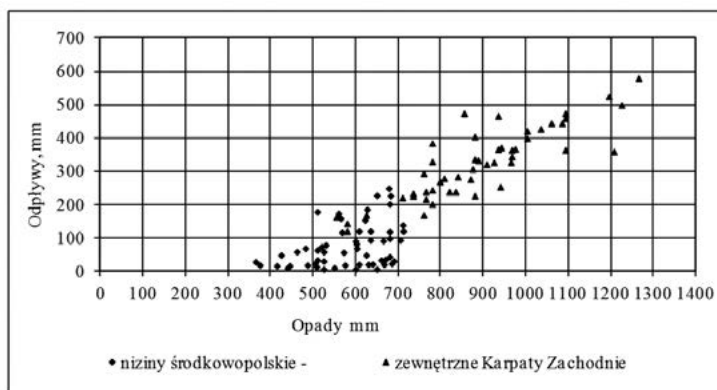
## EFEKTY PRODUKCYJNE I EKONOMICZNE MELIORACJI

Badania wielu autorów (Zawadzki, 1984) dotyczące efektywności drenowania gruntów ornych prowadzone w latach 1940-1980, na obszarze całego kraju, wykazały, że na skutek drenowania średnia wyżka plonów pszenicy ozimej wyniosła od 5,5 (30,9%) do 10,0  $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (50%); buraków cukrowych w granicach 7,5-90,0  $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (2,5-39,1%); a ziemniaków – 16,0-75,5  $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (10,6-62,4%).

Analizy efektywności melioracji trwałych użytków zielonych, prowadzone od 1960 do 1980 r. (Prokopowicz i Lipiński, 1987) wykazały wyżki plonów siana od 2,5 do 4,1  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Jednak w latach późniejszych, w wielu przypadkach, plony na zmeliorowanych trwałych użytkach zielonych obniżyły się do poziomu przed melioracjami (1,5-2,0  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na skutek niewłaściwej agrotechniki i eksploatacji urządzeń melioracyjnych (Lipiński, Kowalczyk, 2016). Pod względem ekonomicznym drenowanie gruntów ornych i melioracje trwałych użytków zielonych są na granicy opłacalności, ponieważ wewnętrzna stopa zwrotu z tych inwestycji realizowanych w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) wyniosła 4,9% (Bukowski i in., 2014). Wysoce efektywne jest natomiast nawadnianie ciśnieniowe upraw ogrodniczych, ponieważ – w przypadku warzyw (marchwi, cebuli, kapusty, buraków jadalnych) oraz truskawek i jabłoni – wewnętrzna stopa zwrotu z inwestycji wyniosła w granicach 63-91% (Lipiński, 2015), natomiast w przypadku wiśni od 15,2 do 51,3% (Lipiński, 2016).

## HYDROLOGICZNE I ŚRODOWISKOWE SKUTKI MELIORACJI

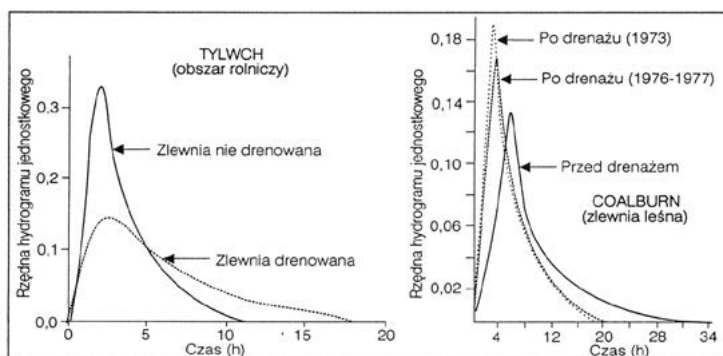
Odpiły drenarskie rozpoczynają się, gdy w glebie występuje nadmierne – przekraczające połowę pojemność wodną – uwilgotnienie, które jest związane z niedotlenieniem gleb (Ostrowski i Łabędzki, 2016) powodujące szkodliwe dla środowiska procesy oksydacyjne i straty plonów roślin uprawnych. Wielkość odpiływów jest zmienna, w zależności m. in. od sumy rocznej opadów (rys. 1.) i ich rozkładu w czasie oraz od gatunku gleb. Odpiływ wody siecią drenarską nie występuje lub jest niewielki w latach suchych, w szczególności na glebach ciężkich. W latach mokrych, gdy suma opadów rocznych wynosi 700 mm, kształtuje się od około zera (przy korzystnym rozkładzie opadów i słabo przepuszczalnych glebach) do maksymalnie 250 mm.



Rys. 1. Zależność rocznego odpływu drenarskiego od rocznej sumy opadów (Somorowski, 1994)



Melioracje mają wpływ na reżim hydrologiczny zlewni. Po obniżeniu poziomu wody gruntowej na skutek drenowania zwiększa się zdolność retencyjna profilu glebowego, co powoduje wyrównanie przepływów w rzece i zmniejszenie zagrożenia powodziowego (Okulik, 1993). W przypadku odwodnienia rowami jest podobnie, jednak po wyczerpaniu zdolności retencyjnej profilu glebowego wody deszczowe lub roztopowe spływają rowami szybciej niż przed melioracjami, zwiększając tym samym przepływy wody w rzekach (Mioduszewski, 1995). Badania w Walii (Chełmicki, 2001) wykazały, że na zdrenowanej zlewni rolniczej fala wezbraniowa jest bardziej spłaszczona (rys. 2) niż na zlewni nie drenowanej. Inaczej jest, gdy zastosuje się odwodnienie rowami, które w przypadku zlewni leśnej spowodowało zwiększenie fali powodziowej w stosunku do sytuacji przed odwodnieniem (rys. 2).



Rys. 2. Zmiany kształtu fali wezbraniowej po drenowaniu terenów rolniczych i odwodnieniu rowami lasów; przykłady z Walii (Chełmicki, 2001)

Odwodnienia eliminują lub zmniejszają intensywność szkodliwych dla środowiska procesów oksydujących, związanych z wydzielaniem podtlenków azotu i metanu. Jednocześnie przyspieszają rozkład materii organicznej i zwiększają odpływ biogenów z obszarów zmeliorowanych do cieków.

Po melioracji gleb organicznych, w warunkach łąkowo-pastwiskowego ich wykorzystania, następuje osiadanie torfowiska o ok. 1 cm w ciągu roku (Nyc, 1995). Naturalne mokradła usytuowane w obniżeniach mogące spełniać rolę filtratorów przechwytyjących związki chemiczne rozpuszczone w spływającej z wyżyn wodzie (np. wodach drenarskich), stają się – po odwodnieniu – źródłem zanieczyszczeń, bowiem azot uwalniany w procesie rozkładu materii organicznej jest wypłukiwany do odbiorników wodnych. Badania osiadania i mineralizacji gleb torfowych (Jurczuk, 2000) prowadzone na Pobrzeżu Pomorskim wykazały, że w ciągu 30 lat (od zdrenowania) średnie roczne straty torfu wynosiły  $5,0-5,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Jednak poprzez sterowanie odpływem i nawodnienia podsiąkowe, które pozwolą utrzymywać średni poziom wód gruntowych na głębokości nie większej niż 23–40 cm w okresie wegetacji i 50 cm w okresie suszy, można całkowicie zahamować osiadanie i mineralizację gleb torfowych (Jurczuk, 2000).

Wraz z wodą odpływającą siecią drenarską z gruntów ornych odpływają biogeny, powodujące eutrofizację odbiorników. Stężenie azotu azotanowego jest na ogół większe w wodach drenarskich niż w ciekach naturalnych (Lipiński, 2002). Stężenia te są zmienne,

uwarunkowane wieloma czynnikami (głębokość i rozstawa urządzeń melioracyjnych, gatunek gleby, zabiegi agrotechniczne, dawki nawozowe, płodozmian, wysokość i skład chemiczny opadów atmosferycznych), dlatego poszczególni badacze uzyskiwali niekiedy bardzo różniące się wyniki. W przypadku azotu azotanowego stężenie wynosiło w granicach od zera do 65 mg-dm<sup>3</sup>, natomiast fosforu fosforanowego do 0,47 mg-dm<sup>3</sup> (Durkowski i Lipiński, 2010; Pietrzak, 2012; Pietrzak, 2015), a niekiedy (Igras, 2004) w przypadku fosforu fosforanowego do 1,0 mg-dm<sup>3</sup>.

Mając na uwadze powyższe dane, celowe jest instalowanie na systemach melioracyjnych urządzeń do sterowania odpływem i redukcji stężeń związków biogennych, a także retencjonowanie wody w zbiornikach (Kowalewski, 1997). Sterowanie to jest uzasadnione tym, że obniżenie poziomu wody gruntowej poprzez odwodnienia jest czasami większe niż wynika to z potrzeb rolnictwa (Mioduszewski, Okruszko (red) 2016), a badania amerykańskie wykazały, że regulując odpływ z sieci drenarskiej można zmniejszyć prawie do połowy ładunek odpływającego azotu i fosforu (Evans i in., 1990).

## **BILANSE OBROTÓW TOWARAMI ROLNO-SPOŻYWCZYMI W HANDLU ZAGRANICZNYM**

Wartość eksportu ogółem w roku 2014 wyniosła 693,5 mld zł, a importu 704,6 mld zł (ceny bieżące). Saldo obrotów handlowych było więc ujemne i wynosiło minus 11,1 mld zł, a deficyt był nieco większy niż w roku 2013 (- 8,2 mld zł.), jednak zdecydowanie mniejszy niż w latach 2010 – 2012, kiedy ujemny bilans handlowy zawierał się w granicach 44,7–55,2 mld zł (GUS, 2015a).

W sektorze produktów rolno-spożywczych obroty handlowe w 2014 r. zamknęły się dodatnim saldem w wysokości 28,2 mld zł, wobec 25,6 mld zł w roku z 2013 r. Saldo te permanentnie rośnie, bo w 2005 r. wynosiło 6,6 mld zł, w 2010 r. – 10,3, a w 2012 r. – 18,2 mld zł (tab. 1). Jednak wymiana handlowa tłuszczami i olejami oraz produktami pochodzenia roślinnego (do roku 2012) miała saldo ujemne.

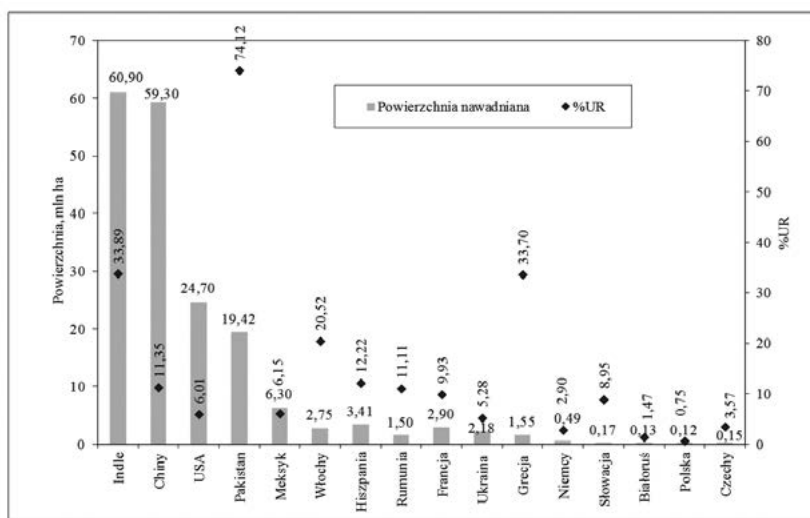
Tab. 1. Saldo obrotów handlowych produktami rolnymi i przemysłu spożywczego na tle obrotów ogółem (ceny bieżące), mld zł (GUS 2015a)

Wyszczególnienie	Rok				
	2005	2010	2012	2013	2014
Przetwory spożywcze	2,70	6,71	10,84	14,31	16,40
Zwierzęta żywe i produkty pochodzenia zwierzęcego	5,75	6,18	9,23	9,74	10,15
Produkty pochodzenia roślinnego	-0,99	-1,84	-0,14	2,40	2,37
Tłuszcze i oleje	-0,69	-0,71	-1,76	-0,86	-0,73
Razem saldo obrotów produktami rolnymi	6,76	10,33	18,16	25,60	28,19
Saldo obrotów w całej gospodarce	-39,41	-55,16	-44,71	-8,22	-11,10



## STAN MELIORACJI NA ŚWIECIE

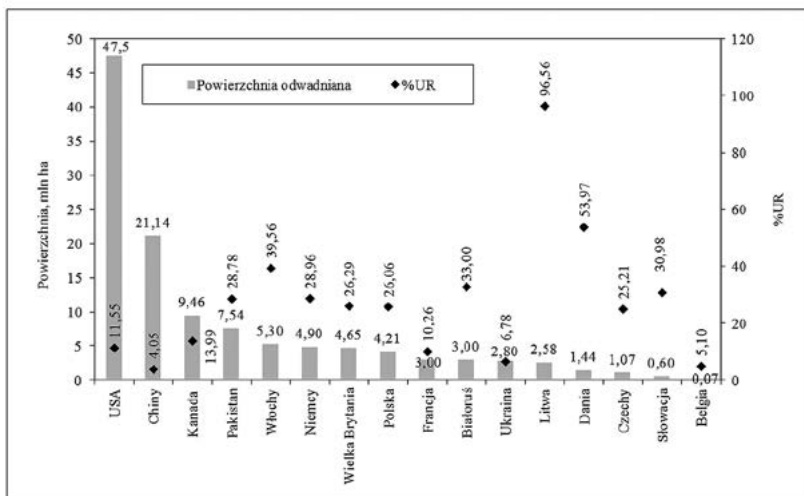
Użytki rolne (UR) na świecie zajmują 4,89 mld ha, z czego 3,36 mld ha stanowią użytki zielone, 1,38 mld ha grunty orne (GO), a 0,14 mld ha uprawy wieloletnie (UW) na gruntach ornym (FAO, 2010). Ogólna powierzchnia nawodnień na świecie (ICID, 2010–11) wynosi 299,2 mln ha (19,6% GO+UW), a odwodnień 202,9 mln ha (13,9% GO+UW). Największy obszar nawadnianych użytków rolnych (rys. 3) jest w Indiach – 60,9 mln ha (33,89%) w Chinach – 59,3 mln ha (11,35%), w USA – 24,7 mln ha (6,01%) i w Pakistanie – 19,42 mln ha (74,12%). W Europie najczęściej nawadnia się w krajach śródziemnomorskich – w Hiszpanii, we Francji, Włoszech i w Grecji, gdzie powierzchnia nawodnień wynosi kolejno 3,41, 2,9, 2,75 i 1,55 mln ha, co stanowi odpowiednio 12,22, 9,93, 20,5 i 33,7% użytków rolnych. W Polsce nawadnia się około 0,12 mln ha, co stanowi 0,75% UR i jest to, poza Litwą, najniższy odsetek nawadnianych użytków rolnych spośród krajów sąsiednich, gdzie nawadnia się w granicach 1,5÷9,0% UR.



Rys.3. Powierzchnia oraz odsetek nawadnianych użytków rolnych (opracowanie własne na podstawie ICID, 2010-11)

Największy areal odwadnianych użytków rolnych (rys. 4) występuje w USA – 47,5 mln ha (11,5% UR), w Chinach – 21,14 mln ha (4,06%), w Kanadzie – 9,46 mln ha (13,99% UR). W Europie największy odsetek odwadnianych użytków rolnych jest na Litwie (96,56% UR), w Danii (93,57%) i we Włoszech (39,56%). W Polsce, według ICID (2010–1011) odwadnia się 4,21 mln ha, co stanowi 26,06% UR i jest to nieco mniejszy odsetek niż w Niemczech, na Słowacji i Białorusi. W Wielkiej Brytanii odwadnia się obecnie około 26% UR, jednak w przeszłości odsetek ten był dużo wyższy (Pierzgalski i Karczmarczyk, 2006).





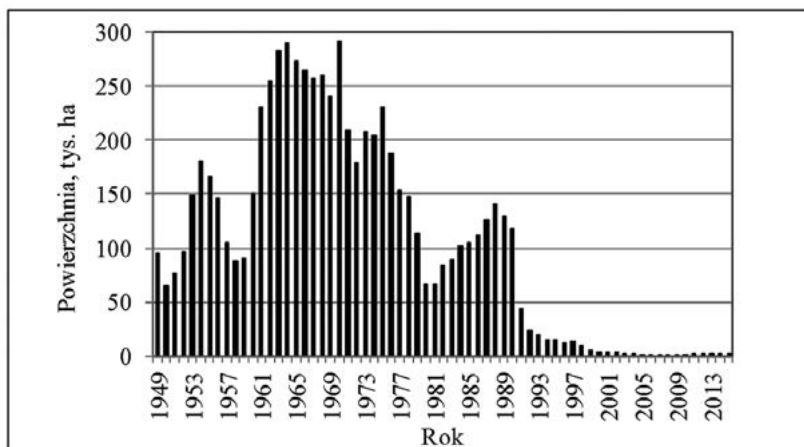
Rys.4. Powierzchnia oraz odsetek odwadnianych użytków rolnych (opracowanie własne na podstawie ICID, 2010-11)

## STAN I REALIZACJA MELIORACJI W POLSCE

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego o zmiennych opadach, dlatego potrzebne są tutaj melioracje odwadniające i nawadniające. Wykonywano je głównie po drugiej wojnie światowej, kiedy to polskie rolnictwo nadrabiało zaległości w tym zakresie w stosunku do rolnictwa krajów Europy Zachodniej. W latach 1949-1990 melioracje wykonywano na obszarze 67÷280 tys. ha·rok<sup>1</sup> (rys. 5). W kolejnych latach tempo melioracji zmniejszało się stopniowo ze 118 tys. ha w roku 1990 do 0,12-2,0 tys. ha·rok<sup>1</sup> po 2000 r. Według stanu ewidencyjnego (tab. 2) urządzenia melioracyjne funkcjonują na 6413,3 tys. ha użytków rolnych (UR), z czego 4626,8 tys. ha na gruntach ornych (GO) i 1786,5 tys. ha na trwałych użytkach zielonych (TUZ). Drenowania występują na 4379,3 tys. ha UR, głównie na gruntach ornych (3978,1 tys. ha). Nawodnienia prowadzi się na 66,1 tys. ha UR – są to głównie nawodnienia podsiąkowe (57,85 tys. ha) na trwałych użytkach zielonych. Według stanu ewidencyjnego, urządzenia melioracyjne na 1469,7 tys. ha UR wymagają odbudowy lub modernizacji, co stanowi 23% całkowitego areалу tych urządzeń.

Urządzenia melioracyjne w Polsce są przestarzałe, ponieważ systemy melioracyjne, których wiek nie przekracza 10 lat obejmują niecałe 17 tys. ha, nowsze niż 20-letnie stanowią 177 tys. ha, nowsze niż 30-letnie – 1249 tys. ha., natomiast starsze niż 30-letnie są na powierzchni ponad 5,0 mln ha, a starsze niż 40-letnie na 3,5 mln ha.





Rys. 5. Realizacja melioracji w Polsce (wg danych MRiRW)

Poza ewidencją są systemy nawodnień ciśnieniowych wykonanych indywidualnie przez rolników. Wykonuje się je głównie w celu nawadniania upraw ogrodniczych. Badania wykazały, że nawadnianych jest 11,7% sadów (GUS, 2013) i 20% upraw warzywnych (GUS, 2007). Biorąc pod uwagę powierzchnie uprawy (GUS, 2015) i odsetek nawadnianych sadów i warzyw można określić, że uprawy ogrodnicze są nawadniane na powierzchni ok. 80,0 tys. ha.

Tab. 2. Stan ewidencyjny melioracji w tys. ha w Polsce (RRW-10)

Wyszczególnienie		UR	GO	TUZ
Obszar zdrenowany		4379,3	3 978,1	401,2
Obszar wyposażony w urz. do nawodnień		424,2	51,3	372,9
Obszar nawadniany		66,1		
z tego	podsiąkowo	57,85		57,85
	ciśnieniowo (deszczownie)	8,10		
	zalewowo	0,07		
Powierzchnia użytków rolnych, na której urządzenia wymagają odbudowy lub modernizacji		1 469,7	874, 2	595,5
Urządzenia sprawne		4945,6	3752,6	1191,0

## POTRZEBY MELIORACJI W POLSCE

Melioracji wymaga 9,2 mln ha użytków rolnych, podczas gdy powierzchnia zmeliorowana wynosi 6,43 mln ha, a więc stopień spełnienia potrzeb w tym zakresie wynosi 69,6% (GUS, 2015a). Na podobnym poziomie określono potrzeby melioracji w Programie Wisła z 1978 r. (Prochal, 1986), kiedy w Polsce występowała niedostateczna podaż produktów rolnych i planowano ją istotnie zwiększyć poprzez melioracje.

Nowsze analizy przeprowadzone w MRiRW, przy współpracy WZMiUW i z uwzględnieniem zgłoszeń rolników w zakresie potrzeb melioracji wskazują, że w latach 2017-2031 powinno się wykonać melioracje na powierzchni ponad 1,0 mln ha, z tego modernizację zdekapitalizowanych urządzeń na powierzchni 697944 ha oraz melioracje nowe na powierzchni 307794 ha (tab. 3). Spełnienie tych potrzeb jest jednak mało realne, ponieważ należałoby rocznie wykonywać lub modernizować urządzenia na powierzchni 67,0 tys. ha, tymczasem w latach 2010–2015 inwestycjami objęto 10957 ha (1826 ha-rok<sup>-1</sup>).

Tab. 3. Potrzeby melioracji w latach 2017-2031(wg danych MRiRW z 2016 r.)

Wyszczególnienie	Jednostka miary	lata 2017-2030	
		Ilość jednostek	Wartość robót w tys. zł
Modernizacja	ha	697 944	13 650 150
a) grunty orne	ha	414 862	7 947 469
b) użytki zielone	ha	283 082	5 702 681
Nowe inwestycje	ha	307 794	7 385 577
a) grunty orne	ha	258 805	6 429 604
b) użytki zielone	ha	48 989	955 973
Razem melioracje	ha	1 005 738	21 035 727
a) grunty orne	ha	673 667	14 377 073
b) użytki zielone	ha	332 071	6 658 654

## PODSUMOWANIE

Zgodnie z art. 74 ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo Wodne (Dz. U. 2015 poz. 469) wykonywanie urządzeń melioracji wodnych szczegółowych należy do właścicieli gruntów. Mogą one być też wykonywane na koszt Skarbu Państwa za zwrotem, w formie opłaty melioracyjnej, części kosztów przez właścicieli gruntów, na które urządzenia te wywierają korzystny wpływ, albo na koszt Skarbu Państwa przy współudziale publicznych środków wspólnotowych za zwrotem przez zainteresowanych właścicieli gruntów części kosztów w formie opłaty inwestycyjnej. Wsparcie finansowe melioracji wodnych w rolnictwie



ze strony Skarbu Państwa lub z funduszy UE jest uzasadnione wysokimi kosztami inwestycji, w stosunku do możliwości finansowych drobnych i średnich gospodarstw rolnych.

Niezależnie od źródeł finansowania melioracji szczegółowych, mogą one być wykonywane tylko na wniosek rolnika i to rolnicy określają potrzeby w tym zakresie. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi powinno prowadzić aktywną politykę w zakresie rozwoju melioracji w zależności od produktywności polskiego rolnictwa na tle potrzeb krajowych i bilansów w handlu zagranicznym oraz określać zasady projektowania i eksploatacji systemów w celu zachowania ich w stanie sprawnym, jak również ze względu na potrzebę ochrony środowiska i zasobów wodnych. Aktywna polityka państwa w zakresie melioracji powinna polegać też na prowadzeniu działań informacyjnych i szkoleń dotyczących efektów drenowań i nawodnień, a także w zakresie zasad eksploatacji systemów melioracyjnych.

Przeprowadzona w niniejszym opracowaniu analiza pozwala na następujące stwierdzenia:

1. Ogólny bilans obrotów handlu zagranicznego w sektorze produktów rolno-spożywczych w ostatnich latach jest dodatni, jednak wymiana handlowa tłuszczami i olejami do roku 2014 oraz produktami pochodzenia roślinnego do roku 2012 miała saldo ujemne.
2. Nawadnianie ciśnieniowe upraw ogrodnich jest wysoce efektywne, natomiast efektywność ekonomiczna drenowania gruntów ornych oraz melioracji odwadniająco-nawadniających na użytkach zielonych jest zdecydowanie niższa.
3. Odbudowy lub modernizacji wymagają urządzenia melioracyjne na 1469,7 tys. ha UR, co stanowi 23% całkowitego ich areалу.
4. Rolnicy zgłaszają potrzebę modernizacji zdekapitalizowanych urządzeń na powierzchni 697,9 tys. ha i wykonania nowych melioracji na 307,8 tys. ha.
5. Nawodnienia w Polsce obejmują mniejszy odsetek użytków rolnych niż w krajach sąsiednich (poza Litwą), natomiast odsetek odwodnianych użytków rolnych w Polsce jest podobny jak w Niemczech, Czechach, na Słowacji i Białorusi oraz zdecydowanie mniejszy niż na Litwie.
6. Drenowania powodują spłaszczenie fali powodziowej w ciekach odprowadzających wodę ze zlewni rolniczych.
7. Odwodnienia eliminują lub zmniejszają intensywność szkodliwych dla środowiska procesów oksydukcyjnych, przyspieszają natomiast rozkład materii organicznej i zwiększają odpływ biogenów (głównie azotu azotanowego) z obszarów rolniczych.
8. Poprzez sterowanie odpływem wody z sieci odwadniającej oraz retencjonowanie odpływającej wody w zbiornikach można pozytywnie wpływać na środowisko przyrodnicze i zwiększać zasoby wody w zlewniach rolniczych.

## LITERATURA

- Bukowski M., Liziński T., Wróblewska A., 2014: Efektywność ekonomiczna inwestycji z zakresu melioracji wodnych na przykładzie PROW 2007–2013. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 14. z. 2 (46), s. 5–15.
- Chełmicki W, 2001. Woda – zasoby, degradacja, ochrona. PWN, Warszawa, ss. 306.
- Durkowski T., Lipiński J., 2010: Stężenia i ładunki składników chemicznych w odpływach drenarskich w warunkach Pomorza Zachodniego, Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. z. 548, s. 141-155



- Evans R.O., Gilliam J.W., Skaggs R.W., 1990: Controlled drainage and subirrigation effects on drainage water quality. 14<sup>th</sup> Congress on Irrigation and Drainage, Rio De Janeiro, Brasil, s. 13-30.
- FAO, 2010: Statistical yearbook of the food and agriculture (Dostęp 20.03.2013). Dostępny w Internecie: <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e01.pdf>.
- GUS, 2007: Badanie produkcji roślinnej – produkcja ogrodnicza, badanie warzyw grunto-  
wych. Warszawa.
- GUS, 2013: Badanie produkcji roślinnej – produkcja ogrodnicza, badanie sadów  
w 2012 r. Warszawa.
- GUS, 2015: Ochrona Środowiska. Warszawa.
- GUS, 2015a. Rocznik statystyczny rolnictwa. Warszawa.
- ICID, 2010-11: Annual Report. New Delhi, India (Dostęp 20.09.2013). Dostępny w Internecie:  
[http://www.icid.org/res\\_irrigation.html](http://www.icid.org/res_irrigation.html)
- Igras J., 2004: Zawartość składników mineralnych wodach drenarskich z użytków  
zielonych w Polsce. Monografie i Rozpr. Nauk. 13. Puławy.
- Jurczuk S., 2000. Wpływ regulacji stosunków wodnych na osiadanie i mineralizację gleb or-  
ganicznych. Bibl. Wiad. IMUZ 96, Falenty.
- Kowalewski Z. 1997. Małe zbiorniki wodne jako element poprawy jakości wód powierzch-  
niowych. W: Zbiorniki wodne – rola w krajobrazie rolniczym (red. Mioduszewski W.).  
Materiały seminaryjne 40. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, s. 29–50
- Lipiński J., 2002: Odpływ składników chemicznych z gleby poprzez sieć drenarską. Woda -  
Środowisko -Obszary Wiejskie, t. 2, z. 2 (5), s. 151–170
- Lipiński J., 2015: Efektywność ekonomiczno-finansowa deszczownianego nawadniania  
ziemniaków jadalnych na glebach lekkich w warunkach produkcyjnego gospodar-  
stwa rolnego. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 15. z. 3(51), s. 61–73.
- Lipiński J., 2016: Efektywność kropłowego nawadniania sadów wiśniowych. Woda-Środowi-  
sko-Obszary Wiejskie, t. 16. z. 2(54), s. 77–88.
- Lipiński J., Kowalczyk J., 2016. Stan techniczny urządzeń melioracyjnych oraz jakość trwałych  
użytków zielonych na obiekcie nawodnień podsiąkowych „Znamięczki” Wiad. Mel.  
i Łąk nr 3., s. 117–122
- Mioduszewski W., 1995: Rola torfowisk w kształtowaniu zasobów wodnych małych zlewni  
rolniczych. W. Torfoznawstwo w badaniach naukowych i praktyce. Mat. sem. nr 34.  
IMUZ, Falenty, 305-314
- Mioduszewski W., Okruszko T., (red) 2016: Naturalna, mała retencja wodna – Metoda łago-  
dzenia skutków suszy, ograniczania ryzyka powodziowego i ochrona różnorodności  
biologicznej. Podstawy Metodyczne. Globalne Partnerstwo dla Wody. Polska.
- Nyc K., 1995. Ekologiczne konsekwencje melioracji wodnych. W: - Cele i zadania współcze-  
snych melioracji wodnych. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, s. 13-25
- Okulik N., W., 1993. Osuszenie zabołoczonych wodosborow ich gidrologiczeskij reżim, pro-  
duktiwnost poczw i socjalno ekonomiczeskije posledstwa. Akademia Agrarnych  
Nauk, Minsk.
- Ostrowski J., Łabędzki L., 2016: Nadmiary wody opadowej a niedotlenienie gleb ornych  
Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie. Nr 43.  
Falenty. Wydaw. ITP, Falenty.
- Pierzgalski E., Karczmarczyk S., 2006: Rozwój nawodnień na świecie i w Polsce.  
W: Nawadnianie roślin (red. Karczmarczyk S. i Nowak L.) PWRiL Poznań, s. 15-25.



- Pietrzak S., 2012: Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Polish Journal of Agronomy 11, s. 34-40.
- Pietrzak S., 2015: Fosforany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Woda Środ. Obsz. Wiej. T. 15. Z. 3 (51), s. 89-100.
- Prochal P., 1986: Podstawy melioracji rolnych. T. 1. PWRiL, Warszawa.
- Prokopowicz J., Lipiński J., 1987. Efektywność inwestycji melioracyjnych w świetle ekspertyz pomelioracyjnych. WMił, nr 8-9, s. 234-238
- RRW-10, 2015: Sprawozdanie ze stanu ilościowego i utrzymania urządzeń melioracyjnych za rok 2014 – stan na dzień 31 grudnia. MRiRW, Warszawa.
- Somorowski Cz., 1994: Hydrologiczne funkcje drenowania użytków rolnych. Zesz. Nauk. AR Wroc. nr 246. Konf. 3 t. 2, s. 235-244.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo Wodne (Dz. U. 2015 poz. 469).
- Zawadzki W., 1984: Efektywność drenowania gruntów ornyczych na terenach nizinnych. IERiGŻ, Warszawa.

## **STATE, NEEDS AND CONDITIONS OF DEVELOPMENT THE LAND RECLAMATION IN POLAND**

**Summary:** The paper an overview of their research, as well as other authors, in terms of productivity and economic efficiency of water land reclamation, their impact on the environment, the condition of it and expansion needs. Irrigation in Poland comprise a smaller percentage of agricultural land than in neighboring countries (except Lithuania), while the percentage of reclaimed arable land in Poland is similar to that in Germany, the Czech Republic, Slovakia and Belarus and definitely lower than in Lithuania. Due to the technical wear, reconstruction or modernization requires drainage device to 1469.7 thousand. ha of agricultural land, which represents 23% of their total area. Pressure Irrigation of horticultural crops is a highly effective, but economic efficiency drainage of arable land and grassland is much lower. Drainage causing flattening of the flood in agricultural streams, reduce the intensity of environmentally harmful oxy-reduction processes, while increasing the outflow of nutrients (mainly nitrate nitrogen) from agricultural areas. By controlling the outflow of water by drainage network, we can minimize the negative effects of drainage, while retaining their positive impact on agricultural production.

**Key words:** agriculture, contaminating of water, drainage, irrigation.







# ZASOBY WODNE MAŁEJ ZLEWNI NIZINY MAZOWIECKIEJ

Ewa Kaznowska<sup>1</sup>, Kazimierz Banasik<sup>1</sup>, Leszek Hejduk<sup>1</sup>, Agnieszka Hejduk<sup>2</sup>

**Streszczenie:** Celem pracy jest ocena zasobów wodnych małej zlewni Niziny Mazowieckiej oraz analiza tendencji zmian charakterystyk opadu, odpływu jak również zjawisk wezbrań i niżówek w wieloleciu 1963-2015. Zlewnia rzeki Zagożdżonki monitorowana jest przez Katedrę Inżynierii Wodnej SGGW, od 1962 roku i należy do nielicznej grupy małych zlewni badawczych w kraju, posiadających tak długie ciągi danych pomiarowych. Analiza zebranych danych pozwala stwierdzić, iż średnie sumy opadów w półroczu letnim znacznie przewyższają ilość opadów w półroczu zimowym, jednak nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian w przebiegu rocznych i półrocznych sum opadów. Stwierdzono natomiast występowanie istotnego trendu malejącego dla rocznego odpływu rzeczno-ego oraz średniego rocznego przepływu i średniego przepływu półroczy zimowych. Jak wynika z przeprowadzonych badań maleje liczba dni z przepływami wezbraniowymi, a wzrasta liczba dni z przepływami niżówkowymi. Zasoby wodne w badanej zlewni uległy zmniejszeniu. Wzrosło zagrożenie zjawiskiem niżówki wód powierzchniowych.

**Słowa kluczowe:** zlewnia, Zagożdżonka, Nizina Mazowiecka, niżówka, wezbranie

## WPROWADZENIE

Ocena zasobów wodnych zlewni i analiza zmienności zachodzących w niej procesów hydrologicznych w czasie i przestrzeni, to jedne z najważniejszych zagadnień hydrologii i gospodarki wodnej. Charakterystyki odpływu należą do głównych wskaźników stanu zasobów wodnych, a wieloletnie ich obserwacje są ważnym źródłem informacji o zachodzących zmianach w reżimie hydrologicznym zlewni.

Jedną z nielicznych małych zlewni w Polsce, w której ciągi pomiarowe obejmują okres ponad 50 lat jest zlewnia badawcza rzeki Zagożdżonki, w której Katedra Inżynierii Wodnej SGGW w Warszawie, prowadzi pomiary i badania hydrologiczne od roku 1963. Zlewnia rzeki Zagożdżonki położona jest na Nizinie Mazowieckiej, gdzie występują jedne z najniższych w kraju odpływy jednostkowe – poniżej  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  (rys. 1). Obszary te są szczególnie narażone, na istotne ograniczenie produktywności siedlisk, a znaczna część znajdujących się tu użytków zielonych położona jest na glebach o słabej jakości (kompleks 3z). W regionach centralnej i północnej Polski niemal wszystkie użytki zielone o średniej i słabej jakości występują na obszarach o średnich bądź dużych deficytach wody (Stuczyński, Dębicki 2006). Kundzewicz i inni (2010) do głównych zagrożeń rolnictwa na Niżu Polskim zaliczają coraz częstsze i ostrzejsze susze.

<sup>1</sup> Ewa Kaznowska – Katedra Inżynierii Wodnej SGGW w Warszawie, e-mail: ewa\_kaznowska@sggw.pl

<sup>1</sup> Kazimierz Banasik – Katedra Inżynierii Wodnej SGGW w Warszawie, e-mail: kazimierz\_banasik@sggw.pl

<sup>1</sup> Leszek Hejduk – Katedra Inżynierii Wodnej SGGW w Warszawie, e-mail: leszek\_hejduk@sggw.pl

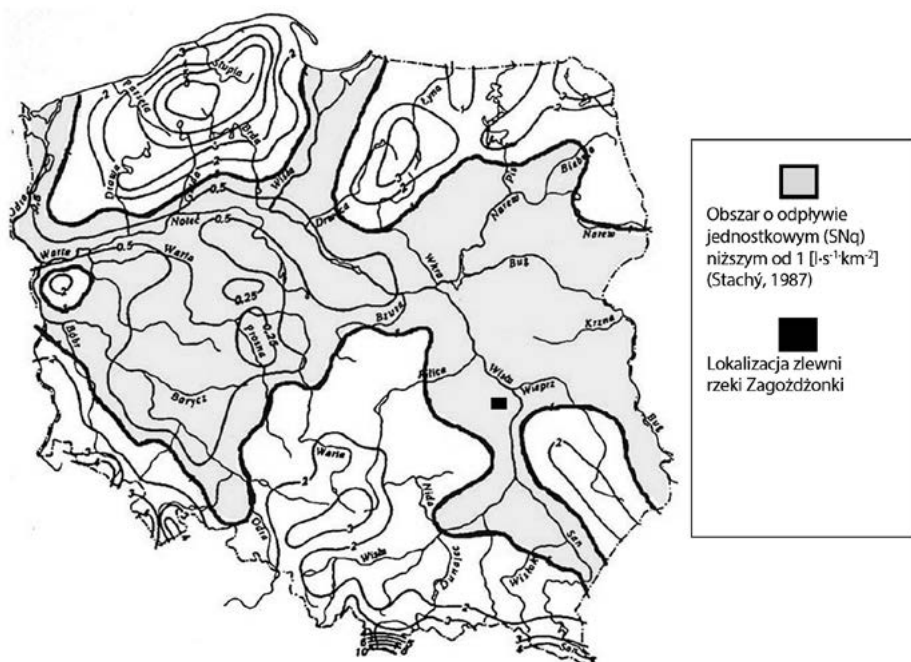
<sup>2</sup> Agnieszka Hejduk – Centrum Wodne SGGW w Warszawie, e-mail: agnieszka\_hejduk@sggw.pl

Celem pracy jest ocena zasobów wodnych zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare oraz analiza tendencji zmian charakterystyk opadu, odpływu jak również zjawisk wezbrań i niżówek w wieloletniu 1963-2015.

## MATERIAŁ I METODY

### Obszar badań

Rzeka Zagożdżonka jest lewobrzeżnym dopływem Wisły, mającym swe ujście w okolicach Kozienic pod wsią Świerże Górne. Objęta badaniami górna część zlewni położona jest wg podziału fizyczno-geograficznego na Równinie Radomskiej, w odległości ok. 100 km na południe od Warszawy (Byczkowski i in. 2001). Zlewnia ma charakter rolniczy, a jej powierzchnia po profil Płachty Stare wynosi 82,4 km<sup>2</sup>. W zlewni przeważają gleby piaszczyste. Gleby charakteryzują się wadliwymi stosunkami wilgotnościowymi. W okresie wiosennym są nadmiernie uwilgotnione, natomiast w okresie letnim i jesiennym są stale za suche (Hejduk i Igras, 2011). W strukturze zagospodarowania terenu dominują grunty orne, a lasy po profil Płachty Stare stanowią 40% zlewni (Banasik i in., 2013). Pod względem regionów klimatycznych (Woś, 1996), zlewnia rzeki Zagożdżonki należy do regionu Środkowomazowieckiego, obejmującego swym zasięgiem część Niziny Mazowieckiej i całą Kotlinę Warszawską. W porównaniu z innymi regionami, notuje się tu stosunkowo dużo dni bardzo ciepłych i pochmurnych a także ciepłych bez opadu. Lato trwa ponad 90 dni, a zima: 90-100 dni. Długość okresu wegetacyjnego przekracza 220 dni (Richling i Ostaszewska, 2005).



Rys.1. Lokalizacja zlewni rzeki Zagożdżonki

## **Charakterystyki opadu i odpływu**

Wykorzystane do analizy dane opadowe pochodzą z dwóch źródeł: dla okresu 1963-1982 z posterunku opadowego IMGW w Zwoleniu, natomiast dla okresu 1982-2015 z ogródka meteorologicznego Katedry – stacji pomiarowej w Czarnej, odległej ok. 1,5 km od profilu Płachty Stare i około 13 km od posterunku w Zwoleniu. Prezentowane w pracy dane obejmują lata hydrologiczne 1963-2015. Badaniami objęto miesięczne, półroczne i roczne sumy opadów oraz liczbę dni z opadem powyżej 0,1 mm. Dane dotyczące pokrywy śnieżnej za okres 2003-2015 pochodzą ze stacji w Czarnej.

Analiza zmienności odpływu oparta została na charakterystyce miary względnej odpływu – warstwy odpływu (H) w wieloleciu 1963-2015 oraz na wartościach przepływów charakterystycznych (SQ, NQ, WQ) wyznaczonych dla całego rozpatrywanego okresu 1963-2015 i kilku ostatnich lat (2011-2015) w profilu Płachty Stare. Ocenę kształtowania się odpływu w zlewni w poszczególnych dniach roku hydrologicznego przeprowadzono na podstawie uśrednionego dla wielolecia 1963-2015 hydrogramu uzyskanego z przepływów dobowych.

## **Charakterystyki wezbrań i niżówek**

Wezbrania i niżówki wyodrębniono poprzez przyjęcie granicznych wartości przepływów odcinających poszukiwane zjawiska na hydrogramach przepływów dobowych. Stosując kryterium hydrologiczne proponowane przez Ozgę-Zielińską (1990), za dolną granicę wezbrania przyjęto przepływ NWQ (najniższy z maksymalnych przepływów rocznych), natomiast za granicę niżówek SNQ (średni z najniższych przepływów rocznych). Za niżówkę uznano każdy dzień z przepływem niższym od wartości granicznej, a za wezbranie każdy dzień z przepływem powyżej przepływu granicznego, przyjmując jeden dzień za minimalny czas trwania obu zjawisk. Wybranie wspólnego minimalnego czasu trwania dla obu zjawisk pozwoliło na zaobserwowanie wszystkich przepływów niższych i wyższych od poziomu odcięcia, traktując je odpowiednio jako przepływy niżówkowe i wezbraniowe. Wartości poziomów odcięcia wyznaczono na podstawie 50-letniego okresu obserwacji (1963-2012), które dla profilu Płachty Stare wyniosły odpowiednio: SNQ –  $0,075 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , NWQ –  $0,509 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Szczegółowy opis metod wyznaczania charakterystyk niżówek i wezbrań znajduje się w pracy Kaznowskiej i in. (2015).

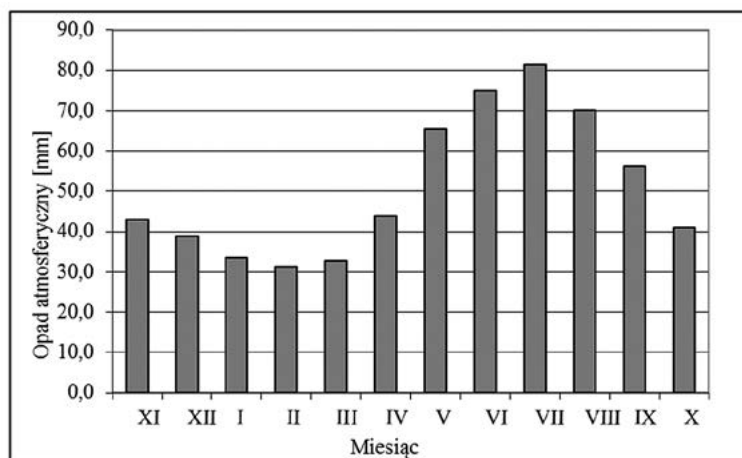
Ocenę tendencji zmian charakterystyk opadu, odpływu oraz zjawisk wezbrań i niżówek w wieloleciu 1963-2015 oparto na analizie istotności statystycznej trendu przy pomocy testu Manna-Kendalla dla dwóch poziomów istotności  $\alpha = 0,1$  i  $\alpha = 0,05$ , wykorzystując program Trend (Chiew, 2005).

## **WYNIKI BADAŃ**

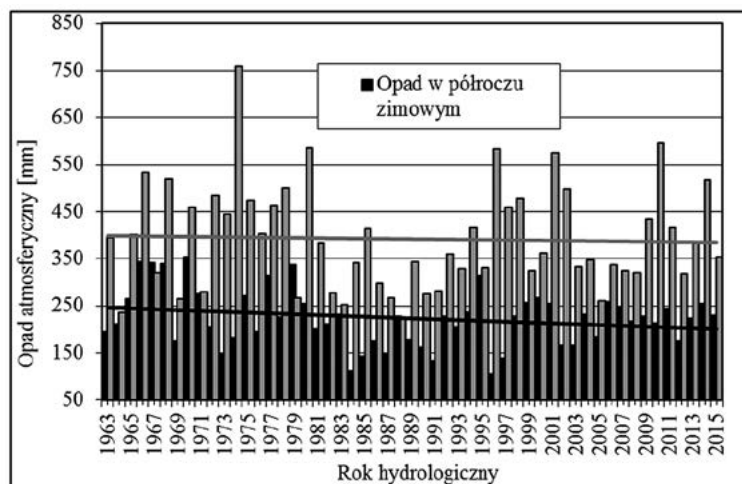
Z oceny wieloletniej serii danych pomiarowych (1963-2015) ze zlewni rzeki Zagożdżonki wynika, iż opady rozkładają się nierównomiernie w ciągu roku hydrologicznego. Średnie miesięczne sumy opadów (rys. 2) w półroczu letnim znacznie przewyższają ilość opadów w półroczu zimowym. Najmniejsze miesięczne sumy opadów dotyczą stycznia, lutego i marca, a najwyższe: lipca i czerwca. Średni roczny opad dla badanego obszaru wynosi 612 mm. W podziale na półrocza, zdecydowanie więcej opadu przypada na półrocze letnie (389 mm) niż zimowe (223 mm) i nie obserwuje się żadnych istotnych statystycznie zmian



w ich wieloletnim przebiegu (rys. 3, tab. 3), podobnie jak w przypadku wartości rocznych (Banasik i in. 2013). Brak zauważalnych istotnych tendencji w przebiegu rocznych sum opadów notuje dla innych obszarów kraju Kozyra i Liszewska (2016).



Rys.2. Średni rozkład w roku opadu w zlewni Zagożdżonki w okresie 1963-2015

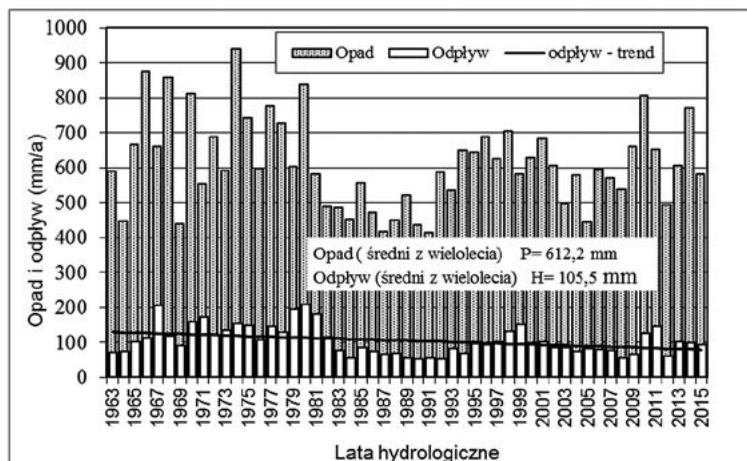


Rys.3. Suma opadów z półroczu letniego i zimowego w zlewni Zagożdżonki w okresie 1963-2015

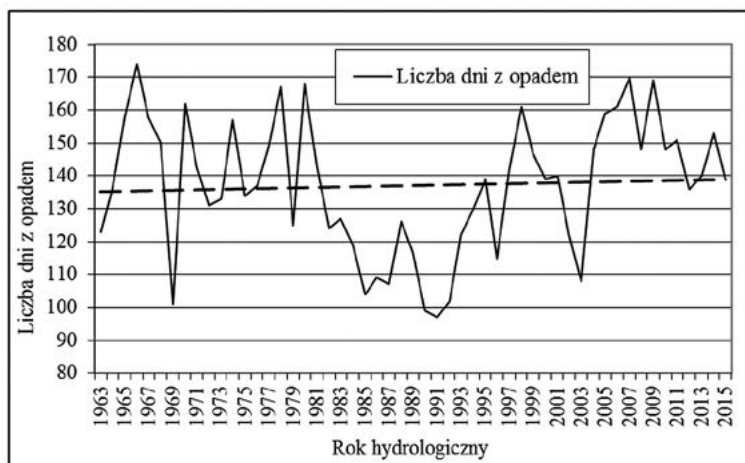
Klimatyczny bilans wodny w miesiącach półroczu letniego dla obszaru Niziny Mazowieckiej według badań IMGW-PIB charakteryzuje się wartościami ujemnymi, co powoduje iż obszar ten należy do najbardziej posusznych regionów kraju, do których zalicza się prawie całą środkową, północno-zachodnią i środkowo-wschodnią część Polski. Susze występują tutaj najczęściej i charakteryzują się skrajnie długimi ciągami dni bez opadów (Łąbeź-



ki, 2006). Podatne na susze są także występujące tu słabe gleby (piaski luźne, słabogliniaste), które mają dwa razy mniej wody niż gleby ilaste. Jednakże mimo iż obserwuje się w kraju nasilenie występowania okresów susz (2003, 2006, 2008, 2012, 2015 rok) to w zlewni Zagożdżonki brak istotnej tendencji w przebiegu liczby dni z opadem > 0,1mm (rys. 5, tab.3), poza widoczną okresowością zgodną z przebiegiem rocznych sum opadów (rys. 4).



Rys.4. Roczna suma opadów i odpływu w zlewni Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w okresie 1963-2015

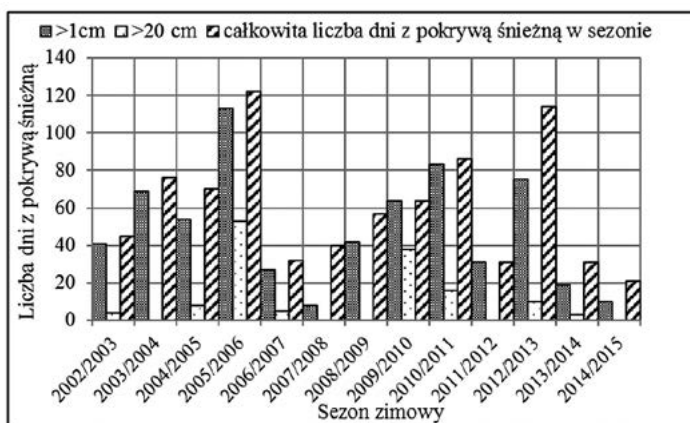


Rys.5. Liczba dni z opadem >0,1mm w zlewni Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w okresie 1963-2015

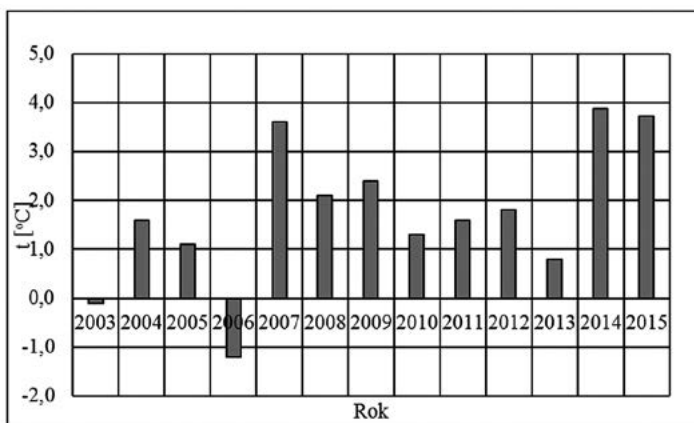




Ustrój rzeki Zagożdżonki, jest umiarkowany, z wiosennymi i zimowymi wezbrzeniami, o zasilaniu gruntowo-deszczowo-śnieżnym (Dynowska, 1971). W półroczu zimowym opady występują w postaci zarówno deszczu jak i śniegu oraz deszczu ze śniegiem. Według badań Chrzanowskiego (1988) pokrywa śnieżna pojawia się w regionie zlewni Zagożdżonki zazwyczaj między 25 a 30 listopada, a zanika pomiędzy 20 a 25 marca i zalega średnio ok. 70 dni. Natomiast według badań Hejduk i Hejduk (2014) prowadzonych od roku 2003 w profilu Czarna w okresie zalegania pokrywy śnieżnej wynika, iż średnia liczba dni z pokrywą śnieżną jest nieco niższa od tej podanej przez Chrzanowskiego i wynosi 61 dni (rys. 6). Widoczny jest również spadek całkowitej liczby dni z pokrywą śnieżną w półroczu zimowym oraz spadek liczby dni z pokrywą grubą (>20 cm; średnio 10 dni w sezonie), gdzie w latach hydrologicznych 2004, 2008, 2009, 2012 i 2015 gruba pokrywa śnieżna nie pojawiła się wcale. Biorąc pod uwagę warunki termiczne i śnieżne, w latach 2003-2015 dominowały zimy łagodne, o średniej temperaturze powietrza w sezonie zimowym powyżej 0°C (rys.7). oraz zimy małośnieżne (Hejduk i Hejduk, 2014). Okres roztopowy trwa w zlewni od 1 do 4 dni.



Rys.6. Liczba dni z pokrywą śnieżną w zlewni rzeki Zagożdżonki



Rys.7. Średnia temperatura półrocza zimowego w latach 2005-2015, w zlewni rzeki Zagożdżonki

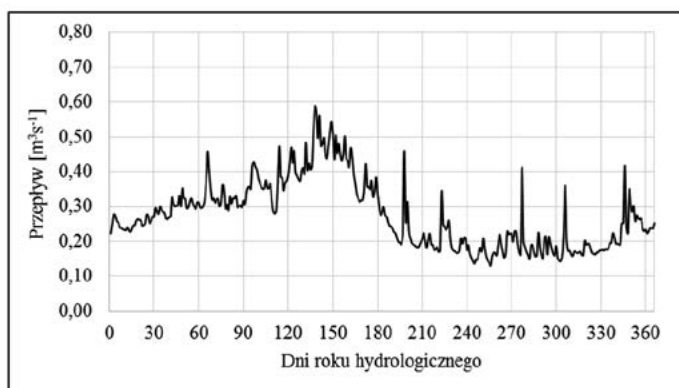


Obserwowana w wieloletnich badaniach (1963-2015) wyraźna różnica między sumami opadów w półroczach letnim i zimowym w zlewni rzeki Zagożdżonki dotyczy także wielkości przepływów.

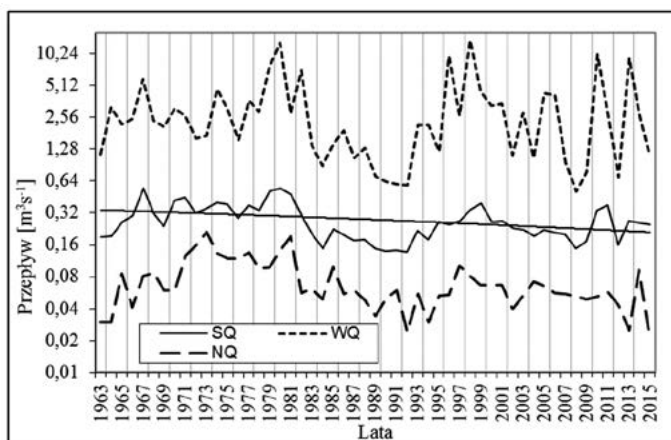
Tab. 1. Przepływy charakterystyczne w profilu Płachty Stare ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) w okresie 1963-2015 i w latach 2011-2015

Rok Okres	Rok i półrocza hydrologiczne				
	XI-X			XI-IV	V-X
	SQ	NQ	WQ	SQ	SQ
	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$				
2011	0,379	0,058	2,73	0,489	0,271
2012	0,160	0,043	0,69	0,226	0,094
2013	0,269	0,025	9,23	0,314	0,224
2014	0,258	0,093	2,83	0,212	0,303
2015	0,249	0,022	1,12	0,350	0,149
1963-2015	0,276	0,022	13,7	0,348	0,204
2011-2015	0,263	0,022	9,23	0,318	0,208

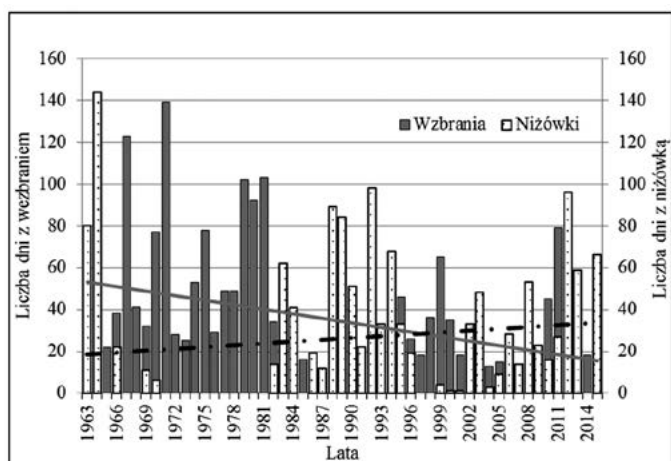
W profilu Płachty Stare większe wartości przepływów utrzymują się w półroczu zimowym roku hydrologicznego, szczególnie od przełomu lutego i marca do końca kwietnia, zaś mniejsze wartości przepływów dominują w półroczu letnim, od przełomu kwietnia i maja do końca roku hydrologicznego. Począwszy od maja do połowy października przepływy średnie dobowe układają się w długotrwałą fazę przepływów niższych od sezonu zimowego, przerywanych jedynie krótkimi epizodami wezbraniowymi (rys. 8). Średni roczny przepływ (SQ) dla półrocza zimowego wynosi  $0,348 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  i jest wyższy od przepływu średniego z półrocza letniego ( $0,204 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) o 70% (tab. 1). Duże różnice dotyczą także przepływów minimalnych rocznych (NQ) i przepływów maksymalnych rocznych (WQ) (rys. 9), gdzie dla wielolecia 1963-2015, w profilu Płachty Stare, przepływ NQ wynosi  $0,022 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , a WQ –  $13,7 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (tab. 1).



Rys. 8. Średni dla wielolecia rozkład przepływów dobowych dla rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w okresie 1963-2015



Rys. 9. Średni dla wieloletni rozkład przepływów dobowych dla rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w okresie 1963-2015



Rys. 10. Liczba dni z wezbraniem i niżówką w profilu Płachty Stare dla rzeki Zagożdżonki w okresie 1963-2015

Analizując w zlewni Zagożdżonki wieloletni rozkład średnich rocznych przepływów (SQ) w poszczególnych latach okresu 1963-2015 można zauważyć istotny statystycznie trend malejący tych wartości (rys. 9, tab. 2). Zmiana ta dotyczy także średniej rocznej warstwy odpływu (H) i przepływów średnich z półrocza zimowego (rys. 4). Jednakże nie zaobserwowano istotnej zmiany w przepływach średnich półrocza letniego (tab. 2). Spadek średnich przepływów w półroczach zimowych (rys. 4) można powiązać z obserwowanym w zlewni spadkiem całkowitej liczby dni z pokrywą śnieżną w półroczu zimowym oraz spadkiem liczby dni z pokrywą grubą (>20 cm) (rys. 2). Widoczne ocieplenie półroczy zimowych (rys. 7) w zlewni rzeki Zagożdżonki potwierdzają dane Biuletynu Monitoringu Klimatu Polski (2015) z których wynika iż z początkiem XXI wieku notuje się ekstremalnie ciepłe miesiące



półrocza zimowego, zwłaszcza listopad i kwiecień. A najcieplejsze półrocze zimowe w tym okresie przypadło na rok hydrologiczny 2015, w którym wszystkie miesiące od listopada 2014 do kwietnia 2015 roku miały charakter od lekko ciepłego do anomalnie ciepłego.

Tab. 2. Analiza istotności statystycznej trendów charakterystyk opadu, przepływu i charakterystyk wezbrań i niżówek

Charakterystyki	Poziom istotności	
	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$
Opad półrocza letniego [mm] Opad półrocza zimowego [mm] Liczba dni z opadem > 0,1 [mm]	brak trendu brak trendu brak trendu	brak trendu brak trendu brak trendu
Średni roczna warstwa odpływu H [mm] Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend malejący	trend malejący
Średni roczny przepływ SQ [ $m^3s^{-1}$ ] Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend malejący	trend malejący
Średni przepływ SQ z XI-IV [ $m^3s^{-1}$ ] Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend malejący	trend malejący
Średni przepływ SQ z V-X [ $m^3s^{-1}$ ] Profil Płachty w okresie 1963-2015	brak trendu	brak trendu
Liczba dni z wezbraniem w roku Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend malejący	trend malejący
Liczba dni z niżówką w roku/V-X Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend rosnący	trend rosnący
Liczba dni z wezbraniem w XI-IV Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend malejący	brak trendu
Liczba dni z wezbraniem w V-X Profil Płachty w okresie 1963-2015	brak trendu	brak trendu
Suma deficytu niżówek w V-X Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend rosnący	trend rosnący
Suma objętości wezbrań w roku Profil Płachty w okresie 1963-2015	trend malejący	brak trendu


Rozpatrując w wieloleciu 1963-2015 przebieg przepływów minimalnych rocznych (NQ) i przepływów maksymalnych rocznych (WQ) na rysunku 9, można zauważyć że kilka ostatnich lat rozpatrywanego okresu charakteryzuje się stosunkowo dużą zmiennością ich wartości. W roku 2015 przepływ minimalny roczny (NQ) osiągnął dotychczas najniższą notowaną wartość w wieloleciu 1963-2015, a która wyniosła  $0,022 m^3s^{-1}$  (tab. 1). Podobne wartości przepływu minimalnego uzyskano jedynie w roku 1992, który charakteryzował się katastrofalną suszą na znacznym obszarze kraju. Rok 2015 w zlewni rzeki Zagożdżonki charakteryzował się przepływem średnim (SQ) niższym od średniej wieloletniej (tab. 1) jednak pod względem rocznej sumy opadów w stosunku do średniej wieloletniej traktowanej jako normę, należał do lat przeciętnym pod względem rocznej sumy opadów. Wyjaśnić tak niskie wartości przepływów mimo średnich opadów może analiza miesięcznych sum opadów i analiza średnich miesięcznych temperatur powietrza oraz wpływ warunków fizycznogeograficznych zlewni na odpływ.

Tab. 3. Wezbrania i niżówki w dekadach okresu 1963-2015 w profilu Płachty Stare

Lata	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												
2015												

 wezbrania

 niżówki

 wezbrania i niżówki



Ostatnie lata XXI wieku zasługują na szczególną uwagę, gdyż według Biuletynu PSHM (2015) dla 14 wybranych (referencyjnych) stacji meteorologicznych dla Polski, prawie wszystkie lata hydrologiczne okresu 2011-2015 były według klasyfikacji termicznej Lorenc lekko ciepłe, ciepłe, bardzo ciepłe, anomalnie ciepłe i ekstremalnie ciepłe. Lata 2014, 2015 na wszystkich referencyjnych stacjach odnotowano jako co najmniej ciepłe, a dla ponad połowy anomalnie ciepłe lub ekstremalnie ciepłe.

Na podstawie wieloletnich obserwacji (1963-2015) można stwierdzić, że górna część nizinnej zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare charakteryzuje się dominacją wezbrań w półroczu zimowym, a niżówek w półroczu letnim (tab. 3). Najwięcej dni z przepływami wezbraniowymi dotyczy miesięcy: marca, kwietnia i lutego, a przepływy niżówkowe najczęściej występują w sierpniu, lipcu, wrześniu i czerwcu (Kaznowska i in. 2015). Rozpatrując w wieloleciu 1963-2015 występowanie niżówek w ujęciu dekadowym poszczególnych miesięcy (tab. 3), widać wyraźnie okresy charakteryzujące się różnym nasileniem występowania tego zjawiska. W wieloleciu 1963-2015 w profilu Płachty Stare można wydzielić okresy w których nie notowano przepływów niżówkowych: najdłuższy z nich to okres 1971-1981, podczas którego w 1981 r. odpłynęła ze zlewni rekordowa dla Zagożdżonki ilość wody – 209 mm (Banasiak i in. 2013). Natomiast od roku 1982 niżówki odcięte przepływem granicznym SNQ występują co roku za wyjątkiem lat 1997-98 i 2014 roku.

Rozpatrując w wieloleciu 1963-2015 występowanie wezbrań odciętych przepływem granicznym NWQ wyraźnie widać iż wezbrania dominowały w półroczu zimowym, kiedy zlewnia zasilana jest nie tylko opadami deszczu, ale też wodami roztopowymi. Nasilenie występowania wezbrań w przebiegu wieloletnim było zróżnicowane. Najwięcej wezbrań w Płachtach Starych odnotowano w 1967 r., w którym odpływ ze zlewni był jednym z największych w badanym okresie (208 mm) podobnie jak w 1981 roku. W latach 1966-1980 notowano wezbrania długie, o czasie trwania powyżej 20 dni, które w późniejszym okresie (oprócz 2011 r.) nie występowały (Kaznowska i in. 2015).

Analizując liczbę dni z wezbraniem i niżówką w wieloleciu 1963-2015 w Płachtach Starych wyraźnie widać dwie przeciwstawne sobie tendencje: malejącą liczbę dni z przepływami wezbraniowymi i wzrost liczby dni z przepływami niżówkowymi (rys. 9). Ocena istotności statystycznej uzyskanych tendencji wskazuje iż są to zmiany istotne (tab. 2). Również podobny kierunek zmian dotyczy zsumowanych objętości deficytów niżówek i objętości wezbrań, w przypadku których zsumowane w poszczególnych latach objętości deficytów niżówek wzrastają, a maleją zsumowane w poszczególnych latach objętości wezbrań.

## WNIOSKI

Z przeprowadzonych w pracy analiz wynikają następujące wnioski:

1. Wieloletnie badania hydrologiczne w zlewni Zagożdżonki wskazują na zmniejszanie się zasobów wodnych na jej obszarze i wzrost zagrożenia zjawiskiem niżówki wód powierzchniowych.
2. W rozpatrywanym wieloleciu 1963-2015 w profilu Płachty Stare stwierdzono występowanie istotnego trendu malejącego dla rocznego odpływu rzeczno jak również dla średniego rocznego przepływu oraz średniego przepływu półroczu zimowych.





3. Istotny trend malejący dotyczy charakterystyk występujących w zlewni wezbrań. Maleje liczba dni z przepływami wezbraniowymi, zarówno w ujęciu rocznym jak i półroczy zimowych. Istotnemu zmniejszeniu ulegają także roczne zsumowane objętości wezbrań.
4. Malejącej liczbie dni z przepływami wezbraniowymi towarzyszy wzrost liczby dni z przepływami niżówkowymi oraz wzrost zsumowanych rocznych objętości deficytów przepływów niżówkowych.
5. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie zmian w przebiegu rocznych i półrocznych sum opadów oraz w liczbie dni z opadem w wieloleciu 1963-2015.

*Badania są częścią projektów NN 305 1445 40 oraz NN 305 3168 40 finansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki.*

## LITERATURA

- Banasik K., Hejduk L., Hejduk A., Kaznowska E., Banasik J., Byczkowski A. 2013: Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienskiej Sylwan. 157 (8) s. 578–586.
- Byczkowski A., Banasik K., Hejduk L., Mandes B. 2001. Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki). [W:] Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych. J. Jaworski i J. Sekutnicki (red.). PTG IMGW Warszawa: 43–52.
- Chiew F. 2005: Trend – climate variability program, product from the CRC for Catchment Hydrology, Australia, [www.toolkit.net.au/trend](http://www.toolkit.net.au/trend)
- Chrzanowski J. 1988: Pokrywa śnieżna w Polsce. Klasyfikacja jej grubości i regionalizacja. Prace Badawcze IMGW. Ser. Meteorologia. Warszawa. Nr 43 ss. 43.
- Dynowska I. 1971: Typy reżimów rzecznych w Polsce. Zeszyty Naukowe UJ. 268. Przegląd Geograficzny. Z. 28 ss. 155.
- Hejduk A., Hejduk L. 2014: Thermal and snow conditions of winters and winter foods on example of Zagożdżonka River. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation No 46 (1), s. 3–15.
- Hejduk L., Igras J. (red.) 2011: Dobre praktyki ochrony zlewni rzecznych w świetle Dyrektywy Azotanowej i innych standardów Unii Europejskiej. Warszawa. Wydaw. SGGW ss. 124.
- Kaznowska E., Hejduk A., Hejduk L. 2015: Charakterystyka występowania wezbrań i niżówek w małej zlewni niziny mazowieckiej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 45–59.
- Kozyra J., Liszewska M. 2016: Zmiany zasobów wodnych Polski w aspekcie różnych scenariuszy zmian klimatu. Konferencja „Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie”. Ołtarzew, 12-13.09.2016
- Kundzewicz Z., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgałski E. 2010: Zagrożenia związane z wod. Nauka nr 4: 87–96.
- Ozga-Zielińska M. 1990: Niżówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie. Przegląd Geofizyczny. Z. 33 s. 1–2.



- Richling A., Ostaszewska K., 2005: Geografia Fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
- Stachy J. 1987: Atlas hydrologiczny Polski, Wydawnictwo Geologiczne, ss.79
- Stuczyński T., Dębicki R. 2006: Zapobieganie suszy glebowej [W:] Woda w krajobrazie rolniczym W. Mioduszeński (red.). Woda Środowisko Obszary Wiejskie, Rozprawy naukowe i monografie nr 18, Falenty: 141–151.
- Woś A. 1996: Zarys klimatu Polski. Wydawnictwo Naukowe UAM, wydanie drugie. Poznań.

## **WATER RESOURCES IN A SMALL CATCHMENT OF MAZOWIAN LOWLANDS**

**Summary:** Evaluation of water resources in a small catchment of Mazowian Lowlands (Poland) as well as the analysis of trends in the characteristics of precipitation, runoff and flood and drought phenomena during the period of 53 years (1963-2015) were the main aims of the study. Zagożdżonka River catchment is monitored by the Department of Hydraulic Engineering, Warsaw University of Life Sciences, since 1962, and belongs to a small group of experimental catchments in Poland, which have so long data sets. Analysis of the data leads to the conclusion that the average rainfall in the summer half of the hydrological year far exceeds the amount of precipitation in the winter half-year, however, there was no statistically significant changes in the course of the annual rainfall. There is a significant downward trend in the annual runoff, the average annual discharge, and the average discharge of the winter half of the year. Decreasing the number of days with floods and increasing the number of days with draughts were observed. Water resources in the Zagożdżonka catchment has decreased and the risk of low flow increased.

**Key words:** catchment, Zagożdżonka, droughts, floods, water resources, rainfall, runoff.





# KRAJOWY SYSTEM MONITORINGU SUSZY ROLNICZEJ JEGO PODSTAWY METODYCZNE I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA

**Andrzej Doroszewski<sup>1</sup>, Elżbieta Wróblewska<sup>1</sup>, Rafał Pudełko<sup>1</sup>,  
Katarzyna Żyłowska<sup>1</sup>, Piotr Koza<sup>1</sup>, Anna Nieróbca<sup>1</sup>**

**Streszczenie:** W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach opracowano w 2007 roku System Monitoringu Suszy Rolniczej. System ten uwzględnia warunki pogodowe okresu wegetacyjnego oraz podatność gleb na suszę. W Systemie warunki meteorologiczne powodujące suszę określane są za pomocą Klimatycznego Bilansu Wodnego (KBW). W 2016 roku opracowano nowe krytyczne wartości KBW dla czternastu grup i gatunków roślin uwzględniając zróżnicowanie odporności pokrywy glebowej na stres wodny. W 2016 roku znacznie wzrosła liczba stacji i posterunków meteorologicznych, z których dane wykorzystano do obliczenia KBW. Dane o opadzie atmosferycznym pochodziły z 466 stacji a ewapotranspirację potencjalną obliczano wykorzystując dane meteorologiczne z 151 stacji. W 2016 roku suszę rolniczą odnotowano wśród: zbóż ozimych i jarych, krzewów owocowych, truskawek, rzepaku i rzepiku, roślin strączkowych oraz buraków cukrowych.

**Słowa kluczowe:** ewapotranspiracja potencjalna, internetowy monitoring suszy rolniczej, klimatyczny bilans wodny, opad atmosferyczny, susza rolnicza

## WPROWADZENIE

Większa częstotliwość występowania suszy w Polsce (Łabędzki, 2006, Doroszewski i in., 2014) jest wynikiem obserwowanych w ostatnich latach zmian klimatycznych (Kozyra i in. 2009). Niewątpliwie obecnie notowany jest okres, w którym średnia temperatura powietrza w Polsce znacznie wzrosła w stosunku do lat ubiegłych, powodując wzrost parowania gleb i transpiracji roślin przy podobnych wielkościach opadów atmosferycznych. W związku z coraz częstszym zagrożeniem związanym ze zmianami klimatycznymi, powodującymi znaczne obniżki plonów w wyniku wystąpienia ekstremalnych zjawisk klimatycznych, w tym między innymi z częstym wystąpieniem suszy rolniczej, w 2005 roku Sejm Rzeczypospolitej Polskiej uchwalił ustawę „O dopłatach do ubezpieczeń upraw rolnych i zwierząt gospodarskich” (Ustawa, 2005). Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW)

<sup>1</sup> Andrzej Doroszewski – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: ador@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Elżbieta Wróblewska – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: wrobel@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Rafał Pudełko – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: rpudelko@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Katarzyna Żyłowska – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. PIB Puławy, e-mail: kzyłowska@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Piotr Koza – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: pkoza@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Anna Nieróbca – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: szewc@iung.pulawy.pl



realizując zalecenia i potrzeby zabezpieczenia informacji nt. występowania suszy rolniczej zlecił stworzenie Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR), powierzając prowadzenie tego Systemu Instytutowi Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowemu Instytutowi Badawczemu (IUNG–PIB) w Puławach. Utworzony System odpowiada wymaganiom definicji suszy zawartej w ustawie o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich (Ustawa, 2005).

Niedobór opadów charakteryzuje pierwsze stadium wystąpienia suszy meteorologicznej (Łabędzki, 2006). Dane tylko o opadzie nie są jednakże wystarczające do określenia suszy rolniczej, albowiem susza meteorologiczna nie uwzględnia efektu ewapotranspiracji roślin i gleb oraz ich właściwości retencyjnych. Zgodnie z definicją określoną w ustawie z dnia 7 lipca 2005 r. o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich, „suszę oznaczają szkody spowodowane wystąpieniem, w dowolnym sześciodekadowym okresie od dnia 1 kwietnia do dnia 30 września, spadku klimatycznego bilansu wodnego poniżej wartości określonej dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb” (Ustawa, 2005).

Susza w 2006 roku spowodowała nie notowane dotychczas straty w plonach wielu upraw, w niektórych z nich obniżenie plonów w skali kraju wynosiło nawet ponad 30% względem plonów uzyskanych przy średnich wieloletnich warunkach pogodowych. Dane o plonach uzyskanych w 2008 roku również świadczyły, że wystąpiła szczególnie dotkliwa susza. W 2015 roku odnotowano suszę, która także spowodowała bardzo duże straty w plonach wielu upraw. Na podstawie danych meteorologicznych stwierdzono, że w ostatnich latach wartości KBW wykazują szczególnie wyraźną tendencję spadkową (Doroszewski i in., 2014) co ma związek ze stałym wzrostem temperatury powietrza notowanym szczególnie w ostatnich 30 latach. Zaistniałe warunki meteorologiczne spowodowały zatem konieczność zmian dotychczasowych wartości progowych KBW dla wielu upraw. Szczególnie zaistniała potrzeba zmian wielkości krytycznych KBW dla kukurydzy uprawianej na ziarno i na kiszonkę. Dotychczasowe wartości progowe KBW dla tej uprawy były wyznaczone na podstawie danych o wielkościach plonów, które pochodziły z rejonów o dobrych glebach i o dużej retencji wodnej. Jednakże uprawa kukurydzy w ostatnich latach uległa znacznemu rozszerzeniu (zwłaszcza na północnych obszarach kraju) co spowodowało, że obecnie uprawa prowadzona jest na terenach o glebach charakteryzujących się gorszymi warunkami wilgotnościowymi, a zatem bardziej narażonych na suszę. W wyniku zachodzących zmian klimatycznych i obszarów w uprawie roślin, zaistniała konieczność wprowadzenia nowych wielkości progowych KBW, wyznaczających zagrożenie suszą dla grup i gatunków roślin przedstawionych w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

## MATERIAŁ I METODY

### Wyznaczanie opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji potencjalnej

W SMSR przy wyznaczaniu obszarów zagrożonych suszą dla poszczególnych upraw uwzględniono warunki pogodowe. W tym celu utworzono bazę danych pogodowych, potrzebnych do wyznaczenia klimatycznego bilansu wodnego (KBW) (Kanecka-Geszke i Smarzyńska, 2007, Legates i McCabe, 2005, Łabędzki, 2006, Rojek, 1987, 2001, Doroszewski i in., 2008, 2012), na podstawie którego dokonywana jest ocena stanu zagrożenia suszą rolniczą. KBW jest różnicą pomiędzy opadem atmosferycznym (przychód) a parowaniem gleb i roślin czyli ewapotranspiracją potencjalną (rozchód).



W SMSR wykorzystywano dane meteorologiczne z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB), Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU), Ośrodków Doradztwa Rolniczego (ODR) oraz IUNG-PIB.

Do wyznaczenia mapy opadu atmosferycznego wykorzystywano dane pochodzące z 466 stacji i posterunków opadowych.

Ewapotranspirację potencjalną wyznaczano na podstawie danych z 151 stacji meteorologicznych, obliczaną na podstawie uproszczonego wzoru Penmana (1948, Doroszewski i in. 2008, 2012):

$$ETP = 161 + 19,57 d - 152,7 \ln d + 0,0004034 h^2 + 0,00186 (t + 5)^3 + 0,004192 (100 - f)^2 + 0,0003681 v (100 - f)^{2,5}$$

gdzie: d – długość dnia,

h – usłonecznienie,

t – średnia temperatura powietrza, °C;

f – wilgotność względna, godz. 13, %;

v – średnia prędkość wiatru, m s<sup>-1</sup>.

### **Wyznaczanie klimatycznego bilansu wodnego**

Na plon roślin uprawnych wpływa wiele czynników jak np. stosowanie odpowiedniej agrotechniki czy warunki pogodowe, które są elementami znacząco wpływającymi na wielkość plonu i mają duży udział w jego kształtowaniu w poszczególnych gospodarstwach. Jednakże te w/w elementy różnicujące plony przy wyznaczaniu suszy rolniczej zostały wyeliminowane za pomocą zastosowania metod statystyczno-empirycznych. Na podstawie modeli statystyczno-empirycznych (Górski 1997) wyznaczono krytyczne wartości KBW, na podstawie których dokonywana jest ocena stanu zagrożenia suszą. Wartości krytyczne KBW wyznaczono dla poszczególnych grup i gatunków upraw uwzględniając retencję wody w glebie. Dokonano podziału gleb na cztery kategorie agronomiczne (Doroszewski i in., 2008, 2012, 2014). Przy wyznaczaniu wartości KBW wykorzystano również wyniki prac z zakresu agrometeorologii uwzględniających wpływ zasobów wodnych na plonowanie roślin uprawnych (Demidowicz i in., 1996, 1997, Doroszewski i in., 1997, Górski i Doroszewski, 1986).

Ze względu na to, że reakcją roślin na stres wodny są procesy fizjologiczne, które zachodzą w sposób ciągły, postanowiono uwzględnić ciągłość tych funkcji, obrazujących przebieg zachodzących procesów związanych z potrzebami wodnymi roślin. W związku z tym wprowadzono zmiany w dotychczasowych wielkościach progowych KBW (Doroszewski i in., 2008, 2012), uwzględniające przebieg tych procesów, poprzez wyznaczenie ich nowych wartości.

Na podstawie dekadowych danych meteorologicznych tworzono mapy przedstawiające rozkład sześciodekadowych wartości KBW dla obszaru Polski. Opracowano aplikacje komputerowe, integrujące dane meteorologiczne, potrzebne do obliczenia KBW oraz dane z cyfrowej mapy glebowo-rolniczej obrazującej przestrzenne zróżnicowanie retencji wodnej różnych kategorii agronomicznych gleb. Obliczenia realizowano za pomocą aplikacji komputerowej wykorzystującej oprogramowanie ArcGIS. Ocenę zagrożenia suszą przeprowadzano po każdym skończonym sześciodekadowym okresie na podstawie aktualizowanej co 10 dni cyfrowej mapy KBW oraz cyfrowej mapy kategorii glebowych.





Opracowana metoda wyznaczania suszy rolniczej prezentuje wyniki, które wskazują potencjalne wystąpienie suszy.

Do wyznaczania zasięgu suszy rolniczej opracowano wartości krytyczne KBW dla następujących grup i gatunków roślin:

- zbóż ozimych i jarych,
- kukurydzy na ziarno i kiszonkę,
- rzepaku i rzepiku,
- ziemniaka,
- buraka cukrowego,
- chmielu,
- tytoniu,
- warzyw gruntowych,
- drzew i krzewów owocowych,
- truskawek
- roślin strączkowych.

(<http://www.susza.iung.pulawy.pl/>).

Na podstawie danych meteorologicznych opracowywano od czerwca do września dekadowe informacje (13 raportów) w formie map i tabel - wartości KBW dla poszczególnych gmin w Polsce (2478 gmin).

### **Kontrola danych meteorologicznych**

W Systemie prowadzono kontrolę danych meteorologicznych pozyskiwanych z IMGW-PIB, COBORU, ODR oraz z IUNG-PIB. Kontrolę danych prowadzono poprzez zastosowanie komputerowego automatycznego systemu, polegającego na wskazaniu danych ekstremalnych (maksimum i minimum). W przypadku stwierdzenia, że dana meteorologiczna wyraźnie odbiega od pozostałych wartości, taką daną eliminowano. Drugim etapem sprawdzania danych była analiza przestrzenna rozkładu elementów meteorologicznych poprzez wykonanie map w celu wyeliminowania błędów w bazie danych.

Po weryfikacji pozyskanych danych meteorologicznych wykreślano mapy: opadu atmosferycznego, ewapotranspiracji potencjalnej i KBW.

### **Wykorzystanie danych glebowych**

W SMSR przy wyznaczaniu obszarów zagrożonych suszą dla poszczególnych upraw uwzględniono podatność gleby na suszę. Podatność ta uwzględniona jest poprzez skład granulometryczny wyrażony w kategoriach agronomicznych. Wydzielono cztery kategorie podatności gleb na suszę, które oparte są o retencję i potencjalną dostępność wody dla roślin uprawnych (Doroszewski i in. 2008).

Do wyznaczania zasięgu suszy rolniczej wykorzystywano bazę danych o glebach uwzględniając kategorię podatności gleb na suszę z rozdzielczością mapy w skali 1:25 000.

### **Komunikaty o zagrożeniu suszą rolniczą**

Co 10 dni w okresie wegetacyjnym prezentowano na stronie internetowej <http://www.susza.iung.pulawy.pl/> komunikaty dla czternastu grup i gatunków roślin oraz dla czterech kategorii gleb o różnej podatności na suszę (Doroszewski i in. 2012). W prowadzonym Systemie opracowano aplikacje pozwalające na uzyskanie informacji na temat kategorii gleb w Polsce za pomocą Internetu <http://www.susza.iung.pulawy.pl/>.



## WYNIKI BADAŃ

Zastosowanie metod statystyczno-empirycznych pozwoliło na ocenę wpływu niedoboru wody na obniżkę plonu i tylko zasoby wodne brane były pod uwagę przy wyznaczeniu suszy rolniczej (Górski 1997).

Na podstawie statystyczno-empirycznych modeli opracowano krytyczne wartości KBW dla poszczególnych gatunków i grup upraw (tab. 1). Wystąpienie wartości krytycznej oznacza obniżenie plonu o 20% z powodu suszy w skali gminy w danym roku w stosunku do plonów uzyskanych przy średnich wieloletnich warunkach pogodowych (Doroszewski i in. 2012).

Opracowane w 2007 oraz w 2009 roku wartości KBW były stałe dla 5 a nawet dla 6 okresów sześciodekadowych (tj. od 110 do 120 dni), zmiany wielkości KBW były skokowe, powodując duże różnice w tych wartościach pomiędzy sąsiednimi okresami sześciodekadowymi (Doroszewski i in. 2008, 2012). Dokonano zmian wielkości KBW, nowe wartości zamieszczono w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Dz. U., 2016). Nowe wartości KBW lepiej uwzględniają zapotrzebowanie roślin na wodę w zależności od zachodzących faz rozwojowych roślin, w stosunku do poprzednio opracowanych wartości krytycznych (Doroszewski i in., 2008, 2012). Nowe wartości KBW uwzględniają ciągłość zachodzących procesów związanych z pobieraniem wody przez rośliny. Procesy związane z poborem wody przez rośliny zachodzą w sposób łagodny, nie jest zatem wskazane aby wielkości te zmieniły się radykalnie tak jak to przedstawiano w poprzednich opracowaniach (Doroszewski i in., 2008, 2012). Dokonana zmiana sprawiła, że nowe wartości KBW są bardziej związane z potrzebami wodnymi roślin zmieniającymi się w ontogenezie rośliny a jednocześnie wykazują większe powiązanie z warunkami pogodowymi w stosunku do poprzednio wyliczonych wielkości. Opracowano wartości KBW oddzielnie dla każdego okresu sześciodekadowego oraz dla każdego rozpatrywanego gatunku lub grupy roślin, zachowując zasadę, że wystąpienie zagrożenia suszy oznacza obniżenie plonu o 20% w skali gminy w stosunku do plonów uzyskanych przy średnich warunkach pogodowych. Nowe wyznaczone wartości krytyczne KBW dla poszczególnych grup i gatunków roślin uwzględniają warunki glebowe poprzez wyznaczenie wartości krytycznej dla każdej kategorii gleb. Nowo wyznaczone krytyczne wartości KBW przedstawia tab. 1.

Tab. 1. Krytyczne wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków i grup upraw w 13 okresach sześciodekadowych

Uprawa	Kat. Gleby	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		11V-31V	11IV-10VI	21IV-20VI	1V-30VI	11V-10VII	21V-20VII	1VI-31VII	11VI-10VIII	21VI-20VIII	1VII-31VIII	11VII-10IX	21VII-20IX	1VIII-30IX
Zboża ozime	I	-144	-148	-156	-168	-184	-202	-218	-234					
	II	-164	-170	-180	-194	-210	-226	-244	-260					
	III	-204	-210	-220	-236	-254	-270	-286	-302					
	IV	-232	-238	-250	-264	-280	-296	-312	-328					
Zboża jare	I	-136	-140	-146	-154	-168	-186	-206	-228					
	II	-154	-158	-164	-174	-190	-210	-232	-256					
	III	-184	-188	-194	-204	-220	-240	-264	-290					
	IV	-210	-212	-218	-228	-246	-268	-292	-320					

Kukurydza na ziarno	I													
	II			-216	-212	-208	-206	-206	-208	-214	-220	-228		
	III			-256	-252	-248	-246	-246	-250	-254	-260	-266		
	IV			-292	-290	-288	-288	-288	-290	-294	-298	-304		
Kukurydza na kiszonkę	I													
	II			-216	-212	-208	-206	-206	-206	-208	-210	-212		
	III			-256	-252	-248	-246	-246	-246	-248	-250	-252		
	IV			-292	-290	-288	-288	-288	-288	-290	-292	-294		
Rzepak rzepik	I													
	II	-234	-214	-194	-176	-160							-164	-164
	III	-282	-266	-250	-234	-220							-214	-214
	IV	-298	-284	-270	-258	-248							-244	-244
Ziemniak	I		-240	-238	-236	-230	-222	-210	-196	-180	-166	-154		
	II		-262	-260	-256	-250	-242	-230	-216	-198	-182	-168		
	III		-296	-294	-292	-286	-276	-262	-246	-228	-210	-194		
	IV		-320	-318	-314	-306	-296	-284	-268	-250	-230	-214		
Burak cukrowy	I													
	II	-250	-250	-250	-248	-244	-240	-234	-226	-216	-206	-192	-176	-160
	III	-286	-286	-284	-282	-278	-272	-264	-256	-246	-234	-220	-202	-184
	IV	-310	-310	-308	-304	-300	-294	-286	-278	-268	-258	-244	-228	-210
Chmiel	I			-232	-226	-220	-214	-208	-202	-196	-190	-184		
	II			-254	-248	-242	-236	-230	-224	-218	-212	-206		
	III			-290	-284	-278	-272	-266	-260	-254	-248	-242		
	IV			-308	-302	-296	-290	-284	-278	-272	-266	-260		
Tytoń	I			-186	-188	-192	-196	-198	-200	-200	-200	-200		
	II			-198	-200	-204	-208	-210	-212	-212	-212	-212		
	III			-222	-224	-230	-234	-236	-238	-238	-238	-238		
	IV			-238	-240	-246	-250	-252	-254	-254	-254	-254		
Warzywa gruntowe	I			-180	-190	-200	-208	-212	-212	-208	-200	-190		
	II			-200	-210	-220	-230	-234	-234	-228	-220	-210		
	III			-234	-246	-256	-264	-268	-268	-262	-250	-238		
	IV			-254	-266	-278	-286	-290	-290	-284	-272	-258		
Krzewy owocowe	I	-138	-150	-164	-176	-186	-194	-194	-188	-174	-160	-144		
	II	-156	-168	-182	-194	-204	-212	-214	-208	-196	-178	-160		
	III	-190	-202	-218	-234	-246	-254	-254	-246	-228	-206	-186		
	IV	-214	-228	-246	-262	-276	-284	-284	-272	-254	-232	-208		
Drzewa owocowe	I	-164	-178	-190	-202	-212	-216	-218	-218	-218	-218	-218		
	II	-186	-200	-212	-224	-234	-240	-244	-246	-246	-246	-246		
	III	-222	-236	-250	-262	-272	-280	-286	-290	-290	-290	-290		
	IV	-244	-258	-272	-284	-294	-302	-306	-310	-312	-312	-312		
Truskawki	I	-142	-154	-168	-180	-192	-204	-214	-222					
	II	-158	-170	-184	-198	-212	-224	-236	-246					
	III	-190	-204	-220	-234	-248	-260	-270	-280					
	IV	-212	-226	-242	-256	-270	-284	-296	-306					



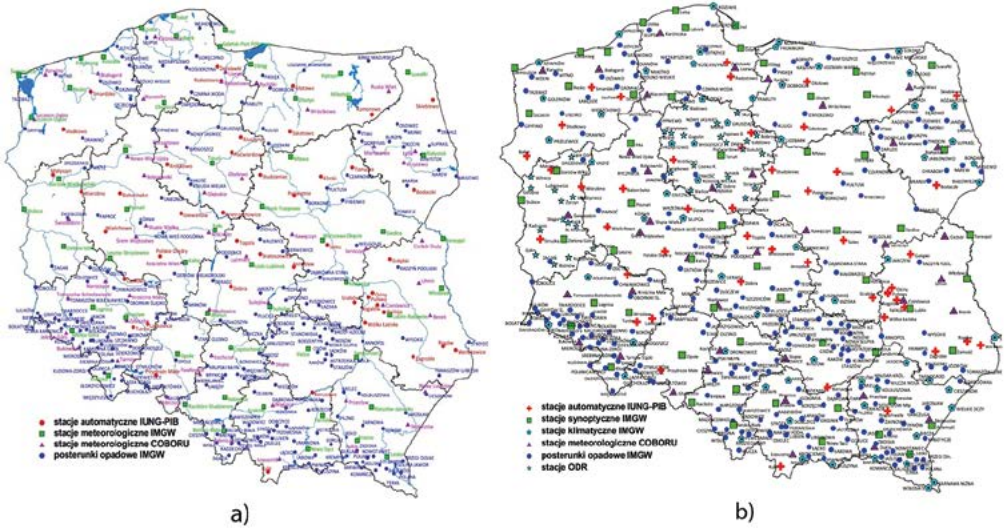
Rośliny strączkowe	I			-160	-172	-182	-190	-190	-180	-162	-142	-	-	
	II			-182	-194	-204	-212	-212	-204	-186	-168	-	-	
	III			-222	-234	-244	-250	-250	-240	-222	-204	-	-	
	IV			-246	-256	-266	-272	-272	-264	-248	-230	-	-	

SMSR funkcjonuje w oparciu o dane prezentujące warunki pogodowe. Dane pozyskiwane są z IMGW-PIB, COBORU, ODR, IUNG-PIB. Sieć stacji, z których dane meteorologiczne wykorzystywane są do wyznaczania suszy rolniczej stale się zwiększa. Od początku działalności tego Systemu prowadzone są działania ukierunkowane na systematyczne zwiększanie liczby stacji. Zwiększenie gęstości stacji meteorologicznej sprawia, że wzrasta dokładność oraz jakość prezentowanych wyników (tab. 2, rys 1). Gęstsza sieć powoduje zmniejszenie błędów powstałych w wyniku interpolacji KBW. W 2016 roku nastąpił znaczny wzrost liczby stacji (o 205,3%) w porównaniu do roku 2007. Szczególnie duży wzrost tej liczby odnotowano w 2016 r. względem roku 2015, kiedy odnotowano przyrost liczby stacji o 31,6%. Zmiany zachodzące w liczbie stacji i posterunków prowadzonego Systemu przedstawia tab. 2.

Na rys. 1, 2 przedstawiono przestrzenny rozkład stacji meteorologicznych na terenie kraju z których dane były wykorzystane w Systemie. Rys. 1 przedstawia lokalizację wszystkich stacji na terenie Polski w 2015 i 2016 roku. Natomiast rozmieszczenie stacji, których dane posłużyły do wykreślenia map opadu przedstawia rys. 2a a ewapotranspiracji potencjalnej rys. 2b.

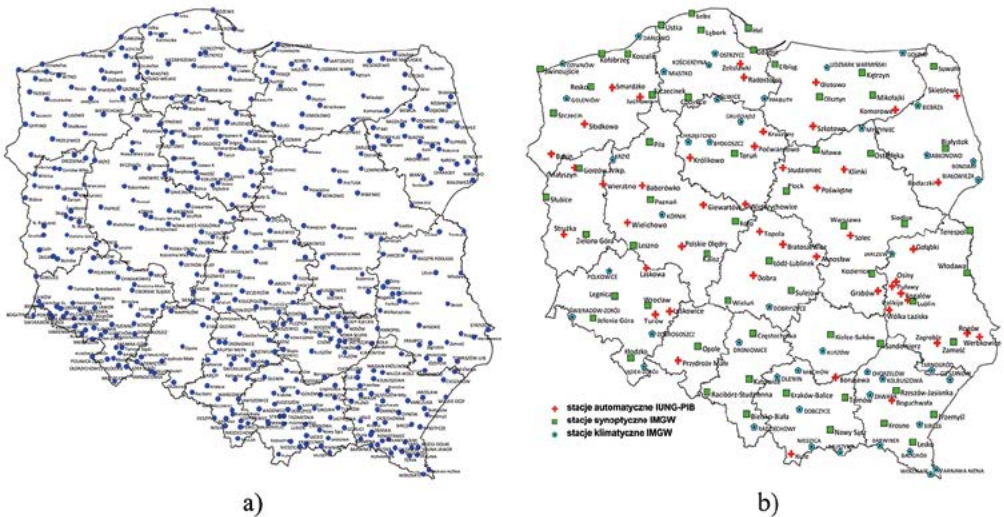
Tab. 2. Liczba stacji meteorologicznych w SMSR w latach 2007-2016

L.p.	Rok	Stacje synoptyczne IMGW-PIB	Stacje klimatyczne IMGW-PIB	Posterunki opadowe IMGW-PIB	COBORU	IUNG-PIB	ODR	Razem
1.	2007	54		171	-	2		227
2.	2008	54		176	-	3		233
3.	2009	54		166	35	12		267
4.	2010	53		163	50	16		282
5.	2011	53		163	50	27		293
6.	2012	54		163	50	28		295
7.	2013	54		215	50	33		352
8.	2014	54		215	50	38		357
9.	2015	54		207	50	43		354
10.	2016	59	63	219	39	53	33	466



Rys. 1. Stacje meteorologiczne w SMSR  
 a) stan na 31.12.2015 r.  
 b) stan na 01.06.2016 r.

W SMSR opad atmosferyczny mierzony jest w 466 stacjach i posterunkach meteorologicznych, natomiast ewapotranspirację potencjalną wyznaczano na podstawie danych z 151 stacji (rys. 2).



Rys. 2. Stacje meteorologiczne w SMSR (stan na 01.06.2016 r.)  
 a) stacje mierzące opad atmosferyczny  
 b) stacje mierzące elementy meteorologiczne wykorzystywane do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej



Wszystkie wyniki prac dotyczące prowadzonego Systemu są przedstawiane w Internecie. Na podstawie prezentowanych komunikatów na stronie internetowej SMSR (<http://www.susza.iung.pulawy.pl/>) można uzyskać informację o zagrożeniu suszą rolniczą w każdej gminie Polski.

SMSR skierowany jest do szerokiego grona odbiorców tych informacji, przede wszystkim do zlecającej projekt instytucji tj. do MRiRW, a także do innych zainteresowanych podmiotów takich jak firmy ubezpieczeniowe, organy administracji państwowej, organizacje samorządowe, służby doradztwa rolniczego, do rolników oraz wszystkich zainteresowanych problematyką suszy. Pod względem informatycznym, stworzono podstawy do prowadzenia monitoringu suszy w sposób ciągły, z ogłaszaniem komunikatów w okresie wegetacyjnym co 10 dni.

W wyniku przedstawionych procedur związanych z wyznaczeniem obszarów zagrożonych suszą rolniczą przeprowadzono obliczenia, których celem było określenie niedoborów wody w kraju w 2016 r. Stwierdzamy, że występujący deficyt wody w Polsce w 2016 roku spowodował wystąpienie suszy w uprawach:

- zbóż jarych
- zbóż ozimych
- krzewów owocowych
- truskawek
- rzepaku i rzepiku (2015/2016 oraz 2016/2017)
- roślin strączkowych
- buraków cukrowych.

Szczegółowy rozkład wystąpienia suszy w 2016 roku dla w/w upraw przedstawiają rys. 3-13 oraz tab. 3-10.

### **Zboża jare**

W Polsce w 2016 roku największy zasięg z suszą rolniczą wystąpił w uprawach zbóż jarych. Susza wystąpiła w pięciu okresach sześciodekadowych, zasięg suszy w okresach, w których ją notowano przedstawia rys. 3.







Udział gleb zagrożonych suszą w okresie od 1 kwietnia do 31 maja dla: **zboż jarych**

Kryterium suszy (wg. Roz. MRiRW) nie zostało przekroczone  
 do 10 %  
 10 - 30 %  
 30 - 50 %  
 50 - 80 %  
 80 - 100 %

a)

iung  
2016-06-03  
Pulawy



Udział gleb zagrożonych suszą w okresie od 11 kwietnia do 10 czerwca dla: **zboż jarych**

Kryterium suszy (wg. Roz. MRiRW) nie zostało przekroczone  
 do 10 %  
 10 - 30 %  
 30 - 50 %  
 50 - 80 %  
 80 - 100 %

b)

iung  
2016-06-14  
Pulawy

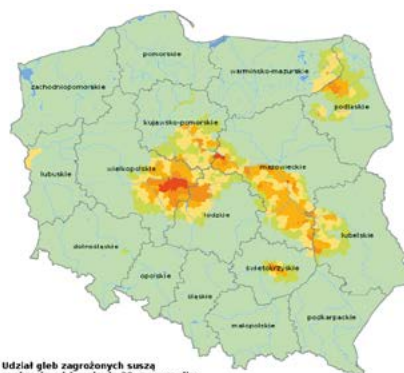


Udział gleb zagrożonych suszą w okresie od 21 kwietnia do 20 czerwca dla: **zboż jarych**

Kryterium suszy (wg. Roz. MRiRW) nie zostało przekroczone  
 do 10 %  
 10 - 30 %  
 30 - 50 %  
 50 - 80 %  
 80 - 100 %

c)

iung  
2016-06-23  
Pulawy



Udział gleb zagrożonych suszą w okresie od 1 maja do 30 czerwca dla: **zboż jarych**

Kryterium suszy (wg. Roz. MRiRW) nie zostało przekroczone  
 do 10 %  
 10 - 30 %  
 30 - 50 %  
 50 - 80 %  
 80 - 100 %

d)

iung  
2016-07-03  
Pulawy



Udział gleb zagrożonych suszą w okresie od 11 maja do 10 lipca dla: **zboż jarych**

Kryterium suszy (wg. Roz. MRiRW) nie zostało przekroczone  
 do 10 %  
 10 - 30 %  
 30 - 50 %  
 50 - 80 %  
 80 - 100 %

e)

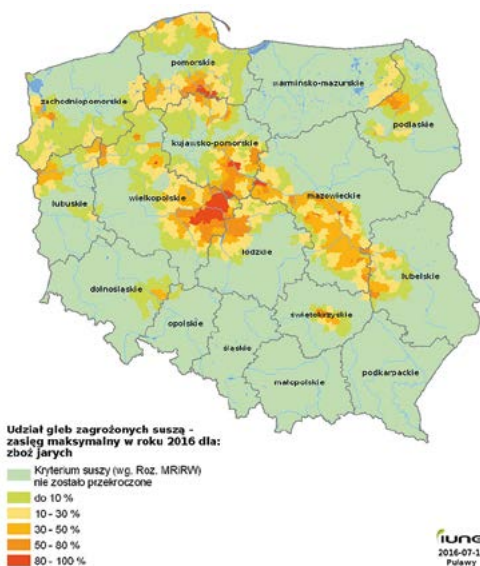
iung  
2016-07-14  
Pulawy

Rys. 3. Susza wśród zbóż jarych w 2016 roku w okresach sześciodekadowych:

- a) 01.04 – 31.05
- b) 11.04 – 10.06
- c) 21.04 – 20.06
- d) 01.05 – 30.06
- e) 11.05 – 10.07



Zbiornicze dane dotyczące wystąpienia suszy wśród upraw zbóż jarych dla całego kraju w okresie wegetacyjnym 2016 roku przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Susza w uprawach zbóż jarych w 2016 r.

Szczegółowe zestawienie dotyczące liczby gmin z zagrożeniem suszą, udział tych gmin na tle wszystkich gmin województwa i kraju oraz udział zagrożonych gruntów ornych suszą w województwach i w Polsce w uprawach zbóż jarych w 2016 r. przedstawia tab. 3.

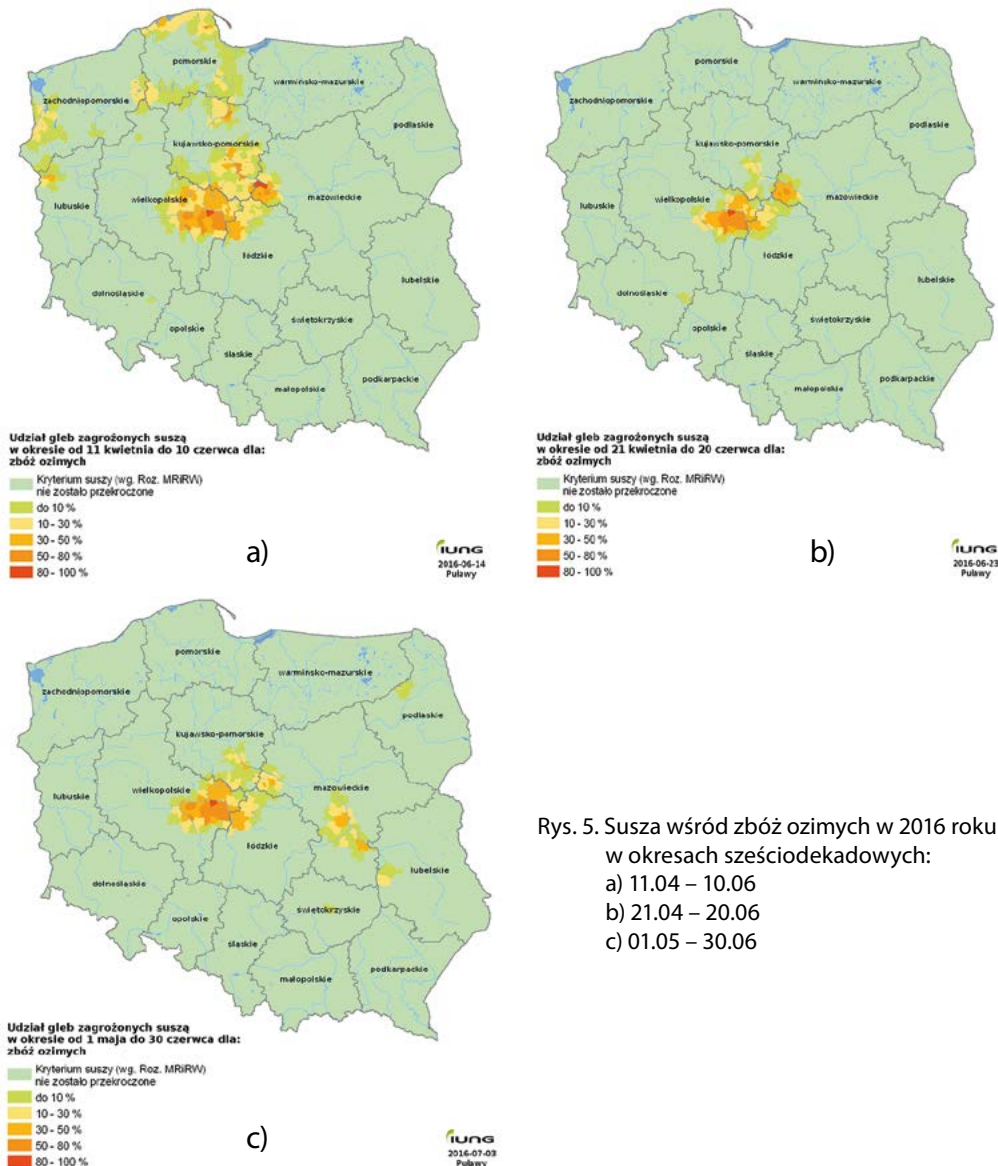
Tab. 3. Zagrożenie suszą upraw zbóż jarych w 2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Pomorskie	123	97	78,86	10,80
2.	Kujawsko-pomorskie	144	109	75,69	15,90
3.	Wielkopolskie	226	126	55,75	15,94
4.	Mazowieckie	314	135	42,99	9,80
5.	Zachodniopomorskie	114	45	39,47	3,50
6.	Łódzkie	177	53	29,94	8,02
7.	Lubuskie	82	22	26,83	4,36
8.	Podlaskie	118	31	26,27	2,84
9.	Lubelskie	213	45	21,13	3,20
10.	Świętokrzyskie	102	16	15,69	2,42
11.	Warmińsko-mazurskie	116	10	8,62	1,20

12.	Dolnośląskie	169	14	8,28	0,62
13.	Opolskie	71	1	1,41	0,03
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>704</b>	<b>28,4</b>	<b>6,19</b>

## Zboża ozime

Stosunkowo duże zagrożenie suszą w 2016 r. wystąpiło również wśród zbóż ozimych. Suszę odnotowano w trzech okresach sześciodekadowych, w których zasięg dla tych upraw przedstawiono na rys. 5.

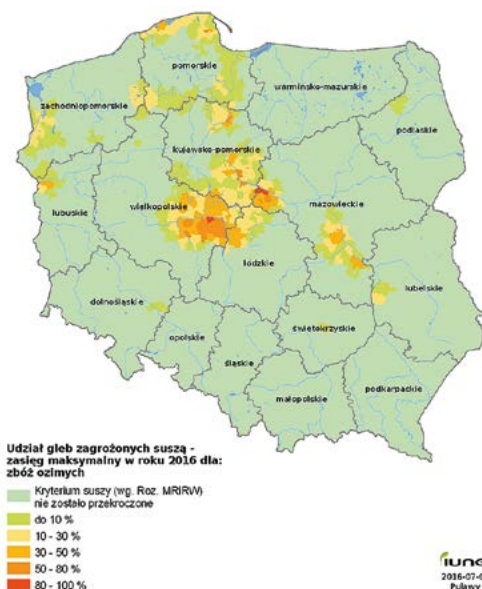


Rys. 5. Susza wśród zbóż ozimych w 2016 roku w okresach sześciodekadowych:

- 11.04 – 10.06
- 21.04 – 20.06
- 01.05 – 30.06



Zbiorcze dane dotyczące zasięgu wystąpienia suszy wśród upraw zbóż ozimych w okresie wegetacyjnym 2016 roku przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Susza w uprawach zbóż ozimych w 2016 r.

Szczegółowe zestawienie dotyczące liczby gmin zagrożonych suszą, udział tych gmin na tle wszystkich gmin województwa i kraju oraz udział zagrożonych gruntów ornych suszą w województwach i w Polsce w uprawach zbóż ozimych przedstawia tab. 4.

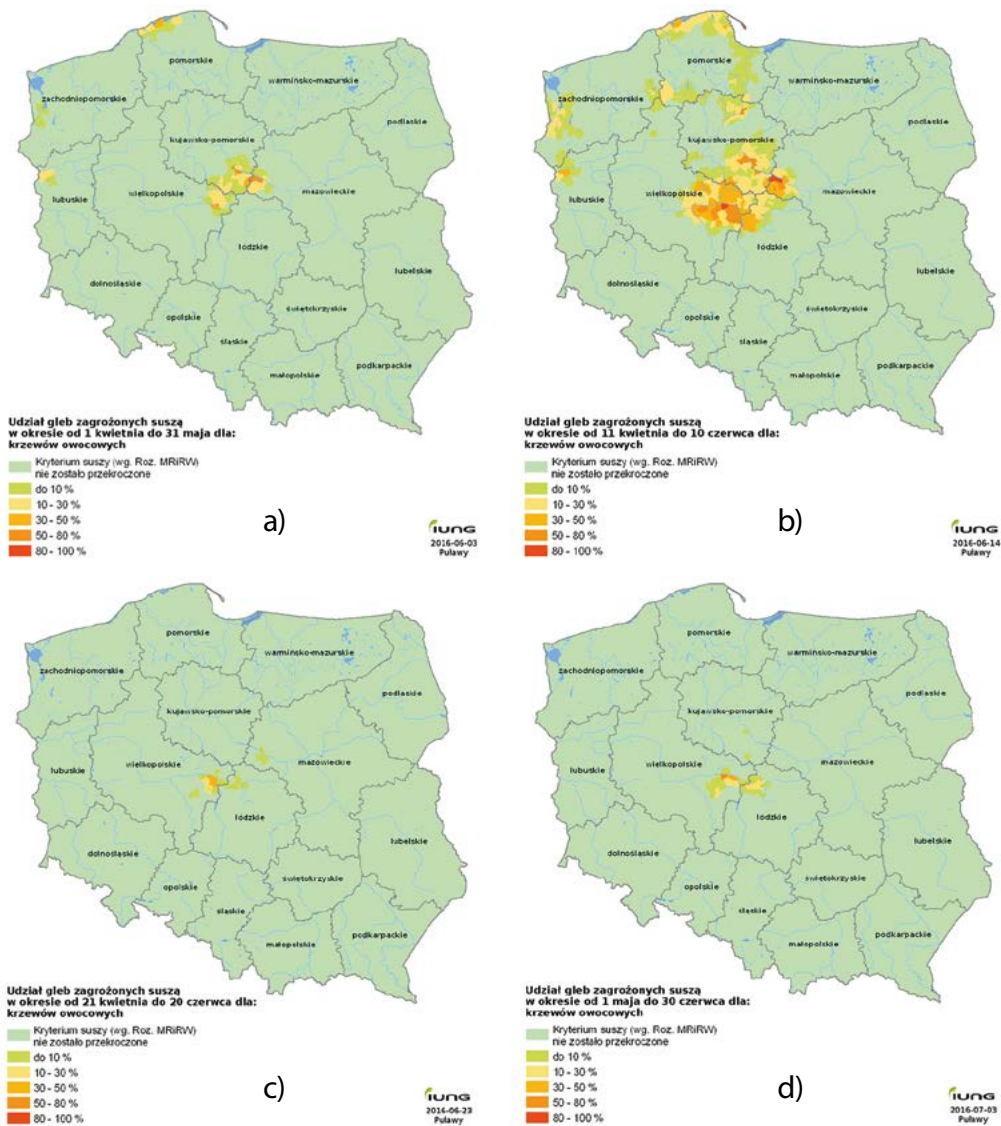
Tab. 4. Zagrożenie suszą upraw zbóż ozimych w 2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Kujawsko-pomorskie	144	80	55,56	6,48
2.	Pomorskie	123	59	47,97	3,37
3.	Wielkopolskie	226	72	31,86	8,46
4.	Zachodniopomorskie	114	21	18,42	0,95
5.	Łódzkie	177	26	14,69	2,95
6.	Mazowieckie	314	45	14,33	2,66
7.	Lubuskie	82	6	7,32	1,05
8.	Lubelskie	213	8	3,76	0,22
9.	Dolnośląskie	169	3	1,78	0,04
10.	Podlaskie	118	2	1,69	0,02
11.	Świętokrzyskie	102	1	0,98	0,00
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>323</b>	<b>13,0</b>	<b>2,18</b>



## Krzewy owocowe

W 2016 roku susza wystąpiła także w uprawach krzewów owocowych, jej wystąpienie odnotowano w czterech okresach sześciodekadowych. Zasięg suszy w tych uprawach przedstawia rys. 7.

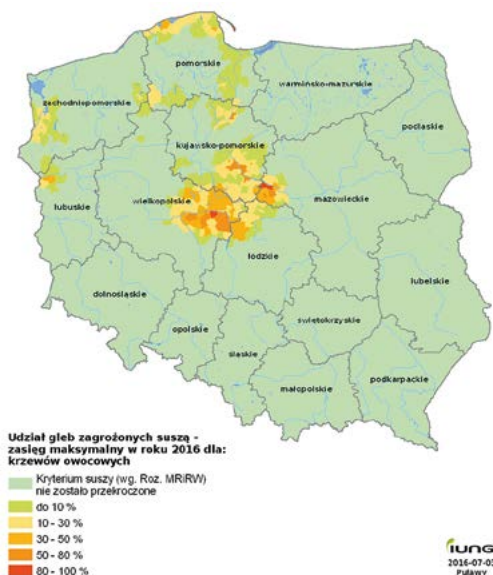


Rys. 7. Susza wśród krzewów owocowych w 2016 roku w okresach sześciodekadowych:

- 01.04 – 31.05
- 11.04 – 10.06
- 21.04 – 20.06
- 01.05 – 30.06



Zbiornicze dane dotyczące wystąpienia zasięgu suszy wśród krzewów owocowych w 2016 roku przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Susza w uprawach krzewów owocowych w 2016 r.

Szczegółowe zestawienie dotyczące liczby gmin z zagrożeniem suszą, udział tych gmin na tle wszystkich gmin województwa i kraju oraz udział zagrożonych gruntów ornych suszą w województwach i w Polsce w 2016 r. dla krzewów owocowych przedstawia tab. 5.

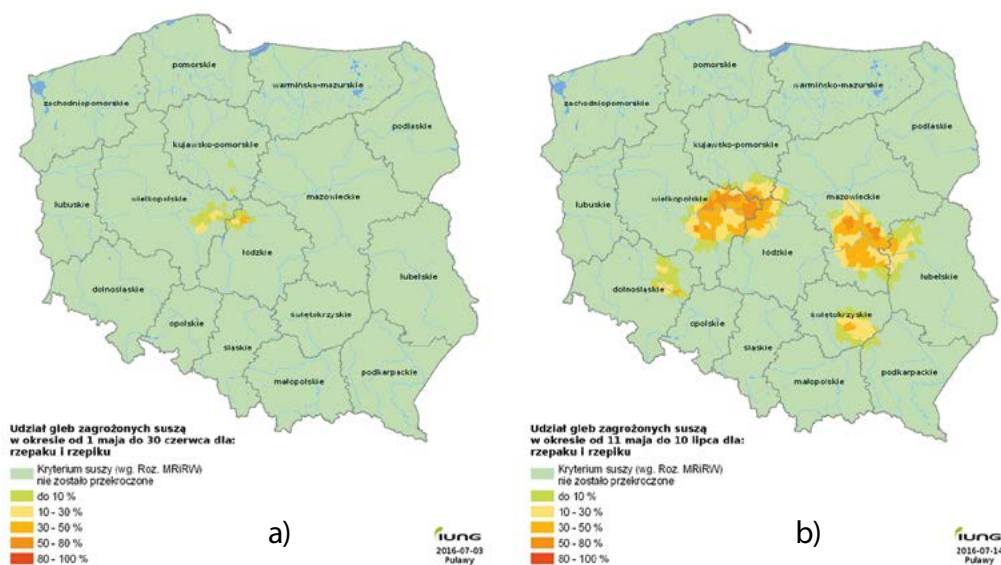
Tab. 5. Zagrożenie suszą upraw krzewów owocowych w 2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział pow. zagrożonej [%]
1.	Kujawsko-pomorskie	144	74	51,4	5,99
2.	Pomorskie	123	50	40,7	2,56
3.	Wielkopolskie	226	63	27,9	7,13
4.	Łódzkie	177	25	14,1	2,64
5.	Zachodniopomorskie	114	15	13,2	0,73
6.	Lubuskie	82	5	6,1	0,75
7.	Mazowieckie	314	15	4,8	1,16
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>247</b>	<b>10,0</b>	<b>1,71</b>



## Rzepak i rzepik 2015/2016

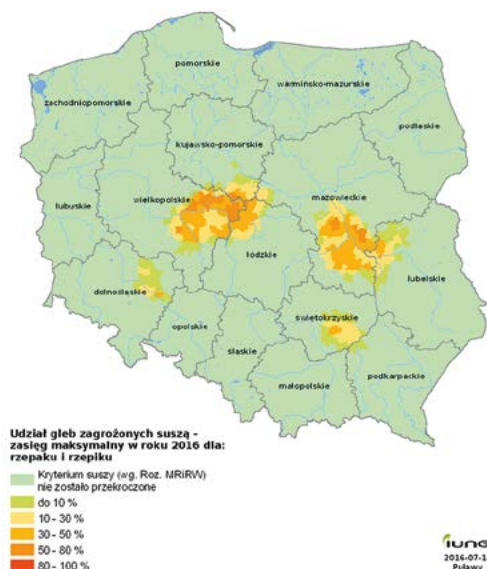
W 2016 roku odnotowano suszę także w uprawach rzepaku i rzepiku w dwóch okresach sześciodekadowych przedstawionych na rys. 9.



Rys. 9. Susza wśród rzepaku i rzepiku 2015/2016 roku w okresach sześciodekadowych:

- 01.05 – 30.06
- 11.05 – 10.07

Sumaryczny zasięg suszy w 2016 r. w uprawach rzepaku i rzepiku 2015/2016 przedstawia rys. 10.



Rys. 10. Sumaryczny zasięg suszy w uprawach rzepaku i rzepiku 2015/2016



Szczegółowe zestawienie dotyczące liczby gmin z zagrożeniem suszą, udział tych gmin na tle wszystkich gmin województwa i kraju oraz udział zagrożonych gruntów ornych suszą w województwach i w Polsce dla rzepaku i rzepiku 2015/2016 r. przedstawia tab. 6.

Tab. 6. Zagrożenie suszą upraw rzepaku i rzepiku 2015/2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Wielkopolskie	226	66	29,20	9,20
2.	Mazowieckie	314	73	23,25	5,76
3.	Świętokrzyskie	102	22	21,57	2,50
4.	Łódzkie	177	23	12,99	4,35
5.	Lubelskie	213	26	12,21	1,49
6.	Kujawsko-pomorskie	144	17	11,81	2,27
7.	Dolnośląskie	169	12	7,10	0,93
8.	Podkarpackie	160	5	3,12	0,09
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>244</b>	<b>9,8</b>	<b>2,48</b>

### Rzepak i rzepik 2016/2017

W 2016 roku odnotowano także wystąpienie suszy wśród rzepaku i rzepiku wysianego jesienią tego roku. Suszę odnotowano w okresie sześciodekadowym od 21 lipca do 20 września 2016 r., jej zasięg przedstawiono na rys. 11 oraz w tab. 7.



Rys. 11. Sumaryczny zasięg suszy w uprawach rzepaku i rzepiku 2016/2017

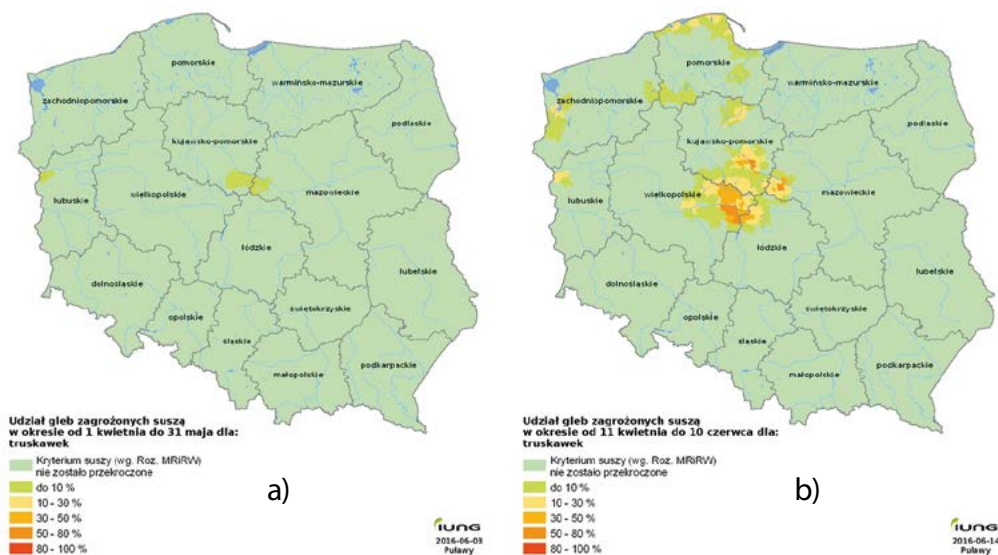
Szczegółowe zestawienie dotyczące liczby gmin z zagrożeniem suszą, udział tych gmin na tle wszystkich gmin województwa i kraju oraz udział zagrożonych gruntów ornych suszą jesienią 2016 r. w województwach i w Polsce w uprawach rzepaku i rzepiku 2016/2017 r. przedstawiono w tab. 7.

Tab. 7. Zagrożenie suszą w 2016 r. upraw rzepaku i rzepiku 2016/2017 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Wielkopolskie	226	16	7,08	1,78
2.	Kujawsko-pomorskie	144	12	8,33	2,33
3.	Łódzkie	177	2	1,13	0,06
4.	Mazowieckie	314	1	0,32	0,02
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>31</b>	<b>1,25</b>	<b>0,36</b>

## Truskawki

W 2016 roku susza wystąpiła w uprawie truskawek, odnotowano ją w trzech okresach sześciodekadowych, jej zasięg przedstawia rys. 12.

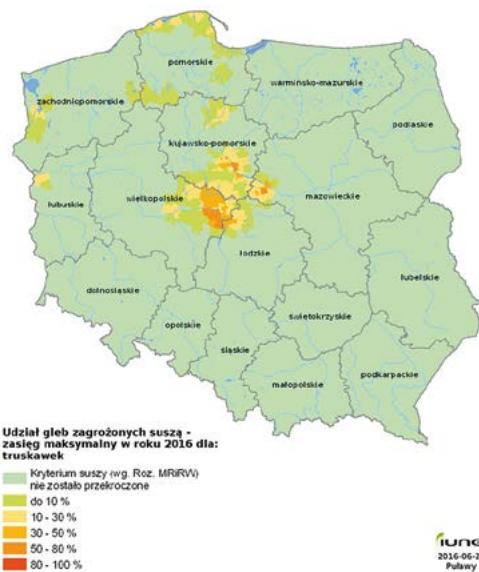




Rys. 12. Występowanie suszy w 2016 r. w uprawie truskawek w okresach sześciodekadowych:

- a) 01.04 – 31.05
- b) 11.04 – 10.06
- c) 01.05 – 30.06

Na rys. 13 przedstawione są wszystkie obszary z występowaniem suszy w uprawie truskawek w 2016 r.



Rys. 13. Występowanie suszy w 2016 r. w uprawie truskawek



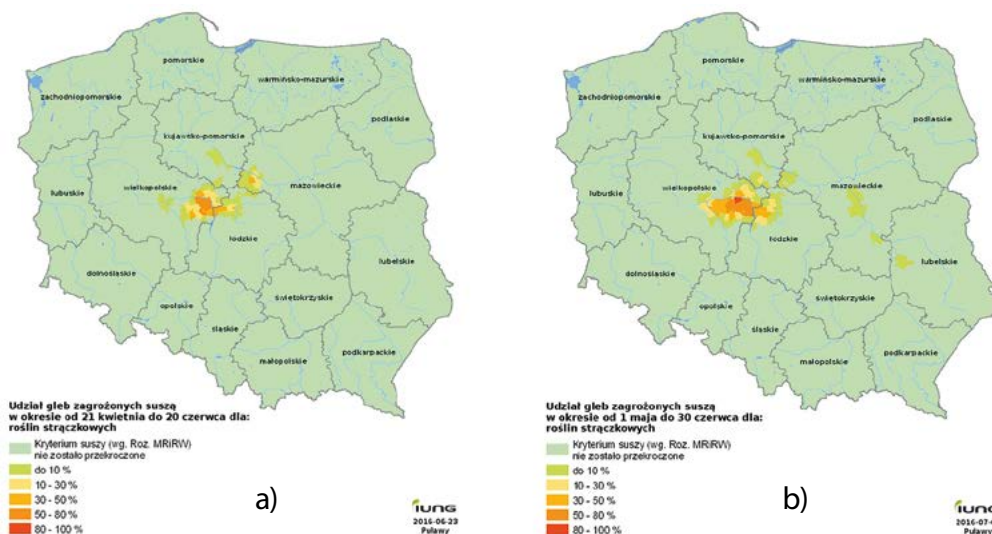
Szczegółowe zestawienie dotyczące liczby gmin z zagrożeniem suszą, udział tych gmin na tle wszystkich gmin województwa i kraju oraz udział zagrożonych gruntów ornych suszą w województwach i w Polsce w uprawach truskawek w 2016 r. przedstawia tab. 8.

Tab. 8. Zagrożenie suszą upraw truskawek w 2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Kujawsko-pomorskie	144	56	38,9	3,67
2.	Pomorskie	123	33	26,8	0,94
3.	Wielkopolskie	226	50	22,1	4,05
4.	Łódzkie	177	18	10,2	1,54
5.	Zachodniopomorskie	114	10	8,8	0,32
6.	Mazowieckie	314	12	3,8	0,54
7.	Lubuskie	82	3	3,7	0,38
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>182</b>	<b>7,3</b>	<b>0,94</b>

## Rośliny strączkowe

Suszę w uprawach roślin strączkowych notowano w dwóch okresach sześciodekadowych przedstawionych na rys. 14.



Rys. 14. Występowanie suszy w 2016 r. w uprawie roślin strączkowych w okresach sześciodekadowych:

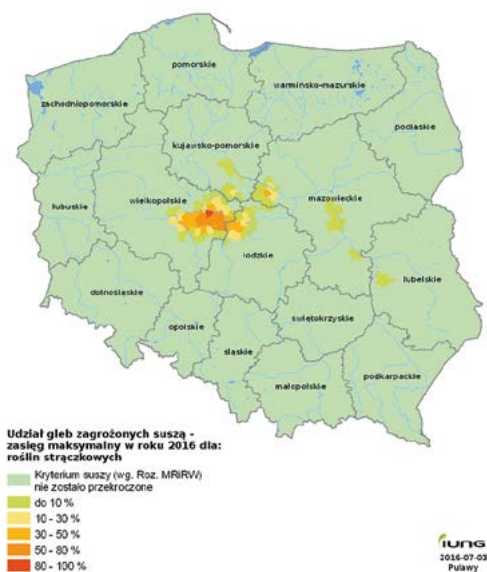
a) 21.04 – 20.06

b) 01.05 – 30.06





Sumaryczny obraz występowania suszy w okresie wegetacyjnym 2016 r. przedstawia rys. 15, natomiast w tab. 9 przedstawiono szczegółowe zestawienie wystąpienia tego zjawiska dla województw i kraju.



Rys. 15. Występowanie suszy w 2016 r. w uprawie roślin strączkowych

Tab. 9. Zagrożenie suszą upraw roślin strączkowych w 2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Wielkopolskie	226	43	19,03	3,94
2.	Łódzkie	177	18	10,17	1,50
3.	Kujawsko-pomorskie	144	14	9,72	0,31
4.	Mazowieckie	314	17	5,41	0,32
5.	Lubelskie	213	5	2,35	0,00
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>97</b>	<b>3,90</b>	<b>0,59</b>



## Burak cukrowy

Stosunkowo mały zasięg osiągnęła susza w uprawie buraka cukrowego, odnotowano ją w jednym okresie sześciodekadowym od 1 sierpnia do 30 września w pięciu gminach woj. wielkopolskiego. Usytuowanie suszy dla tej uprawy w 2016 r. przedstawia rys. 16, natomiast udział gmin i powierzchni zagrożonych tym zjawiskiem przedstawiono w tab. 10.



Rys. 16. Występowanie suszy w 2016 r. w uprawie buraka cukrowego

Tab. 10. Zagrożenie suszą upraw buraka cukrowego w 2016 r. według województw oraz w kraju

L.p.	Województwo	Liczba gmin ogółem	Liczba gmin zagrożonych	Udział gmin zagrożonych [%]	Udział powierzchni zagrożonej [%]
1.	Wielkopolskie	226	5	2,21	0,02
	<b>Polska</b>	<b>2478</b>	<b>5</b>	<b>0,20</b>	<b>0,00</b>

## WNIOSKI

Na podstawie prezentowanych w Internecie komunikatów można uzyskać informacje o zagrożeniu suszą rolniczą w każdej gminie Polski (<http://www.susza.iung.pulawy.pl/>).

W Systemie Monitoringu Szuszy Rolniczej dokonano w 2016 roku zmian w wyznaczeniu suszy:

Liczba stacji meteorologicznych wzrosła o ponad 100% względem 2007 r. oraz o 32% względem 2015 r.

Wyznaczono nowe krytyczne wartości KBW dopasowane do zmieniających się potrzeb wodnych roślin uprawnych.



Susza w 2016 roku występowała od 1 kwietnia do 10 lipca oraz od 21 lipca do 20 września w uprawach:

1. zbóż jarych
2. zbóż ozimych
3. krzewów owocowych
4. truskawek
5. rzepaku i rzepiku (2015/2017, 2016/2017)
6. roślin strączkowych
7. buraka cukrowego.

## LITERATURA

- Demidowicz G., Doroszewski A., Górski T., 1996: Wpływ niedoboru opadów na straty w produkcji ziemniaka i buraka cukrowego. *Zeszyty Probl. Post. Nauk Rol.*, 438, 43-52.
- Demidowicz G., Doroszewski A., Górski T., 1997: Metodyka szacunku strat w produkcji roślinnej powodowanych deficytem opadów. *Rocz. AR Poz. CCXCI, Melior. Inż. Środ.*, 17, 233-243.
- Doroszewski A., Demidowicz G., Górski T., 1997: Wpływ niedoboru opadów na straty w produkcji zbóż jarych w Polsce. *Rocz. AR Poz. CCXCI, Melior. Inż. Środ.*, 17, 223-231.
- Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E., 2012: Podstawy Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, (IV-VI), 12, 2(38): 77-91.
- Doroszewski A., Józwicki T., Wróblewska E., Kozyra J., 2014: *Susza rolnicza w Polsce w latach 1961-2010*, Puławy, ISBN 978-83-7562-171-6, ss. 144.
- Doroszewski A., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Jadczyzyn J., Koza P., Łopatka A., 2008: Monitoring suszy rolniczej w Polsce. *Wiad. i Mel. i Łąk.*, LI, 1 (416): 35-38.
- Dziennik Ustaw RP, 2016: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb. *Poz. 663*, Warszawa.
- Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Górski K., Marcinkowska I., Spoz-Pač W., 1997: Empiryczny model plonowania pszenicy ozimej w funkcji czynników meteorologicznych. *Zesz. Nauk. AR. Wrocław, Konf. XV*, 313, 99-109.
- Górski T., Doroszewski A., 1986: Wpływ opadów atmosferycznych na plonowanie ziemniaków w Polsce. *Zeszyty Prob. Post. Nauk Rol.*, 284, 369-375.
- Kanecka-Geszke E., Smarzyńska K., 2007: Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus*, 6 (2): 41-50.
- Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A., 2009: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, z. 14, 243-257.
- Legates D.R., McCabe G.J., 2005: A re-evaluation of the average annual global water balance: *Physical Geography*, 26:467-479.
- Łabędzki L., 2006: *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. *Rozpr. Nauk. Monografie, Falenty: IMUZ, Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 17: 1-107.
- Penmann H.L., 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, 193, 120-145.



- Rojek M., 1987: Rozkład czasowy i przestrzenny klimatycznych i rolniczo klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski. Zesz. Nauk. AR. Wrocław, 62.
- Rojek M., 2001 (red.): Klimatyczny bilans wodny (P-E<sub>o</sub>). W: Atlas klimatycznego ryzyka upraw i roślin w Polsce. Red. Koźmiński C., Michalska B. Szczecin: AR, Uniwer., 27.
- Ustawa, 2005: O ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich. Dz. U. Nr 150 poz. 1249 z późn. zm.

## **AGRICULTURAL DROUGHT MONITORING SYSTEM IN POLAND – ITS METHODOLOGICAL BASIS AND APPLICATION POSSIBILITIES**

**Summary:** The Agricultural Drought Monitoring System was developed in 2007 in the Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute. It analyses weather conditions during the vegetation period and drought vulnerability of soil. The meteorological drought conditions are determined by the Climatic Water Balance values (KBW). In 2016, new critical Climatic Water Balance values were defined for fourteen groups and species of plants, taking into account the differentiation in water stress tolerance of the soil cover. In 2016 also significantly increased the number of meteorological stations and observation posts, which provided the data used for the calculation of the Climatic Water Balance values. The precipitation data were obtained from 466 meteorological stations and the potential evapotranspiration calculation was based on the meteorological data derived from 151 stations. In 2016 agricultural drought was stated for winter and spring cereal, fruit shrubs, strawberries, rape and turnip rape, legumes and sugar beets.

**Key words:** agricultural drought, climatic water balance, internet monitoring of agricultural drought, potential evapotranspiration, precipitation



# ZARZĄDZANIE PRZESTRZENIĄ NA TERENACH WIEJSKICH Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU WSPARCIA DECYZYJNEGO COMMUNITYVIZ

Katarzyna Sabura-Mielnik<sup>1</sup>, Szymon Szewrański<sup>1</sup>, Jan Kazak<sup>1</sup>

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono system CommunityViz oraz jego podstawowy komponent Scenario360 jako innowacyjne rozwiązanie prognozowania i oceny skutków środowiskowych w kontekście strategicznej oceny oddziaływania na środowisko dla miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Autorzy wskazują na współzależność instrumentów wykorzystywanych w planowaniu przestrzennym oraz gospodarowaniu wodą, gdzie podkreślono znaczenie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, mającego charakter operacyjny, jako najsilniejsze narzędzie kształtowania zasobów wodnych na poziomie lokalnym. Szczególnie istotne zależności można wyodrębnić w ramach przeprowadzania oceny oddziaływania na środowisko. Zastosowanie przedstawionego narzędzia jakim jest CommunityViz oraz wykorzystanie wizualizacji danych i analiz przestrzennych, pozwala na stworzenie logicznej podstawy do rozważania, szersze zrozumienie zagadnień przez wszystkich interesariuszy oraz oparcie decyzji na obiektywnych wynikach analiz.

**Słowa kluczowe:** miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, strategiczna ocena oddziaływania na środowisko, planowanie przestrzenne na terenach wiejskich

## WPROWADZENIE

W pracy przedstawiono pakiet oprogramowania CommunityViz, działający na platformie systemu ArcGIS, oraz jego podstawowy komponent Scenario360 jako innowacyjne rozwiązanie prognozowania i oceny skutków środowiskowych (Walkers i Daniels, 2011). Najczęstszym obszarem zastosowań CommunityViz jest ocena skutków ekonomicznych rozwoju lokalnego. W miarę modyfikacji istniejącego systemu istnieje jednak możliwość jego aplikacji do szeroko pojętego planowania lokalnego i regionalnego, strategii rozwoju, opracowań studialnych i planów zagospodarowania przestrzennego. System ten daje możliwość wsparcia procesu zarządzania zasobami środowiska, w tym między innymi zarządzanie pod kątem zasobów leśnych, zagrożeń geologicznych, planów ochrony przyrody, ocen oddziaływania na środowisko czy zarządzania kryzysowego. Scenario360, to podstawowy moduł CommunityViz, który umożliwi wykonanie analiz modelowych wykorzystujących dane przestrzenne. Za pomocą jego podstawowych funkcji (założeń, wskaźników, narzędzi

---

<sup>1</sup> Katarzyna Sabura-Mielnik – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej, e-mail: katarzyna.sabura-mielnik@upwr.edu.pl

<sup>1</sup> Jan Kazak – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej, e-mail: jan.kazak@upwr.edu.pl

<sup>1</sup> Szymon Szewrański – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej, e-mail: szymon.szewranski@upwr.edu.pl

edycji) można dokonać wizualizacji i analiz dostarczających informacji ułatwiających podejmowanie decyzji przestrzennych dotyczących gmin, miast czy regionów. Utworzony za pomocą tego modułu komputerowy model miejsca w przestrzeni geograficznej pomaga podjąć decyzję o tym, jak i gdzie lokalizować inwestycje, jak wykorzystywać zasoby środowiska oraz pozwala na ocenę i porównania różnych metod działania (Van der Heijden, 1996).

Podstawową zasadą polityki przestrzennej jest zapewnienie ładu przestrzennego i warunków zrównoważonego rozwoju, czyli takiej organizacji przestrzennej, która eliminowałaby konflikty między ochroną środowiska a rozwojem gospodarczym i działaniami na rzecz poprawy warunków życia mieszkańców (Ociepa-Kubicka, 2014). Niewłaściwa struktura funkcjonalno-przestrzenna stanowi jeden z czynników ograniczających rozwój obszarów wiejskich, dlatego zarządzanie przestrzenią we właściwym ich kształtowaniu jest tak istotne (Salomon, 2010). Planowanie przestrzenne to nie tylko instrument zarządzania przestrzenią, ale poprzez wymóg uwzględnienia wymagań ochrony środowiska, istotnie wpływa na zasoby wodne. Z kolei właściwe zarządzanie zasobami wodnymi na obszarach wiejskich decyduje nie tylko o dostępności wody na potrzeby rolnictwa, lecz jest podstawowym elementem kształtowania stosunków wodnych na obszarze kraju (Mioduszewski, 2004).

Dokumenty planistyczne w zakresie gospodarowania wodami na obszarze gminy opracowywane są fakultatywnie, dlatego silniejszym narzędziem kształtowania zasobów wodnych na poziomie lokalnym będą miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego.

Oprogramowanie CommunityViz może zostać wykorzystane do przeprowadzenia analizy i oceny skutków ustaleń dokumentów planistycznych w ramach strategicznej oceny oddziaływania na środowisko. Przy uchwalaniu dokumentów o tak istotnym wpływie na środowisko i jego zasoby, prognoza oddziaływania na środowisko powinna dostarczyć informacji, zarówno decydentom jak i wszystkim interesariuszom, o tym jakie skutki środowiskowe niesie ze sobą przyjęcie danych ustaleń. CommunityViz, jako narzędzie otwarte, daje możliwość dostosowania funkcjonalności zbudowanego w nim modelu do prognozowania skutków środowiskowych w kontekście specyfiki planowania przestrzennego, np. do dynamiki wprowadzania zmian do projektu planu miejscowego na różnych etapach jego uchwalania.

## **ZARZĄDZANIE PRZESTRZENIĄ A GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI**

### **Narzędzia zarządzania przestrzenią**

Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. 2016 poz. 778 z późn. zm.) (dalej jako u.p.z.p.) reguluje proces planowania przestrzennego w Polsce, w tym zasady kształtowania polityki przestrzennej. Polityka przestrzenna definiowana jest jako sztuka racjonalnego gospodarowania przestrzenią na podstawie pryncypiów planowania przestrzennego i społecznie przyjętych wartości, której celem jest minimalizowanie konfliktów przestrzennych (Fogel, 2012). Najważniejsze zadania tego typu polityki to: koordynacja przestrzennej działalności publicznej, stymulacja wszechstronnego rozwoju oraz tworzenie platformy porozumienia między różnymi podmiotami polityki przestrzennej (Korenik i Stodczyk, 2005).

Podział zadań wynikający z ustroju instytucjonalnego państwa, w zakresie zarządzania przestrzenią, uwzględnia trzy poziomy planowania przestrzennego: krajowy, regionalny i lokalny (gmina lub miasto), jednocześnie nadając działaniom na szczeblu powiatowym



charakter komplementarny (Gawroński, 2012). Podstawą systemu planowania jest spójność. Plany na poziomie lokalnym, mimo samodzielności planistycznej gminy, muszą uwzględniać ustalenia z dokumentów wyższego szczebla oraz z dokumentów strategicznych (strategii rozwoju, programów sektorowych) na wszystkich poziomach administracji rządowej i samorządowej (Baran-Zgłobicka, 2015).

Zarządzanie przestrzenią jest częścią polityki przestrzennej. Podmiotami zarządzania przestrzenią mogą być organy samorządu terytorialnego, ale także organy administracji rządowej. To jednak gminy są określane jako podstawowe podmioty polityki przestrzennej, to one dysponują instrumentami, które w pełni kształtują przestrzeń gminy (Nowak, 2013 za: Parysek, 2007). Opracowania planistyczne opracowywane na szczeblu krajowym i wojewódzkim, ze względu na duży obszar opracowania i małą skalę opracowań kartograficznych, nie są ustalane precyzyjne lokalizacje form zagospodarowania przestrzennego. Z tego powodu mają one charakter strategiczny, ale określają politykę przestrzenną. Opracowania sporządzane na poziomie lokalnym, obejmujące mniejsze obszary, o dużej skali opracowań kartograficznych, wskazują konkretną lokalizację form zagospodarowania przestrzennego, posiadają charakter operacyjny. Szczególne znaczenie ma tu miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego (Zaremba, 2013).

### **Narzędzia gospodarowania zasobami wodnymi**

W gospodarce wodnej, strategiczne znaczenie mają dwie dyrektywy: Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. w sprawie ustanowienia ram dla działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej (Dz. U. UE L 327 z 22.12.2000) czyli tzw. Ramowa Dyrektywa Wodna oraz Dyrektywa 2007/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodzi i zarządzania nim (Dz. U. UE L 288 z 6.11.2007), tzw. Dyrektywa Powodziowa. Postanowienia obu dyrektyw zostały zawarte w kolejnych nowelizacjach ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo Wodne (Dz. U. 2015 poz. 469 z późn. zm.). Odzwierciedlono je również w kluczowych dokumentach planistycznych w zakresie gospodarowania wodą, które stanowią ocenę istniejącego stanu faktycznego w stosunku do stanu pożądanego, określonych w art. 113 ustawy Prawo wodne: programie wodno-środowiskowym kraju i planach gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy, planach zarządzania ryzykiem powodziowym i planach przeciwdziałania skutkom suszy na obszarze dorzeczy, a także warunki korzystania z wód regionu wodnego i, sporządzanych w miarę potrzeby, warunki korzystania z wód zlewni.

Prawne i strategiczne narzędzia europejskie, krajowe (ujęte w programy) i regionalne, stanowią z kolei podstawę dla tworzenia i wykorzystania narzędzi lokalnych na potrzeby realizacji konkretnych działań na terenie gmin i miast. Wytyczne wyższego rzędu wskazują jednoznacznie, jakie cele należy osiągnąć, a nawet jakie działania szczegółowe gmina winna realizować. Organy gmin dysponują szerokim wachlarzem narzędzi lokalnych, które wykorzystywane są również w realizacji celów gospodarki wodnej. Są to m.in. programy ochrony środowiska, studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego, projekty zagospodarowania rzek, programy i projekty małej retencji, polityki sektorowe w zakresie zasobów wodnych, zasobów przyrody oraz inne wizje i strategie rozwoju gminy (Wagner i in., 2014).





## Zarządzanie przestrzenią a gospodarowanie wodami

Planowanie przestrzenne to nie tylko instrument zarządzania przestrzenią, ale równocześnie służy zarządzaniu zasobami środowiska, w tym zasobami wodnymi. Zgodnie z Ustawą w planowaniu przestrzennym uwzględnia się wymagania ochrony środowiska, w tym gospodarowania wodami i ochrony gruntów rolnych i leśnych (art. 1 ust. 2 pkt 3). Zdaniem Gawrońskiego (2012) polski system planistyczny jest przepełniony nadmierną ilością planów i programów, które zostały namnożone w reakcji na potrzeby sektorowe, nie troszcząc się o ich wzajemną koherencję. W planowaniu przestrzennym obowiązuje podział administracyjny, natomiast w gospodarce wodnej - podział na obszary dorzeczy i regiony wodne. Odmienne granice obszarów objętych planowaniem oraz różne priorytety są przyczyną trudności w koordynacji gospodarki przestrzennej i wodnej (Mrozik i Przybyła, 2013). Narzędzia planowania przestrzennego i gospodarki wodnej z uwzględnieniem poziomów planowania przedstawiono w tab. 1. Ramowa Dyrektywa Wodna oraz Dyrektywa Powodziowa kładą nacisk na zintegrowane zarządzanie zasobami wodnymi. Koncepcja zintegrowanego zarządzania wodą została zdefiniowana przez Globalne Partnerstwo dla Wody (Global Water Partnership) jako "proces promujący harmonijny rozwój oraz zarządzanie wodą, przestrzenią i innymi zasobami, w celu maksymalizacji korzyści społecznych i ekonomicznych w granicach zachowania zdrowia ekosystemów" (Wagner i in., 2014).

Tab. 1. Narzędzia planowania przestrzennego i gospodarki wodnej (Januchta-Szostak, 2014)

Poziom planowania	Dokumenty strategiczne	Plany zagospodarowania przestrzennego	Plany i programy związane z gospodarowaniem wodą
Krajowy	Strategia rozwoju kraju, Polityka ekologiczna państwa w latach 2009-2012 z perspektywą do roku 2016	Koncepcja przestrzennego zagospodarowania kraju (KPZK), Programy zawierające zadania rządowe, służące realizacji inwestycji o charakterze celu publicznego o znaczeniu krajowym	Program wodno-środowiskowy kraju z uwzględnieniem podziału na obszary dorzeczy, Plany gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy, Plany zarządzania ryzykiem powodziowym, Plany przeciwdziałania skutkom suszy na obszarach dorzeczy, Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych
Regionalny	Strategia rozwoju województwa	Plan zagospodarowania przestrzennego województwa (PZPW), Programy zawierające zadania dotyczące inwestycji celu publicznego o znaczeniu regionalnym	Plany gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy w obrębie regionów wodnych, Plany przeciwdziałania skutkom suszy w regionach wodnych, Warunki korzystania z wód regionu wodnego i sporządzane w miarę potrzeby warunki korzystania z wód zlewni, Regionalne programy ochrony środowiska, Regionalne programy małej retencji



Lokalny	Strategia rozwoju miasta/gminy, Wieloletni plan inwestycyjny miasta/gminy	Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego (mpzp)	Na poziomie lokalnym, dla realizacji zadań własnych gminy w zakresie gospodarki wodnej (art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy o samorządzie gminnym), opracowywane jest studium i program gospodarowania wodą na obszarze gminy lub miasta. Opracowanie studium nie jest jednak obligatoryjne.
---------	--	--	---

W wymiarze operacyjnym wprowadzenie zintegrowanego zarządzania wymaga zastosowania wiedzy interdyscyplinarnej oraz konsultacji i partycypacji społecznej w planowaniu i opracowaniu narzędzi oraz wdrażaniu dobrych praktyk. Wiele sektorów gospodarki, a w szczególności produkcja rolnicza, w znacznym stopniu zależy od wody.

Decyzje podejmowane na szczeblu lokalnym, kształtujące przestrzeń i zasoby środowiska, w tym wodne, muszą mieć charakter międzysektorowy, a współpraca między interesariuszami powinna cechować się otwartością i elastycznością. Sukces zintegrowanego zarządzania zależy od:

1. stworzenia warunków sprzyjających wdrażaniu stosownych strategii, polityki i rozwiązań prawnych;
2. precyzyjnego zdefiniowania roli i kompetencji instytucji oraz stworzenia koniecznego potencjału ludzkiego;
3. wypracowania takich narzędzi zarządzania, które pozwalają na racjonalizację wyborów i ocenę alternatyw.

W praktyce potrzebne są do tego złożone bazy danych, wiedza ekspercka oraz narzędzia umożliwiające analizę obecnego i historycznego stanu środowiska oraz całości oddziaływania na środowisko (Krauze i Wagner, 2014).

Studium i program gospodarowania wodą na obszarze gminy opracowywane jest fakultatywnie, stąd silniejszym narzędziem kształtowania zasobów wodnych na poziomie lokalnym będą, mające charakter operacyjny, miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego.

## **STRATEGICZNA OCENA ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM**

Współzależność instrumentów wykorzystywanych w planowaniu przestrzennym oraz gospodarowaniu wodą podkreśla szczególny związek między zarządzaniem przestrzenią a zarządzaniem środowiskiem i jego zasobami. Szczególnie istotne zależności można wyodrębnić w ramach przeprowadzania oceny oddziaływania na środowisko (Nowak, 2013 za: Poskrobko i Poskrobko, 2012). Dla projektów studiów i planów miejscowych oraz innych dokumentów strategicznych przeprowadza się strategiczną ocenę oddziaływania na środowisko na podstawie art. 46 pkt 1 Ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 2016 poz. 353 z późn. zm.). Zasadniczym elementem oceny jest prognoza oddziaływania na środowisko.

Celem prognozy oddziaływania na środowisko dla miejscowego planu przestrzennego jest zidentyfikowanie i dokonanie oceny potencjalnych skutków ustaleń planistycznych w odniesieniu do poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego, w tym zdrowia i życia ludzi, wskazanie potencjalnie uciążliwych lub korzystnych dla środowiska ustaleń zagospodarowania przestrzennego. Zadaniem prognozy jest również podanie rozwiązań poprawiających istniejący i planowany sposób zagospodarowania w celu eliminacji ich ewentualnego negatywnego wpływu na środowisko. Z punktu widzenia ochrony środowiska jest istotnym opracowaniem poddającym pod ocenę zamierzenia planistów przez specjalistów z dziedziny ochrony środowiska oraz dającym możliwość oceny zamierzeń planistycznym w ujęcie zintegrowanego zarządzania wodą na danym obszarze. Prognoza stanowi integralną część wszystkich opracowań planistycznych i wraz z projektem planu zagospodarowania przestrzennego musi być wyłożona do wglądu (Ociepa-Kubicka, 2014).

Strategiczna ocena oddziaływania na środowisko stanowi dla instrumentów zarządzania przestrzenią na poziomie lokalnym istotny element procesu wyważania interesów, dostarczając podmiotom polityki przestrzennej odpowiednie dane (Fogel, 2011).

## **UDZIAŁ SPOŁECZEŃSTWA W PROCEDURZE UCHWALANIA MIEJSCOWEGO PLANU ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO**

Umożliwienie interesariuszom zwiększenia zakresu współpracy w procesie decyzyjnym odnośnie zorganizowania struktury przestrzennej miast oraz wsi pozwala na osiągnięcie zadowolających wszystkich jego uczestników. Odpowiednio przeprowadzone działania partycypacyjne dają społeczności lokalnej poczucie, że jej zdanie na temat kształtu i funkcjonowania otaczającej przestrzeni może naprawdę się liczyć. Zostaje ona włączona do wspólnej odpowiedzialności za ład przestrzenny i wizerunek miasta lub wsi (Pawłowska, 2008). Dla użytkowników zasobów wodnych na obszarach wiejskich biorących udział w procedurze uchwalania miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego będą istotne prognozowane skutki środowiskowe proponowanych rozwiązań, dlatego dobór narzędzi prognozowania powinien być dostosowany do wymagań jego odbiorców.

Zgodnie z art. 17 u.p.z.p procedura uchwalania miejscowego planu rozpoczyna się od przyjęcia uchwały o przystąpieniu do sporządzenia projektu danego planu miejscowego, a następnie ogłoszenia tego faktu oraz formy, miejsca i terminu składania wniosków dotyczących tego planu miejscowego. Składanie wniosków jest w zasadzie pierwszym etapem, gdzie społeczeństwo ma możliwość udziału w procedurze planowania. Wnioski traktowane są jako propozycje mieszkańców czy jednostek organizacyjnych do wstępnych ustaleń planistycznych i po rozpatrzeniu mogą być uwzględnione lub odrzucone. Następnym etapem procedury, na którym jest zagwarantowany udział społeczeństwa to etap wyłożenia projektu planu miejscowego do publicznego wglądu (po niezbędnych uzgodnieniach i przy uwzględnieniu pozytywnie rozpatrzonych wniosków) wraz z prognozą oddziaływania na środowisko. Okres wyłożenia to co najmniej 21 dni. W tym czasie organ właściwy gminy organizuje dyskusję publiczną nad zapisami zawartymi w projekcie planu miejscowego. Następnie w terminie nie krótszym niż 14 dni od dnia zakończenia okresu wyłożenia każdy obywatel oraz jednostki organizacyjne mogą wnosić uwagi do projektu planu miejscowego. Uwagi dotyczyć mogą projektu planu w postaci, w jakiej został wyłożony do publicznego

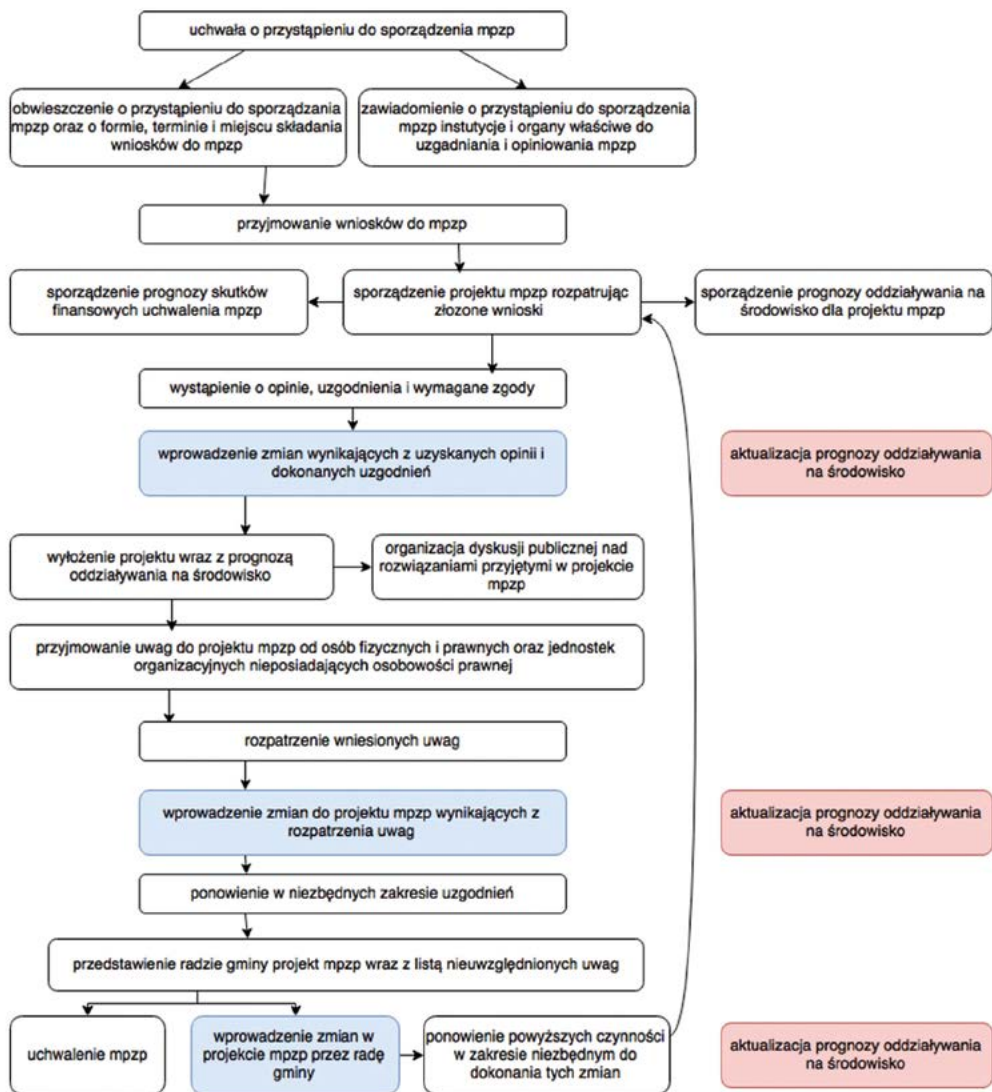


wglądu. Organ gminy ma obowiązek rozpatrzyć wniesione uwagi oraz wprowadzić zmiany do projektu wynikające z ich rozpatrzenia oraz tworzy listę nieuwzględnionych uwag.

Prognoza oddziaływania na środowisko dla projektu planu miejscowego zagospodarowania przestrzennego sporządzana jest przed skierowaniem tego projektu do uzgodnień i opiniowania przez właściwe organy. Przepisy u.p.z.p. nie przewidują wprost obowiązku aktualizacji prognozy w wyniku zmian opracowywanego planu miejscowego. Jednakże, zgodnie z art. 19 u.p.z.p., jeżeli rada gminy stwierdzi konieczność dokonania zmian w przedstawionym do uchwalenia projekcie planu miejscowego, w tym także w wyniku uwzględnienia uwag do projektu planu, to czynności, o których mowa w art. 17 u.p.z.p., ponawia się w zakresie niezbędnym do dokonania tych zmian. Sporządzenie prognozy oddziaływania na środowisko stanowi jedną z tych czynności. W odniesieniu do wymagania aktualizacji prognozy oddziaływania na środowisko dla planu miejscowego należy odwołać się do wykładni art. 55 ustawy o ocenach, zgodnie z którym organ opracowujący projekt dokumentu objętego strategiczną oceną oddziaływania bierze pod uwagę ustalenia zawarte w prognozie. Sporządzenie prognozy tylko dla pierwszej wersji projektu planu, który następnie zostanie poddany daleko idącym zmianom w zakresie wpływu na środowisko (nie każda zmiana dokumentu planistycznego oddziałuje na środowisko), nie realizowałoby celu prognozy oddziaływania na środowisko, którym jest kompleksowa ocena projektu dokumentu (art 51 i 52 ustawy o ocenach). Zmiany projektu planu miejscowego mogą wywołać potrzebę aktualizacji prognozy oddziaływania na środowisko adekwatnie do zakresu wprowadzonych zmian (Fogel, 2014). Poniżej przedstawiono etapy uchwalania miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego ze wskazaniem tych (kolor niebieski), które mogą wywołać potrzebę aktualizacji prognozy oddziaływania na środowisko (rys. 2).

Przy uchwalaniu dokumentu o tak istotnym wpływie na środowisko i jego zasoby, jakim jest miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, prognoza oddziaływania na środowisko powinna pomóc zrozumieć, zarówno decydom jak i wszystkim interesariuszom, jakie skutki środowiskowe niesie ze sobą przyjęcie danych ustaleń. Dlatego istotne jest zastosowanie odpowiednich narzędzi do prognozowania skutków środowiskowych dostosowanych do specyfiki planowania przestrzennego, m.in. do dynamiki wprowadzania zmian do projektu planu miejscowego na różnych etapach jego uchwalania.





Rys. 1. Etapy uchwalania miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego z uwzględnieniem potencjalnego wymogu aktualizacji prognozy oddziaływania na środowisko (opracowanie własne)



## **COMMUNITYVIZ JAKO NARZĘDZIE PROGNOZOWANIA SKUTKÓW ŚRODOWISKOWYCH WYKORZYSTYWANE W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM**

Prognozowanie i ocena skutków planowania przestrzennego może być dokonywana za pomocą wielu technik i narzędzi. Wykorzystywanie w ocenach oddziaływania na środowisko danych przestrzennych oraz narzędzi opartych o Systemy Informacji Przestrzennych promowane jest przez Dyrektywę 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiającą infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE) (Dz. U. UE L 108 z 25.4.2007). Oczekuje się, że infrastruktura informacji przestrzennej (IIP) przyczyni się do efektywniejszego wykorzystywania danych przestrzennych poprzez przeprowadzanie odpowiednich analiz i dostarczanie informacji dla budowania, oceny i monitorowania planów i dokumentów strategicznych. Przy zakresie przestrzennym i czasowym właściwym dla prognoz oddziaływania na środowisko znaczącą przewagę w przewidywaniu i ocenie skutków o charakterze przestrzennym i/lub skumulowanym daje wykorzystanie możliwości narzędzi GIS. Takie narzędzia ułatwiają opracowanie danych, ale również ich prezentację w postaci graficznej, co ma szczególne znaczenie przy typowych skutkach wynikających z planowanych zmian zagospodarowania przestrzennego. Narzędzia GIS umożliwiają bardziej wydajne analizy przestrzenne, które umożliwiają integrację różnych zestawów danych oraz wizualizację przewidywanych scenariuszy. Zalety wykorzystania narzędzi GIS potencjalnie prowadzą do bardziej transparentnego procesu decyzyjnego w planowaniu przestrzennym (González i in., 2011). Ponadto, ustawodawca wskazuje, że dane, w oparciu o które przygotowane są analizy w tym zakresie, powinny być oparte i dostosowane do stanu współczesnej wiedzy i metod oceny oraz dostosowanie do zawartości i stopnia szczegółowości projektowanego dokumentu.

CommunityViz stanowi zaawansowany technologicznie pakiet oprogramowania dedykowany potrzebom planowania przestrzennego. Pomysł utworzenia takiego systemu wspomagającego planowanie powstał, aby "pomóc mieszkańcom obszarów wiejskich Ameryki zdefiniować swoją przyszłość, ukształtować rozwój oraz zachować dziedzictwo lokalnych społeczności" (Brail i Kolsterman, 2001). Scenari360 stanowi rdzeń pakietu CommunityViz. Moduł ten jest rozszerzeniem pracującym w środowisku programu ArcGIS Desktop (ArcMap i ArcScene) firmy ESRI. Dodaje potężny zestaw nowych funkcji rozszerzających możliwości zastosowań systemu w obszarach związanych z planowaniem i wspieraniem podejmowania decyzji.

Funkcje te służą głównie konstruowaniu interaktywnych modeli gmin, miast, regionów oraz scenariuszy ich przyszłego rozwoju, umożliwiając analizowanie tego jakie mogą one stać się w przyszłości oraz wyjaśnianiu i komunikowaniu tych zagadnień pomiędzy grupami osób uczestniczących w procesie planowania i podejmowania decyzji.

U podstaw Scenari360 leży prosta idea zbudowania komputerowego modelu miasta, gminy czy też regionu w przestrzeni geograficznej. Kiedy należy podjąć decyzje o tym gdzie i jak tworzyć zabudowę, rozwijać infrastrukturę lub jak wykorzystywać zasoby środowiska, dzięki takim modelom można ocenić i porównywać różne sposoby działania oraz pokazać na mapie (lub z lotu ptaka) jak wyglądają nasze scenariusze zagospodarowania terenu. Scenari360 pomoże wykonać ocenę skutków (zarówno pozytywnych jak negatywnych) scenariuszy i to wszelkiego rodzaju – ekonomicznych, społecznych, środowiskowych, wreszcie porównać wyniki w dowolnym momencie. Dzięki temu możemy wypróbować swoje decyzje na modelu zanim spróbujemy wcielić je w życie w rzeczywistości.





CommunityViz nie operuje wprawdzie w pełni zintegrowanymi modelami miejskimi jak czynią to potężne narzędzia w rodzaju UrbanSim czy TRANUS, które mogą prowadzić dynamiczne symulacje złożonych układów urbanistycznych. CommunityViz jest nastawiony raczej na interaktywne planowanie w konwencji "what if?" (pol. *co jeżeli?*). Nie oznacza to jednak, że modele które mogą w jego środowisku układać nie mogą być bardzo wyrefinowane. Wyjątkową cechą CommunityViz jest system dynamicznych wbudowanych w obiekty przestrzenne opartych na formułach atrybutów. Ich wartości są automatycznie aktualizowane pod wpływem dowolnych zmian w obrębie prowadzonej analizy. Przykładowo, zmiana powierzchni, intensywności, sposobu użytkowania jednostki przestrzennej planu czy sąsiedztwa infrastruktury powoduje natychmiastową zmianę jej oceny. Takie względnie proste w użyciu, interaktywne, oparte na GIS narzędzia decyzyjne są niezwykle pomocne w planowaniu przestrzennym.

CommunityViz jest przykładem narzędzia wspierania decyzyjnego typu PSS (Planning Support System) czy PPGIS (Participatory Planning GIS). Przez system wspierającym interaktywne planowanie przestrzenne stawia się najczęściej następujące wymagania:

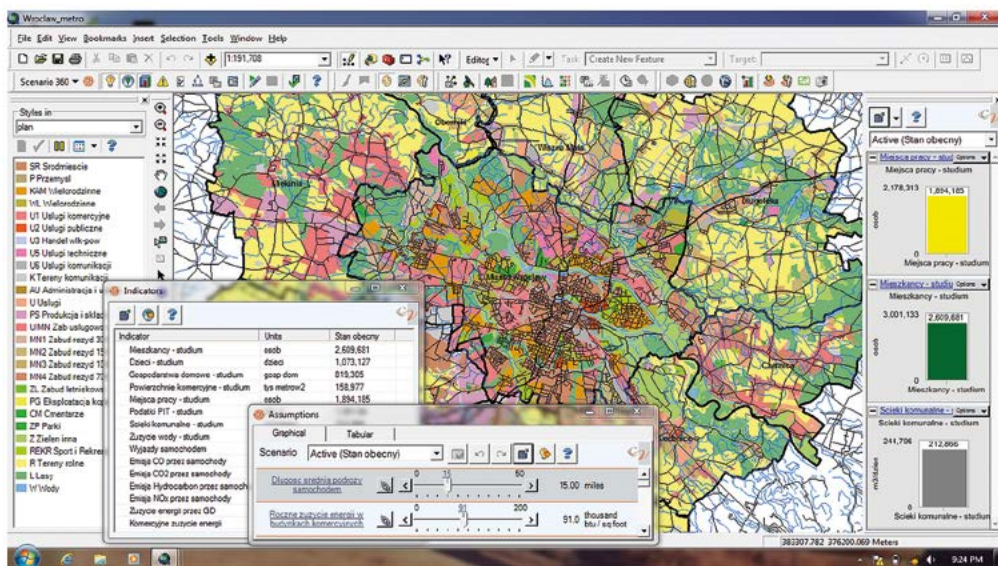
- łatwo daje się dostosowywać go do lokalnych i aktualnych potrzeb gmin, miast, prowadzonej przez nie polityki, sytuacji organizacyjnej
- obejmuje szeroki zakres tematyczny typowy dla planów i strategii np. zagadnienia nieruchomości, zatrudnienie, transport, infrastruktura, środowisko.
- zdolny jest do kompleksowej oceny zagadnień, pokazuje całościowy obraz złożonego systemu (różnorodność funkcji i zróżnicowanie uczestników)
- ma zdolność równoległego operowania wieloma scenariuszami planów i strategii wraz z możliwością oceny ich skutków w czasie rzeczywistym
- daje swobodę operowania na różnych poziomach szczegółowości zależnie od potrzeb decyzyjnych, od pojedynczych działek, poprzez różne ich agregacje i jednostki przestrzenne, aż do całości miasta, gminy lub regionu.
- pozwala dostosować precyzję analiz do rodzaju podejmowanych zagadnień i dostępności danych
- pozwala tworzyć plany (intuicyjnie) iteracyjnie, metodą prób i błędów, co prowadzi do wyłaniania wielu alternatyw, które mogą być oceniane ze względu na swoje skutki (funkcja What if?)
- generuje informację zwrotną w tempie pozwalającym na interaktywne wspieranie pracy grupowej i spotkań publicznych, analiza prowadzona jest "w locie"
- umożliwia nadawanie analizowanym zagadnieniom perspektywy czasu zarówno statycznej (punkt docelowy), jak i dynamicznej (opowieść o zmianach mogących zachodzić z upływem czasu) stosownie horyzontu strategii, np. 10 lat.
- ma zdolność do dynamicznego i zintegrowanego modelowania zagadnień związanych z użytkowaniem terenów, np. z wykorzystaniem modeli gravitacyjnych, alokacji rozwoju zabudowy w konwencji "what if".
- łatwo wykorzystywać go różnych okolicznościach: spotkania, dyskusje, internet
- pozwala uczyć się zachowań analizowanego systemu
- posiada instrumenty wizualizacji (Scenari3D, ArcScene) i cechy multi-medialne (animacje) pozwalające angażować uczestników spotkań i dyskusji
- oferuje transparentność założeń, modeli analitycznych, wyników obliczeń oraz wykorzystywanych w nich danych



- daje swobodę łączenia różnych modeli i baz danych podnosząca ich użyteczność i opłacalność systemów GIS
- pozwala niezwykle sprawnie wykorzystać do maksimum dostępne zasoby informacyjne (ang. productivity tool)
- wymaga tylko podstawowego poziomu wiedzy i doświadczenia z GIS, pomagając skupiać się nad rozwiązywanymi zagadnieniami
- może poddawać się szybkiej modyfikacji bez umiejętności profesjonalnego programowania.

Można wyróżnić kilka poziomów konceptualnych funkcjonalności Scenario360. Na poziomie najwyższym, posługujemy się scenariuszami, wskaźnikami, założeniami i obiektami przestrzennymi, intuicyjnie zrozumiałe suwaczki pozwalają w zasadzie każdemu poznawać scenariusze i ilościowe oraz przestrzenne kompromisy pomiędzy nimi. Nieco niższy poziom to narzędzia tworzenia nowych scenariuszy, na kolejnym głębszym poziomie znajdziemy narzędzia decyzyjne i panele podpowiadające jak ustawić analizy projekcji rozwoju, skutków ekonomicznych, ocenić przydatności terenu pod określone sposoby użytkowania. Należy tu też zaliczyć narzędzia służące do tworzenia 3D wizualizacji scenariuszy. Operujemy tu analogią do typowych, każdemu praktycznie znanych sytuacji lub wzorców metodycznych. Dla potrzeb jeszcze bardziej wyrafinowanych analiz są narzędzia bezpośredniego tworzenia kodu formuł, który może wykorzystywać wbudowane funkcje statystyczne i geoprzestrzenne lub nawet efekty działania zewnętrznych skryptów i modeli.

Oprócz klasycznej formy prezentacji wyników jak w typowym środowisku GIS, Scenario360 wzbogaca prezentację kartograficzną o wartości założeń statystycznych charakteryzujących badany obszar oraz o wartości wskaźników, które stanowią skwantyfikowaną ocenę projektu dokumentów planistycznych. Poniżej przedstawiono przykładową analizę zapisów studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin dla obszaru Wrocławia oraz dziesięciu gmin ościennych (rys. 2).



Rys. 2. Model oceny dokumentów planistycznych opracowany w Scenario360 (opracowanie własne)

Scenariusz 360 modyfikuje interfejs ArcMap i dodaje do niego nowe elementy. W oknie legendy (TOC - Table of Contents) tworzy dwie nowe zakładki o nazwach 360Setup i 360 Analysis, które wyznaczają dwa tryby pracy z Scenariuszem 360, służąc odpowiednio definiowaniu analizy i prezentacji jej wyników. Do aplikacji dodaje on nowe paski narzędzi o nazwach Scenariusz 360, Scenariusz360 Decision Tools, Scenariusz Sketch Tools. Zachowany jednocześnie pozostaje dostęp do całej funkcjonalności ArcMap. Do użytkowania CommunityViz wystarczy podstawowa licencja ArcView bez rozszerzeń. Wyższe wersje jak ArcEditor czy ArcInfo oraz rozszerzenia ESRI np. Network Analyst, 3D Analyst również bardzo dobrze mogą współpracować z aplikacją szczególnie w zakresie bardziej zaawansowanych zastosowań.

System CommunityViz znajduje szerokie zastosowanie między innymi w ocenie środowiskowych skutków planowanego rozwoju przestrzennego. Oprogramowanie zawiera wbudowany domyślnie zestaw wskaźników z których część stanowią wskaźniki środowiskowe. Należą do nich emisje gazów związanych z wykorzystaniem pojazdów ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , węglowodory), zapotrzebowanie na energię elektryczną na terenach usługowych i mieszkaniowych czy zapotrzebowanie na wodę na terenach mieszkaniowych (Placeways LLC, 2015). Niezależnie jednak od domyślnego zestawu wskaźników istnieje możliwość swobodnego definiowania własnych wskaźników środowiskowych (np. wzrost spływu powierzchniowego wody opadowej czy zmniejszenie retencji wodnej) a uzyskane wyniki umożliwiają porównanie trendów zachodzących zjawisk przestrzennych. Przykładem takich analiz może być porównanie wybranych gmin wiejskich podlegających procesowi suburbanizacji (Kazak i Szewrański, 2013). Dowiedziano także możliwości zwiększenia dokładności takich analiz porównawczych dla gminy wiejskiej podlegającej procesowi suburbanizacyjnym. Analizy porównawcze obiektów budowlanych w dwóch horyzontach czasowych pozwoliły dokładnie scharakteryzować wpływ presji urbanizacyjnej na dostępne zasoby środowiska. Precyzyjne określenie ich lokalizacji i wielkości umożliwiło oszacować oddziaływanie na dostępne zasoby glebowe (Stasica i in., 2014) czy zasoby wodne (Kazak i in., 2013). Takie podejście umożliwi porównanie planowanego zapotrzebowania z dostępnymi zasobami występującymi lokalnie, a w efekcie pozwoli odpowiedzieć na pytanie czy planowany kierunek rozwoju przestrzennego ma charakter zrównoważony i może zagwarantować odporność ekosystemu ze względu na działalność człowieka.

## WNIOSKI

Decyzje podejmowane na szczeblu lokalnym, kształtujące przestrzeń i zasoby środowiska, w tym wodne, muszą mieć charakter międzysektorowy. Dostępne narzędzia gospodarki wodnej, takie jak studium i program gospodarowania wodą na obszarze gminy opracowywane są fakultatywnie, stąd silniejszym narzędziem kształtowania zasobów wodnych na poziomie lokalnym będą, mające charakter operacyjny, miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego. Dla właściwego gospodarowania zasobami wodnymi na obszarach wiejskich znaczące będzie prognozowanie skutków środowiskowych w ramach strategicznej oceny oddziaływania miejscowego planu oraz udział wszystkich interesariuszy w procedurze jego uchwalania.

Zastosowanie przedstawionego narzędzia jakim jest CommunityViz oraz wykorzystanie wizualizacji danych i analiz przestrzennych, pozwala na stworzenie logicznej podstawy do rozważania, szersze zrozumienie zagadnień przez wszystkich interesariuszy oraz



oparcie decyzji na obiektywnych wynikach analiz. Dzięki zaprezentowanemu modułowi Scenario360 można wykonać ocenę skutków wszelkiego rodzaju – ekonomicznych, społecznych, środowiskowych, co rzeczywiście umożliwia podjęcie decyzji o charakterze międzysektorowym. Wykorzystanie CommunityViz w prognozowaniu skutków środowiskowych miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego będzie odpowiadało specyfice procesu jego uchwalania, gdzie dokonywanie zmian w projekcie, może wywołać wymóg aktualizacji prognozy oddziaływania na środowisko.

## LITERATURA

- Baran-Zgłobicka B., 2015: Środowisko przyrodnicze i problemy jego ochrony w planowaniu przestrzennym na obszarach wiejskich południowo-wschodniej Polski. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 45, s. 114-123.
- Brail R.K., Klosterman R.E., 2001: *Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems, Models and Visualization Tools*. ESRI Press, Redlands.
- Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. w sprawie ustanowienia ram dla działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej (Dz. U. UE L 327 z 22.12.2000).
- Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiającą infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE) (Dz. U. UE L 108 z 25.4.2007).
- Dyrektywa 2007/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodzi i zarządzania nim (Dz. U. UE L 288 z 6.11.2007).
- Fogel A., 2011: *Prawna ochrona przyrody w lokalnym planowaniu przestrzennym*. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Warszawa.
- Fogel A., 2014: *Strategiczna ocena oddziaływania na środowisko gminnych aktów planowania przestrzennego*. Samorząd Terytorialny, nr 9 (2014), s. 15-27.
- Fogel P., 2012: *Wskaźniki oceny polityki i gospodarki przestrzennej w gminach*. Biuletyn KPZK PAN, z. 250, Warszawa.
- Gawroński H., 2012: *Instrumenty planowania przestrzennego w zarządzaniu strategicznym jednostkami terytorialnymi*. *Studia i Materiały. Miscellanea Oeconomicae*, rok 16 nr 2/2012, s. 101-116.
- González A., Gilmer A., Foley R., Sweeney J., Fry J., 2011: *Applying geographic information systems to support strategic environmental assessment: Opportunities and limitations in the context of Irish land-use plans*. *Environmental Impact Assessment Review*, nr 31 (2011), s. 368-381.
- Januchta-Szostak A., 2014: *Rola urbanistyki i architektury w gospodarowaniu wodą. Zrównoważony Rozwój - Zastosowania*, nr 5, s. 31-47.
- Kazak J., Stasica K., Szewrański S., 2013: *Prognozowanie i ocena skutków środowiskowych planowania przestrzennego w skali lokalnej z wykorzystaniem systemu CommunityViz*. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, nr 144, s. 299-310.
- Kazak J., Szewrański S., 2013: *Indicator-Based Environmental Assessment of Spatial Planning with the Use of Communityviz*. *GIS Ostrava 2013 - Geoinformatics for City Transformation*.

- Korenik S., Słodczyk J., 2005: Podstawy gospodarki przestrzennej - wybrane aspekty. Wydawnictwo AE im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Krauze K., Wagner I., 2014: Woda w przestrzeni miejskiej a zintegrowane zarządzanie miastem. *Zrównoważony Rozwój - Zastosowania*, nr 5, s. 95-113.
- Mioduszewski W., 2014: Gospodarowanie zasobami wodnymi w aspekcie wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 4 z. 1(10), s. 11-29.
- Mrozik K. D., Przybyła Cz. T., 2013: An Attempt to Introduce Cultivation and Planning Measures into the Decision-Making Process in Order to Improve Water-Retaining Capacity of River Catchments. *Pol. J. Environ. Stud.* nr 6 (2013), s. 1767-1773.
- Nowak M.J., 2013: Zarządzanie przestrzenią na szczeblu lokalnym jako element zarządzania gminą. *Optimum. Studia Ekonomiczne*, nr 1(61), s. 124-135.
- Ociepa-Kubicka A., 2014: Rola planowania przestrzennego w zarządzaniu ochroną środowiska. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 7, nr 1, s. 135-146.
- Parysek J., 2007: Wprowadzenie do gospodarki przestrzennej. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań.
- Pawłowska K., 2008: Przeciwdziałanie konfliktom wokół ochrony środowiska i kształtowania krajobrazu. *Partycypacja społeczna, debata publiczna, negocjacje*. Wydawnictwo PK, Kraków.
- Placeways LLC, 2015. White Paper: CommunityViz Indicators [online]. Dostępny w internecie: <http://placeways.com/PDFs/articles/WhitePaperIndicators.pdf> [dostęp: 30.12.2016].
- Poskrobko B., Poskrobko T., 2012: Zarządzanie środowiskiem w Polsce. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa.
- Salomon J., 2010: Metodyka oceny środowiskowych i społeczno-gospodarczych uwarunkowań wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 7*. Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie, Kraków.
- Stasica K., Kazak J., Szewrański S., 2014: Indicator-based environment al impact assessment of suburbanisation process in Siechnice commune. *Research papers of Wrocław University of Economics*, nr 339, s. 202-211.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz. U. 2015 poz. 469 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. 2016 poz. 778 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 2016 poz. 353 z późn. zm.)
- Walker D., Daniels T.L., 2011: The planners guide to CommunityViz: The essential tool for a new generation of planning. Planners Press, American Planning Association, Chicago.
- Wagner I., Januchta-Szostak A., Waack-Zajęc A., 2014: Narzędzia planowania i zarządzania strategicznego wodą w przestrzeni miejskiej. *Zrównoważony Rozwój - Zastosowania*, nr 5, s. 17-29.
- Van der Heijden K., 1996: *Scenarios: The Art of Stategic Conversation*. Wileys&Sons Ltd., England.
- Zaremba A., 2013: Planistyczne aspekty polityki przestrzennej a podstawy ochrony środowiska w kontekście zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, nr 2(28), s. 263-270.





## SPATIAL PLANNING AND WATER RESOURCES MANAGEMENT IN RURAL AREAS

**Summary:** CommunityViz system and its basic component Scenario360 is introduced as an innovative tool for predicting and evaluating environmental impacts in terms of strategic environmental assessment of local development plan. The paper indicates the interdependence between the instruments used in spatial planning, and water management, emphasizes significance of local development plan as a tool that has the strongest impact on water conditions at local level. Peculiar dependence is noticed during strategic environmental assessment for that kind of plan. Applying CommunityViz system enables the assessment of the effects in parametric values, based on statistical assumptions, clearly outlining the results of the planned activities that are understandable for participants and decision-makers.

**Key words:** local development plan, strategic environmental assessment, land management on rural areas







# ROZDZIAŁ II

## GOSPODARKA WODNA – AGROTECHNIKA



- ROLA WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH I AGROTECHNIKI W POPRAWIE GOSPODARKI WODNEJ ROŚLIN
- SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI W NAWODNIENIACH UPRAW ROLNICZYCH
- INNOWACYJNA KONCEPCJA NAWADNIANIA I NAWOŻENIA
- WPŁYW GLEBOWEJ MATERII ORGANICZNEJ NA GOSPODARKĘ WODNĄ GLEBY
- WYBRANE PROBLEMY GOSPODAROWANIA WODĄ W SIEDLISKACH MOKRADŁOWYCH



# ROLA WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH I AGROTECHNIKI W POPRAWIE GOSPODARKI WODNEJ ROŚLIN

Jan Kuś<sup>1</sup>

**Streszczenie.** W opracowaniu przeanalizowano wpływ składu granulometrycznego, zagęszczenia i struktury gleby na jej zdolność retencyjną. Omówiono również potrzeby wodne ważniejszych gatunków roślin uprawnych na tle średnich opadów z wielolecia. Wykazano, że zwiększenie zasobów wody dla potrzeb uprawianych roślin wymaga kompleksowych rozwiązań, obejmujących: gromadzenie możliwie dużej ilości wody w krajobrazie rolniczym dzięki zwiększeniu małej retencji, poprawę zdolności retencyjnej gleby poprzez wzrost zawartości próchnicy oraz stosowanie całokształtu agrotechniki umożliwiającej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów wody. Z elementów agrotechniki szczególne znaczenie mają bezorkowe sposoby uprawy roli i siewu połączone z mulczowaniem powierzchni gleby resztkami pożywnymi i międzyplonami, optymalne nawożenie oraz ochrona przed agrofagami.

**Słowa kluczowe:** gospodarka wodna, retencja wodna, połowa pojemność wodna, woda dostępna dla roślin, współczynnik transpiracji, bilans wodny, struktura gleby, zagęszczenie gleby, próchnica, deszczowanie

## WPROWADZENIE

Pojawianie się susz jak również okresów z nadmiarem opadów jest charakterystyczną cechą naszego klimatu, chociaż susze występują znacznie częściej niż okresy z nadmiarem opadów. Na podstawie dostępnych kronik oszacowano, że susze na obszarze Polski na przestrzeni ostatnich 600 lat występowały z częstotliwością od 19 do 25 razy w każdym 100-leciu (Lorenc, 2012). Jednak w ostatnim okresie susze pojawiają się coraz częściej, gdyż w latach 2001-2012 wystąpiły 5-krotnie (Doroszewski, 2012). Stają się one problemem gospodarczym kraju, ponieważ powodują duże starty w plonach i dochodach rolniczych oraz szkody w środowisku przyrodniczym, a także stwarzają uciążliwości i zagrożenia dla ludności (Kędziora i in., 2014). Gospodarowanie zasobami wody dodatkowo utrudnia powiększająca się zmienność pogody – występowanie coraz ostrzej zarysowanych okresów niedoborów i nadmiarów opadów, w warunkach małych zmian sum rocznych (Kundzewicz i Kozyra, 2011).

W Polsce prawie 25% powierzchni kraju stanowią obszary o dużym i bardzo dużym stopniu zagrożenia wystąpieniem susz hydrologicznych. Są to w przeważającej większości tereny położone w pasie nizin, o małej rocznej sumie opadów i stosunkowo lekkich glebach, gdzie istotną rolę gospodarczą odgrywa dość dobrze rozwinięte rolnictwo. Dodatkowo w ostatnich latach wzrost temperatury powietrza, intensywności promieniowania słonecznego oraz prędkości wiatru w następstwie postępujących zmian klimatu zwiększa ewapotranspirację i pogłębia deficyt wody (Kędziora i in., 2014).

---

<sup>1</sup> Jan Kuś - Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: jankus@iung.pulawy.pl

Poprawa gospodarki wodnej w rolnictwie jest możliwa jedynie poprzez wprowadzenie kompleksowych działań, które obejmują:

- gromadzenie możliwie dużej ilości wody w krajobrazie rolniczym, czyli spowolnienie odpływu wody ze zlewni poprzez zwiększenie małej retencji (Kowalczak, 2008);
- zwiększenie retencji glebowej poprzez wzrost zawartości próchnicy, poprawę struktury gleby, likwidację nadmiernego zagęszczenia ornej i podornej warstwy gleby (Miatkowski, 2001);
- całością agrotechniki (uprawa roli, zabiegi pielęgnacyjne, płodozmian itp.) minimalizujący bezproduktywne parowanie wody bezpośrednio z powierzchni gleby (ewaporacja);
- zwiększenie efektywności wykorzystania wody przez rośliny (nawożenie, ochrona przed chwastami, chorobami i szkodnikami) oraz dobór do uprawy gatunków roślin lepiej wykorzystujących zasoby wody.

Celem opracowania jest analiza możliwości poprawy gospodarki wodnej w rolnictwie poprzez zwiększenie zdolności retencyjnej gleb oraz stosowanie agrotechniki warunkującej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów wody glebowej.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

Problem braku wody wydaje się niezrozumiały, gdyż prawie 70% powierzchni kuli ziemskiej pokrywają wody (water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.html). Jednak aż 97% stanowią słone wody oceanu światowego, a tylko 3% przypada na wodę słodką. Z tego prawie 99% wód słodkich stanowią czasy lodowe na biegunach i lodowce w wysokich górach oraz woda zgromadzona w głębokich zbiornikach podziemnych (tab. 1). Jedynie bardzo mały odsetek ogółu wody słodkiej stanowią zasoby, które mają praktyczne znaczenie dla rolnictwa, a są to wody zgromadzone w: glebach, mokradłach i bagnach oraz rzekach i jeziorach (tab.1). Dodatkowo dostępne dla rolnictwa zasoby wody słodkiej są nierównomiernie rozmieszczone na kuli ziemskiej.

Tab. 1. Zasoby wody słodkiej

Rodzaj wody	Udział (%)
Lodowce i stała pokrywa śnieżna	68,7
Wody podziemne	30,1
Wieczna zmarzlina	0,86
Jeziora słodkie	0,26
Wilgoć glebowa	0,05
Bagna i mokradła	0,03
Rzeki	0,006
Woda w żywych organizmach	0,003
Para wodna w atmosferze	0,037
Ogółem wody słodkie	100,0

Źródło: Cykl hydrologiczny (water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.html).

Woda na kuli ziemskiej jest w ciągłym ruchu, zwanym cyklem hydrologicznym. Dopływ energii słonecznej powoduje jej parowanie z powierzchni oceanów, mórz, rzek, jezior, mokradeł i gleby oraz transpirację, czyli wyparowywanie wody przez rośliny. Po skropleniu pary wodnej w atmosferze, cząstki wody opadają na powierzchnię ziemi w postaci deszczu, śniegu lub gradu. Zapewnia to stały dopływ wody do powierzchni ziemi, z której część jest akumulowana w glebie, część spływa i zasila rzeki, a reszta wsiąka (infiltruje) w głąb profilu glebowego i odbudowuje zasoby wód podziemnych. Stąd mamy stały dopływ wody do rzek, mórz i oceanów, co zamyka cykl hydrologiczny.

Proces ciągłego obiegu wody (cykl hydrologiczny) kształtuje klimat na ziemi, gdyż parowanie wody pochłania dużo ciepła ( $2454 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), które jest następnie odzyskiwane w procesie kondensacji pary wodnej w atmosferze. Cykl hydrologiczny zapewnia również systematyczny dopływ do powierzchni ziemni czystej wody, gdyż para wodna stanowi czystą chemicznie wodę, a jedynie krople deszczu pochłaniają z atmosfery pewne ilości zanieczyszczeń (Dębski, 1970, Majewski, 2008).

W skali globalnej około 70% zasobów słodkiej wody zużywa szata roślinna kuli ziemskiej, 20% przemysł, a 10 % gospodarka komunalna. Proporcje te układają się różnie w zależności od strefy klimatycznej i poziomu rozwoju gospodarczego kraju lub regionu (Chmielewski, 2001). Szacuje się, że w Europie samo rolnictwo zużywa około 24% wody, przy czym na południu kontynentu, gdzie nawadnia się więcej użytków rolnych jego udział jest większy, zaś zdecydowanie mniejszy na północy, a dla Polski udział ten szacowany jest na około 10% (Chmielewski, 2004, Jankowiak i Bieńkowski, 2011). Specyficzną cechą rolnictwa jest sezonowe zróżnicowanie zapotrzebowania na wodę, którego około 80% przypada na lato, kiedy wody jest najmniej.

Zdolność gleby do gromadzenia i zatrzymywania wody zależy przede wszystkim od jej składu granulometrycznego, budowy profilu, zawartości materii organicznej, zgęszczenia oraz struktury warstwy ornej i jej trwałości. Cechy te kształtują porowatość i strukturę porów glebowych, co decyduje o całokształcie właściwości wodno-powietrznych gleby. W zależności od rodzaju i wielkości sił działających na wodę zawartą w glebie wyróżnia się następujące jej formy (Paluszek, 2011):

- woda higroskopowa,
- woda błonkowata,
- woda kapilarna (właściwa i zawieszona),
- woda grawitacyjna (wolna) przesiąkająca do wód glebowo-gruntowych.

Woda higroskopowa i błonkowata są utrzymywane w glebie siłami molekularnymi (woda molekularna). Cząstki gleby posiadają ładunki elektryczne i dzięki temu wokół nich grupują się dipole wody tworzące kolejne warstewki. Przyjmuje się, że cząstki wody higroskopowej bezpośrednio przylegają do cząstek gleby i są związane z nimi dużymi siłami, w związku z tym ta forma wody jest całkowicie niedostępna dla roślin. Woda błonkowata jest wiązana siłami molekularnymi z zewnętrznymi warstwami wody higroskopowej. Tylko jej część (zewnętrzne warstwy) mogą pobrać rośliny w warunkach bardzo dużego niedoboru wilgoci glebowej. Zawartość wody higroskopowej i błonkowatej zależy przede wszystkim od udziału frakcji ilastej, czyli jest największa w glebach ciężkich.

Woda kapilarna zatrzymywana jest w porach o średnicy 20 – 0,2  $\mu\text{m}$  (mezopory) i decyduje o zdolności gleby do gromadzenia (retencjonowania) wody dostępnej dla roślin (Paluszek, 2011). W tej grupie porów woda przemieszcza się w różnych kierunkach (pionowo i poziomo) z porów większych do mniejszych. Wyróżnia się wodę kapilarną właściwą,



która ma bezpośredni kontakt ze zwierciadłem wody glebowo-gruntowej i dzięki działaniu sił kapilarnych podsiąka (podnosi się), co uzupełnia niedobory wody w strefie korzeniowej. W glebach piaszczystych o dominacji grubszych porów ilość wody podsiąkającej jest większa, jednak wysokość podsiąku wynosi zaledwie kilkanaście centymetrów. Natomiast w glebach ciężkich z dominacją drobnych porów wysokość podsiąku jest duża (nawet do 300 cm), jednak wydajność tego procesu jest mała, czyli małe ilości wody mogą się przemieszczać z wód gruntowych do strefy korzeniowej. Najbardziej efektywny jest podsiąk kapilarny w glebach pyłowych (np. lessy). Teoretycznie podsiąk może mieć duże znaczenie w zaopatrzeniu roślin w wodę, jednak na większości naszych gruntów ornych poziom zalegania wód gruntowych jest na tyle głęboki, że jego praktyczne znaczenie dla typowych roślin rolniczych jest małe. Dodatkowo w okresach z niedoborem opadów lustro poziomu wód gruntowych ulega znacznemu obniżeniu. W tych warunkach występuje opadowo-retencyjny typ gospodarki wodnej, w którym bilans wodny zależy od retencji glebowej i bieżących opadów deszczu (Buckman i Brady, 1971). Jedynie w obniżeniach terenowych, gdzie występuje podpowierzchniowy spływ wód z terenów przyległych i dzięki temu utrzymuje się wyższy poziom zalegania wód gruntowych występuje opadowo-gruntowy typ gospodarki wodnej, w którym rośliny mogą w znacznym stopniu korzystać z wody podsiąkającej.

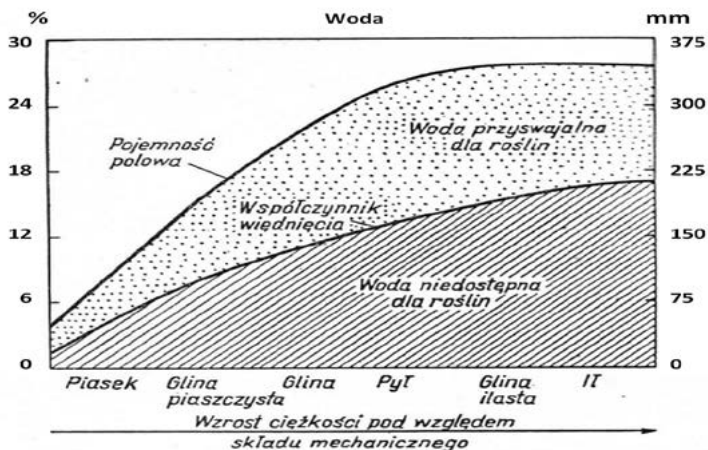
Drugim typem wody kapilarnej jest woda kapilarna zawieszona lub przywierająca, która utrzymuje się w kapilarach bez łączności z wodą glebowo-gruntową.

Woda grawitacyjna (wolna) wypełnia w glebie większe pory od kapilarnych (makropory) o średnicy powyżej 20  $\mu\text{m}$ , które zwykle zajmuje powietrze. Po większych opadach deszczu woda w tych porach przemieszcza się (przeziąka, infiltruje) w głąb pod wpływem sił ciężkości. Jej część w kolejnych warstwach profilu glebowego wypełnia pory kapilarne, zaś nadmiar przemieszcza się do wód gruntowych.

W schematyczny sposób zależność pomiędzy składem granulometrycznym gleby a jej właściwościami wodnymi przedstawiono na rysunku 1.

Właściwości wodne gleb najczęściej charakteryzują trzy wskaźniki: połowa pojemność wodna (PPW), wilgotność trwałego wędnięcia roślin (WTW) oraz woda ogólnie dostępna (WOD). W celu łatwiejszego porównywania wyników, wskaźniki te najczęściej wyraża się w mm słupa wody w warstwie gleby 100 lub 150 cm.

Połowa pojemność wodna (PPW) jest to ilość wody jaką gleba może zatrzymać po swobodnym odcieknięciu wód grawitacyjnych. W warunkach naturalnych taki stan uwilgotnienia gleb występuje wiosną po odcieknięciu wód roztopowych lub po długotrwałych opadach deszczu. W warunkach laboratoryjnych połowa pojemność wodna odpowiada wilgotności gleby przy sile ssącej  $pF = 2,0 - 4,2$  (Paluszek, 2011). O wartości tej cechy decyduje przede wszystkim udział frakcji ilastej w składzie granulometrycznym gleby, zawartość materii organicznej oraz struktura gleby (tab. 2). Jak wykazano w tabeli 2 zapas wody w warstwie gleby 0 – 150 cm przy wilgotności równej połowej pojemności wodnej wahał się w granicach od 155 w glebie bardzo lekkiej (piasek słabo gliniasty zalegający na piasku luźnym) do 540 mm w glebie bardzo ciężkiej (głina ciężka w całym profilu).



Rys. 1. Wpływ składu granulometrycznego gleby na jej właściwości wodne

Źródło: Buckman i Brady, 1971

Tab. 2. Zapas wody (mm) w warstwie 0 – 150 cm gleb o różnym składzie granulometrycznym

Gleba	Skład granulometryczny	Kompleks glebowo-rolniczy	Zapas wody** (mm)		
			PPW	WTW	WOD
Bardzo lekka	ps.pl	6/7	155	40	115
Lekka	pgl.ps	5/9	245	70	145
Średnia	pgl.gl	4	310	100	210
Less	lss.	2	420	110	310
Ciężka	gs.gc	2	490	240	250
Bardzo ciężka	gc.	9	540	290	260

\*\*/ PPW – połowa pojemność wodna;

WTW – wilgotność trwałego wędnięcia roślin;

WOD – woda ogólnie dostępna dla roślin.

Źródło; Kuś i Nawrocki, 1983

Wilgotność trwałego wędnięcia (WTW) oznacza stan uwilgotnienia gleby, przy którym woda jest utrzymywana w glebie z siłami przewyższającymi siłę ssącą korzeni, co powoduje jej niedostępność dla roślin i trwałe ich wędnięcie. W warunkach laboratoryjnych wilgotność trwałego wędnięcia roślin odpowiada wilgotności gleby przy sile ssącej  $pF = 4,2$  (Paluszek, 2011). Największe ilości wody niedostępnej dla roślin (woda higroskopowa i większość wody błonkowej) występują w glebach ciężkich o dużym udziale frakcji ilastej. Zapas wody przy wilgotności trwałego wędnięcia roślin w warstwie gleby 0 - 150 cm wahał się od 40 mm w glebie bardzo lekkiej do 290 mm w glebie bardzo ciężkiej (tab. 2). Na podkreślenie zasługuje bardzo mały zapas wody niedostępnej dla roślin (110 mm) w glebie wytworzonej z lessu.

Woda ogólnie dostępna dla roślin (WOD), określana również jako woda użyteczna, stanowi różnicę pomiędzy połową pojemnością wodną (PPW) a wilgotnością trwałego wędnięcia roślin (WTW). Zawartość wody użytecznej w porównywanych glebach wahała się od 115 mm na glebie bardzo lekkiej do ponad 300 mm na glebie wytworzonej lessu (tab. 2). Gleby wytworzone z pyłów (np. lessy) wyróżniają się dużą retencją użyteczną, gdyż posiadają stosunkowo dużą połowę pojemność wodną, a z uwagi na mały udział frakcji ilastej mała jest ilość wody niedostępnej dla roślin. Dominujący udział frakcji pyłu przy odpowiedniej zawartości próchnicy sprzyja również powstawaniu w glebie struktury gruzełkowej, co gwarantuje duży udział wewnątrzagregatowych porów kapilarnych. Natomiast gleby bardzo ciężkie gromadzą mniej wody użytecznej, pomimo największej połowej pojemności wodnej, gdyż występuje dużo wody niedostępnej dla roślin. Również czynniki poprawiające strukturę gleby, a głównie zwiększona zawartość próchnicy i dostępność wapnia, poprawiają zdolności retencyjne tych gleb, gdyż zwiększa się udział porów kapilarnych ważnych dla gromadzenia wody.

Należy podkreślić, że rolnik ma ograniczone możliwości kształtowania zdolności retencyjnej gleby, gdyż zależy ona głównie od składu granulometrycznego, a tylko w pewnym zakresie modyfikuje ją zawartość materii organicznej (próchnicy) i struktura gleby. Glebowa materia organiczna wpływa na gospodarkę wodną gleby w sposób:

- bezpośredni, gdyż wiąże ona około 5-krotnie więcej wody w stosunku do swojej masy,
- pośredni – próchnica sprzyja powstawaniu trwałej struktury gruzełkowej, co zwiększa zdolność retencyjną i usprawnia ruch wody w glebie.

Wyniki wieloletnich doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych rejonach Europy wykazały, że systematyczne stosowanie nawożenia organiczno-mineralnego umożliwia pewien przyrost zawartości glebowej materii organicznej, który zwiększa zdolność retencyjną gleby (Körschens i in, 2013). Problematyka dotycząca gospodarki glebową materią organiczną oraz jej oddziaływanie na gospodarkę wodną gleby jest przedmiotem oddzielnego opracowania zamieszczonego w tej samej monografii (Kuś, 2016).

Powszechnie przyjmuje się, że optymalne warunki wilgotnościowe dla wzrostu i rozwoju roślin stwarza uwilgotnienie gleby na poziomie 50 - 80% połowej pojemności wodnej (PPW). Wówczas ilość powietrza glebowego (tlenu) nie ogranicza wzrostu i funkcjonowania systemu korzeniowego, zaś woda jest łatwo dostępna dla roślin. Spadek uwilgotnienia gleby do poziomu 30 – 40% PPW zaburza już wzrost roślin, gdyż w upalne dni w godzinach południowych może dochodzić do okresowego wędnięcia liści, co ogranicza intensywność fotosyntezy i prowadzi do znaczących obniżek plonu. Również utrzymywanie wilgotności gleby powyżej 80% PPW, szczególnie na ciężkich glebach, jest niekorzystne dla wzrostu roślin z uwagi na niedobór tlenu (powietrza) w strefie korzeniowej (Geisler, 1988).

Na gospodarkę wodną gleb znaczący wpływ mają także obiekty małej retencji wodnej: mokradła, stawy, zbiorniki przeciwpowodziowe, małe zbiorniki śródpolne, urządzenia piętrzące wodę na rzekach i strumieniach, poldery itp. (Kowalczak, 2008) Spowalniają one odpływ wody ze zlewni i utrzymują ją dłużej w krajobrazie rolniczym, zwiększając poziom wód gruntowych oraz wilgotność gleby na terenach przyległych, co w konsekwencji ogranicza niedosyt pary wodnej w powietrzu i zmniejsza ewapotranspirację. Również fitomelioracje i zadrzewienia śródpolne, które spowalniają prędkość wiatru i poprawiają higrotermiczne właściwości powietrza, poprawiają gospodarkę wodną na obszarach rolniczych i zmniejszają zużycie wody na sąsiednich polach uprawnych (Ryszkowski i in. 2003).

Zapotrzebowanie roślin na wodę zmienia się w okresie wegetacji w zależności od fazy rozwojowej. Zwykle jest największe w okresie najszybszego przyrostu biomasy, który u większości roślin przypada na koniec fazy rozwoju wegetatywnego i początek tworzenia organów generatywnych. Okres ten jest określany jako faza krytycznej wrażliwości, w której niedobór wilgoci powoduje największe obniżki plonu (Chmura i in., 2009, Dzieżyc 1989). W przypadku zbóż okres ten obejmuje fazy: strzelanie w źdźbło - kłoszenie oraz wykształcanie i nalewanie ziarna (dojrzałość mleczna). Niedobór wilgoci w fazie kłoszenia i kwitnienia powoduje słabe wykształcenie kłosa oraz zmniejsza liczbę zawiązanych ziarniaków, zaś przedłużenie tego okresu pogarsza wypełnienie ziarna, co w sumie może znacznie obniżyć plon ziarna. Okres krytyczny dla ziemniaka zaczyna się od fazy kwitnienia (okres zawiązywania bulw) i trwa do początku żółknięcia roślin. Burak cukrowy jest najbardziej wrażliwy na niedobór opadów w okresie szybkiego grubienia korzenia, czyli około 60 dni po zwarciu łanu, zaś rośliny bobowate grubonasienne w okresie kwitnienia do zawiązywania strąków i wypełniania nasion. O zaopatrzeniu roślin w wodę decydują przede wszystkim:

- opady atmosferyczne (deszcz, rosa, mgła i śnieg),
- retencja glebowa,
- podsiąkanie wody z głębszych warstw gleby,
- kondensacja pary wodnej,
- sztuczne nawadnianie.

Podstawowym źródłem wody są opady atmosferyczne, których ilość w skali globalnej jest bardzo zróżnicowana. Występują rejonu o rocznej sumie opadów przekraczającej 20 tys. mm (niektóre rejonu Indii) oraz obszary, na których od kilku lat nie spadła kropla deszczu (Majewski, 2008).

Średnia roczna suma opadów dla Polski wynosi około 550-600 mm z wahaniami od 500-550 mm w części środkowej - Wielkopolska i Kujawy do 600-650 mm na północy i południu kraju oraz ponad 1000 mm w górach (Kundzewicz i Kozyra, 2011). Charakterystyczną cechą klimatu Polski jest duża zmienność opadów i temperatury powodowana ścieraniem się na naszym terytorium mas powietrza oceanicznego i kontynentalnego.

Porównanie potrzeb opadowych podstawowych gatunków roślin uprawnych ze średnimi miesięcznymi sumami opadów dla Puław za okres 140 lata (1871-2009) wskazuje, że w przypadku rzepaku i zbóż ozimych występuje niedobór opadów w kwietniu i maju oraz pewien ich nadmiar w lipcu, czyli w określenie dojrzewania tych roślin (tab. 3). Niedobór opadów w maju i kwietniu jest szczególnie znaczący na lżejszych glebach, na których potrzeby opadowe są o około 20% większe w porównaniu do gleb średnich. W przypadku zbóż jarych, kukurydzy i buraka cukrowego przeciętne opady z wielolecia stosunkowo dobrze pokrywają ich potrzeby opadowe w całym okresie wegetacji, natomiast dla trwałych użytków zielonych opady w całym okresie wegetacji są niedostateczne, co ogranicza ich potencjalną produktywność (Dzieżyc, 1989).

Problem stanowi natomiast bardzo duża zmienność opadów w latach w poszczególnych miesiącach przy zbliżonej ich sumie rocznej. Prowadzi to do drastycznego zróżnicowania plonowania poszczególnych gatunków roślin, co potwierdzają wyniki uzyskane w Polsce latach 2006 i 2015. W 2006 r. po względnie suchej wiosnie odnotowano duże niedobory opadów w czerwcu i lipcu, co drastycznie obniżyło plony zbóż, szczególnie jarych. Bardzo duże opady (240 mm) w sierpniu tego roku, czyli w fazie krytycznej wrażliwości kukurydzy i buraka cukrowego na niedobór wilgoci, umożliwiły uzyskanie dużych plonów tych roślin, pomimo deficytu opadów w czerwcu i lipcu. Z kolei w 2015 r. względnie duże

opady w maju i pierwszej połowie lipca pozwoliły na uzyskanie stosunkowo dużych plonów zbóż, natomiast prawie całkowity brak opadów w drugiej połowie lipca oraz w sierpniu drastycznie ograniczył plon kukurydzy i buraka cukrowego. Należy zaznaczyć, że niedoborowi opadów towarzyszą zwykle wysoka temperatura i duży niedosyt pary wodnej w powietrzu, co dodatkowo zwiększa transpirację i pogłębia stres suszy.

Tab. 3. Optymalna ilość opadów (w mm) dla wybranych gatunków roślin\*

Gatunek roślin		Miesiąc					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
Żyto		35	70	70	45	-	-
Pszenica ozima		35	65	70	60	-	-
Pszenica jara		45	65	75	65	-	-
Rzepak ozimy		50	70	75	30	-	-
Kukurydza		-	50	60	70	65	50
Burak cukrowy		15	65	74	85	78	54
Trwałe użytki zielone		50	70	90	100	80	60
Opady w Puławach	<b>1871-2009</b>	<b>40</b>	<b>57</b>	<b>70</b>	<b>84</b>	<b>75</b>	<b>51</b>
	2006	27	58	19	21	240	8
	2015	22	94	31	53	3	118

\* na lżejszych glebach większe o 20%, zaś na cięższych mniejsze o 20%

Źródło: Dzieżyc, 1989.

Potrzeby wodne roślin wyraża się za pośrednictwem współczynnika transpiracji, który określa ilość zużytej (wytranspirowanej) wody w kilogramach lub litrach w przeliczeniu na 1 kilogram przyrostu suchej masy roślin. Wartości tego współczynnika zależą od gatunku uprawianej rośliny oraz warunków ich wzrostu - temperatura, wilgotność gleby, zaopatrzenie w składniki pokarmowe, występowanie agrofagów itp. (Chmura i in., 2009). Współczynniki transpiracji naszych roślin uprawnych mieszczą się w szerokim przedziale, bo od około 200 – 350 (proso, sorgo i kukurydza - rośliny  $C_4$ ) poprzez 500 - 600 dla zbóż oraz do ponad 700 l wody na 1 kg suchej masy dla lucerny albo lnu (tab. 4). Generalnie można stwierdzić, że rośliny o szlaku fotosyntezy  $C_4$  efektywniej wykorzystują wodę niż rośliny  $C_3$ , które dominują w naszych zasiewach.

Należy jednak podkreślić, że dostępne przeciętnie zasoby wody nie pozwalają na uzyskanie bardzo dużych plonów. Szacuje się, że plony potencjalne w Polsce wyliczone na podstawie modeli są ograniczane niedoborem wody: pszenicy ozimej o 46,9%, jęczmienia jarego o 42,9%, rzepaku ozimego o 60,0% oraz ziemniaka o 58,9% (Faber, 2002). Jako przykład można również podać duży plon buraka cukrowego - 80 t ha<sup>-1</sup> korzeni i 60 t ha<sup>-1</sup> liści, czyli łącznie około 26 t suchej masy. Nawet przy współczynniku transpiracji wynoszącym tylko 300 l · kg<sup>-1</sup> s.m. potrzeby wodne takiej plantacji buraka cukrowego wynoszą około 780 mm, z tego użyteczna retencja glebowa 300 mm oraz potrzeby opadowe w okresie od kwietnia do września 480 mm, podczas gdy w Puławach średnia suma opadów z wielolecia za ten okres wynosi około 380 mm.

Tab. 4. Wartości współczynnika transpiracji ( $\text{kg wody kg}^{-1}$  suchej masy) wybranych gatunków roślin rolniczych

Typ fotosyntezy	Gatunek rośliny	Zużycie wody ( $\text{l kg}^{-1}$ przyrostu suchej masy)
$C_4$	proso, sorgo	200 - 300
	kukurydza	300 - 400
$C_3$	burak cukrowy	350 - 450
	jęczmień, żyto	400 - 500
	pszenica, ziemniak, gryka	500 - 600
	owies, rzepak, groch, koniczyna cz.	600 - 700
	lucerna, soja, len	> 700

Źródło: Dębski, 1970

Łączne straty wody z gleby obejmujące transpirację oraz ewaporację określa się jednym terminem – ewapotranspiracja. Najczęściej wyznacza się ewapotranspirację potencjalną (wskaźnikową), która określa ilość wyparowanej wody z uwilgotnionej gleby pokrytej roślinnością. W praktyce wielkość tego wskaźnika wylicza z odpowiednich modeli matematycznych na podstawie: długości dnia, usłonecznienia, średniej temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru. Różnica pomiędzy sumą opadów atmosferycznymi, a ewapotranspiracją potencjalną dla wybranego przedziału czasowego jest określa jak klimatyczny bilans wodny (KBW). Prowadzony w Polsce monitoring suszy opiera się na wyznaczeniu KBW oraz przyjętych jego wartościach liczbowych dla wybranych gatunków roślin i kategorii agronomicznych gleby (Doroszewski, 2012).

## ZNACZENIE CAŁOKSZTAŁTU AGROTECHNIKI

Zabiegi agrotechniczne powinny minimalizować bezpośrednie straty wody z gleby (ewaporację) oraz sprzyjać uzyskaniu równomiernie zagęszczonych łanów roślinnych wolnych od agrogfagów, co sprzyja efektywnemu wykorzystaniu wody przez rośliny. Podstawowe znaczenie mają tu następujące elementy agrotechniki:

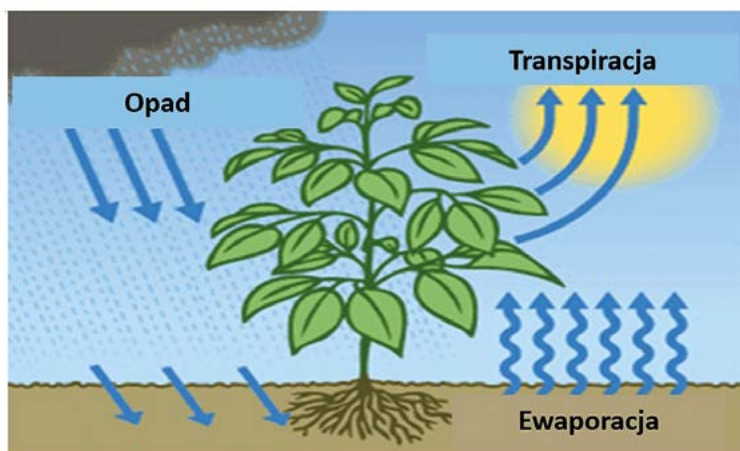
1. uprawa roli;
2. regulacja agrochemicznych właściwości gleby i nawożenie;
3. dobór gatunków uprawianych roślin i zmianowanie;
4. ochrona przed chwastami, chorobami i szkodnikami;
5. nawadnianie.

**Ad. 1.** Poprawnie wykonywana uprawa roli powinna ograniczać bezproduktywne parowanie wody z powierzchni gleby, likwidować nadmierne zagęszczenie ornej i podornej warstwy oraz przeciwdziałać zaskorupianiu się gleby.

Rozpatrując potrzeby wodne roślin uprawnych, należy podkreślić, że wartości współczynnika transpiracji uwzględniają tylko wodę pobraną i wytranspirowaną przez rośliny, a w praktyce występuje także parowanie wody bezpośrednio z gleby (ewaporacja), która stanowi bezproduktywną stratę wody (rys. 2). Szczególnie duże straty wody



w procesie ewaporacji występują wiosną u roślin wysiewanych przy dużej rozstawie rzędów (burak cukrowy, kukurydza, ziemniak), w których zwarcie ładu następuje dopiero w końcu maja lub w czerwcu. W przeszłości w roślinach tych często wykonywano pielęgnacyjne uprawy międzyrzędowe spulchniające glebę w międzyrzędziach, co obok ograniczania zachwaszczenia zmniejszało także straty wody z gleby. W obecnych warunkach stosowanie herbicydów w większości przypadków wyklucza możliwość wykonywania mechanicznych upraw pielęgnacyjnych. Dobrym sposobem ograniczania ewaporacji w tym okresie jest mulczowanie powierzchni gleby międzyplonami i resztkami poźniowymi (ściernisko i słoma), co jest możliwe przy stosowaniu bezorkowych technik uprawy roli i siewu (fot. 1).



Rys. 2. Straty wody z gleby poprzez transpirację i ewaporację  
Źródło: Geisler, 1998.



Fot. 1. Mulczowanie międzyrzędzi międzyplonem lub resztkami poźniowymi kukurydzy  
Źródło: Schwappach, 2016.

Działanie ochronne mulczu zależy od stopnia pokrycia powierzchni gleby, czyli od ilości biomasy międzyplonu i resztek poźniwnych przeznaczonych na mulcz oraz od równomierności jego rozmieszczenia na powierzchni pola. Mulcz, obok ograniczenia parowania wody z powierzchni pola, poprawia strukturę gleby, zwiększa jej zasiedlenie przez dżdżownice, co zdecydowanie poprawia wsiąkanie wód opadowych i skutecznie ogranicza erozję wodną, która w przypadku tych gatunków roślin może powodować szczególnie duże szkody.

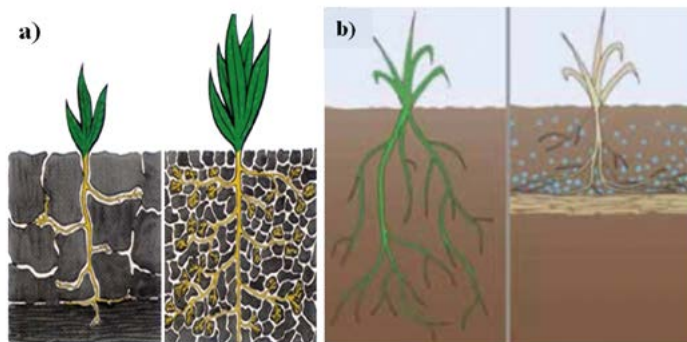
Duże bezproduktywne straty wody z gleby występują również na ścierniskach w okresie poźniwym. W tym przypadku konieczne jest możliwie szybkie wykonanie uprawy poźniwej, która spulchnia powierzchniową warstwę gleby i przerywa proces podsiąkania i parowania wody z gleby. W przeszłości stosowano rozbudowany zespół uprawek poźniwnych, obejmujący podorywkę bronowaną bezpośrednio po wykonaniu, a następnie w miarę pojawiania się wschodów chwastów i samosiewów rośliny przedplonowej. W obecnych warunkach uprawa poźniwna ogranicza się do zastosowania agregatów uprawowych o różnej konstrukcji, które spulchniają powierzchniową warstwę gleby nie odwracając jej, dzięki temu również sporo resztek poźniwnych pozostaje na powierzchni pola, co znacznie ogranicza bezproduktywne straty wody z gleby. W gospodarstwach stosujących siew bezpośredni (uprawa zerowa) lub uprawę pasową (strip till) ewaporacji skutecznie może przeciwdziałać pozostawienie na powierzchni pola rozdrobnionej słomy, stanowiącej mulcz.

Innowacyjne rozwiązania w uprawie roli (tzw. konserwująca uprawa roli) zakładają, że powierzchnia pola powinna być ciągle utrzymywana pod okrywą roślinną, którą tworzą uprawiane rośliny oraz mulcz z resztek poźniwnych i międzyplonów. Zamiast pługa należy stosować narzędzia spulchniające i mieszające powierzchniową warstwę roli, tak aby na powierzchni pola pozostawało możliwie dużo resztek roślinnych. Taka uprawa ogranicza erozję wodną i wietrzną, poprawia strukturę i zwiększa wsiąkalność wód opadowych, sprzyja wzrostowi biologicznej aktywności gleby i zasiedleniu jej przez dżdżownice oraz spowalnia mineralizację próchnicy. Dodatkowo mniejsze jest zużycie paliwa na uprawę i siew oraz wyższa wydajność pracy.

W ostatnim okresie narasta problem nadmiernego zagęszczenia ornej i podornej warstwy gleby (Miatkowski, 2001). Wiąże się to ze stosowaniem ciężkich maszyn do prac polowych oraz zbioru i transportu ziemiopłodów, szczególnie w warunkach większego uwilgotnienia gleby. Dodatkowo zagęszczeniu gleby sprzyja w ostatnim okresie małym areal uprawy roślin bobowatych wieloletnich o silnym systemie korzeniowym rozluźniającym podglebie a także brak głębszego przemarzania gleby. W następstwie łagodnych zim zamarza zwykle tylko kilkucentymetrowa powierzchniowa warstwa gleby, natomiast brak jest przemarzania gleby do głębokości 40-60 cm. Wzrost objętości zamarzającej wody glebowej powoduje wytrącanie się kryształków lodu, które rozluźniają zagęszczoną warstwę gleby, co przynajmniej częściowo ogranicza negatywne skutki jej nadmiernego zagęszczenia.

W następstwie zagęszczenia gleby w pierwszej kolejności likwidacji ulegają duże pory (areacyjne), czego następstwem jest słabe wsiąkanie wód roztopowych wiosną oraz po większych opadach deszczu i tworzenie się zastoisk wodnych, a w terenach falistych duże spływy powierzchniowe. Na części pól występuje również „podeszwa płuzna”, czyli strefa silnie zagęszczonej gleby na styku warstwy ornej i podornej. Zagęszczenie jest powodowane pracą pługa a przede wszystkim ugniataniem gleby kołem ciągnika poruszającego się po dnie bruzdy podczas orki.

Zagęszczenie gleby ogranicza dopływ powietrza (tlenu) do gleby, zmniejsza jej aktywność biologiczną oraz rozwój fauny glebowej (w tym dżdżownic), co prowadzi do zaniku struktury gruzełkowej. W takich warunkach rośliny słabo rosną, wytwarzają słaby i płytki system korzeniowy, co ogranicza wykorzystanie zasobów wody glebowej i składników nawozowych. Można przyjąć, że wzrost zasięgu systemu korzeniowego roślin o 25-30 cm stwarza możliwość pobrania z głębsze warstwy gleby dodatkowo około 30 - 50 mm wody, co ma duże znaczenie dla plonowania roślin, szczególnie w latach o niedoborze opadów. Nadmierne zagęszczenie zalicza się do „chorób gleby”, a w schematyczny sposób jego wpływ na wzrost roślin przedstawiono na rysunkach 3 a i b.

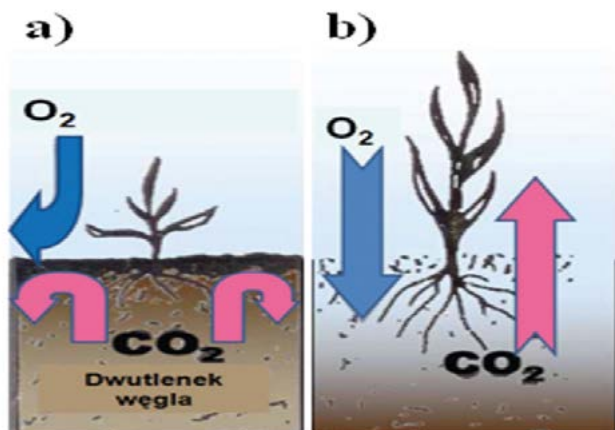


Rys. 3. Wpływ zagęszczenia warstwy ornej i podornej gleby (a) oraz podszwy płuźnej (b) na wzrost roślin i zasięg systemu korzeniowego.

Źródło: Schwappach, 2016.

Podstawowym sposobem eliminacji nadmiernego zagęszczenia podglebia jest głęboszowanie. Zabieg ten powinien być stosowany na wszystkich polach uprawnych o zagęszczonej warstwie podornej ograniczającej ruch wody i wzrost systemu korzeniowego, głównie na glebach średnich i ciężkich (Miatkowski, 2001). Głęboszowanie najczęściej wykonuje się na głębokość około 40-45 cm w warunkach małego uwilgotnienia gleby, aby mechanicznie rozerwać i pokruszyć zagęszczoną warstwę gleby. Natomiast głęboszowanie gleby wilgotnej w niewielkim stopniu napowietrza podglebie, a dodatkowo może zagęszczać glebę w śladach po łapach głębosza. Optymalnym terminem wykonania zabiegu jest okres późniwny i można wówczas zalecać następującą kolejność zabiegów: płytka uprawa późniwna – głęboszowanie. Po głęboszowaniu powinno się wysiewać w miarę możliwości rośliny o palowym systemie korzeniowym, aby w biologiczny sposób utrwalić efekt spulchnienia podglebia. W praktyce najczęściej uprawia się jednak buraki cukrowe i wówczas można po głęboszowaniu wysiać międzyplon ścierniskowy. Głęboszowanie można również wykonać późną jesienią, jako ostatni zabieg przed zimą, ale tylko w latach o małym uwilgotnieniu gleby w tym okresie.

Z uwagi na dużą energochłonność głęboszowania należy go stosować tylko na polach wskazujących wady w budowie profilu glebowego (zastoiska wodne wiosną oraz po większych opadach deszczu) oraz nie częściej niż co 3 – 5 lat. Na większości gleb głębsze spulchnianie gleby niż 40-45 cm jest nieuzasadnione, bo wraz ze wzrostem głębokości pracy głębosza drastycznie wzrasta zużycie paliwa. W przypadku pól zmeliorowanych głębokość spulchnienia powinna być o 10-15 cm mniejsza od głębokości zalegania drenów.



Rys. 4. Wymiana powietrza pomiędzy glebą a atmosferą oraz wzrost siewek roślin na glebie zaskorupionej (a) oraz przy braku skorupy (b)

Źródło: Schwappach, 2016.

Zanik struktury gleby przejawiający się spadkiem wodoodporności agregatów i zagęszczeniem gleby sprzyja powstawaniu skorupy glebowej po większych opadach deszczu. Skorupa glebowa nie tylko stawia mechaniczny opór dla kiełkujących nasion, ale również utrudnia wymianę gazową między glebą a atmosferą, nasila parowanie wody, a dodatkowo sprzyja rozwojowi chorób zgorzelowych siewek, co w sumie pogarsza zawartość łanu i obniża plon. W schematyczny sposób wpływ zaskorupienia gleby na wymianę powietrza pomiędzy glebą a atmosferą oraz wzrost roślin przedstawiono na rysunku 4 a i b.

**Ad. 2.** Ogólnie znana jest prawidłowość, że rośliny lepiej zaopatrzone w składniki pokarmowe zużywają mniej wody na wyprodukowanie jednostki suchej masy plonu, czyli efektywniej gospodarują wodą. Dobre zaopatrzenie roślin w składniki nawozowe sprzyja szybszemu ich wzrostowi, a w efekcie następuje szybsze zakrycie powierzchni gleby (zwarcie łanu), co ogranicza również parowanie wody z gleby.

Z agrochemicznych właściwości gleby, obok zawartości próchnicy, kluczowe znaczenie ma jej odczyn oraz zasobność w fosfor, potas i magnez. Od dostępności fosforu, wapnia i magnezu zależy zasięg i budowa, a szczególnie pokrycie włóśnikami, systemu korzeniowego. Korzenie dobrze odżywionych roślin wrastają w głębsze warstwy gleby, co przynajmniej częściowo uniezależnia je od okresowych niedoborów opadów. Spośród mikroelementów najsilniej na wzrost systemu korzeniowego roślin wpływa dobre zaopatrzenie roślin w cynk.

Z makroskładników szczególne znaczenie w usprawnianiu gospodarki wodnej roślin ma potas, który kontroluje turgor roślin i wiązek przewodzących oraz steruje ruchem aparatów szparkowych i dzięki temu rośliny racjonalniej gospodarują wodą. Potas jest także aktywatorem około 50 enzymów, które kształtują procesy fotosyntezy i oddychania. U roślin dobrze zaopatrzonych w potas podczas upału następuje szybsze zamykanie komórek szparkowych, co ogranicza transpirację. Wyniki doświadczeń zamieszczone w tabeli 5 wskazują, że dobre zaopatrzenie roślin buraka cukrowego w potas wyraźnie zwiększyło plon korzeni oraz koncentrację cukru a także zdecydowanie obniżyło jednostkowe zużycie

wody. Również wyniki doświadczeń z pszenżytem jarym wskazują wyraźnie na znaczenie nawożenia potasem dla plonowania tego zboża, a szczególnie duże przyrosty plonu uzyskano w latach z występowaniem stresu suszy (tab. 6).

Tab. 5. Wpływ nawożenia potasem na plon buraka cukrowego, zawartość cukru i zużycie wody

Nawożenie K g · wazon <sup>-1</sup>	Plon suchej masy g · wazon <sup>-1</sup>		Zawartość cukru (%)	Zużycie wody lkg <sup>-1</sup> suchej masy
	korzenie	liście		
0,20	42	56	15,1	522
0,78	78	64	16,6	364
2,72	109	59	17,6	314

Źródło: Gransee, 2012.

Tab. 6. Wpływ nawożenia potasem na plonowanie pszenżyta jarego (t·ha<sup>-1</sup>) w zależności od warunków wilgotnościowych w okresie wegetacji

Nawożenie K kg · ha <sup>-1</sup>	Warunki wilgotnościowe		
	optymalne	susza w fazie strzelania w źdźbło	susza w fazie kwitnienia i dojrzałości młeczej
0	4,5	2,1	2,9
120	6,0	4,9	5,5
Przyrost plonu (%)	35	133	90

Źródło: Grzebisz, [www.ipipotash.org/pdf/countrysp/polbrosch6](http://www.ipipotash.org/pdf/countrysp/polbrosch6)

W Polsce udział gleb o niskiej i bardzo niskiej zawartości potasu wynosi 41%, fosforu 31%, zaś gleby bardzo kwaśne i kwaśne stanowią 43% (Ochal, 2015). W tej sytuacji podstawowym działaniem agrotechnicznym, mogącym ograniczać negatywne skutki suszy w rolnictwie powinna być regulacja podstawowych agrochemicznych właściwości gleby. Uwzględniając zasobności naszych gleb wydaje się również, że stosunek N : P : K wynoszący w ostatnich latach średnio w kraju: 1 - 0,3 - 0,4 nie jest optymalny z punktu widzenia przeciwdziałania skutkom suszy.

Ogólnie można stwierdzić, że bez regulacji odczynu gleb nie można oczekiwać poprawy ich struktury, warunkującej wzrost polowej pojemności wodnej oraz usprawniającej gospodarkę wodną roślin, co może ograniczać ujemne skutki okresowych niedoborów wody. Warunkiem powstawania trwałej gruzełkowej struktury gleby jest odczyn gleby zbliżony do obojętnego lub obojętny oraz dostępność jonów Ca<sup>++</sup>, które tworzą trwałe połączenia pomiędzy koloidami glebowymi a związkami humusowymi posiadającymi ujemne ładunki elektryczne. Powstanie takiej struktury nie jest również możliwe na glebach bardzo lekkich o znikomej zawartości frakcji koloidalnej.

**Ad. 3.** Oddziaływanie zmianowania roślin na gospodarkę wodną jest wielostronne. Włączenie do uprawy większej liczby gatunków roślin, które różnią się terminami występowania faz krytycznej wrażliwości na suszę, stabilizuje wielkość produkcji roślinnej w latach. Duże znaczenie praktyczne może mieć także zastępowanie zbóż jarych oziminami, które lepiej wykorzystują zapasy wody pozimowej i reagują mniejszymi obniżkami plonów



na susze letnie, które często występują w ostatnich latach. Możliwości tu są znaczące, gdyż w produkcji zboża jare zajmują 40% całego areалу obsiewanego tą grupą roślin. Pewne znaczenie może mieć także zwiększenie areалу uprawy gatunków roślin o szlaku fotosyntezy  $C_4$  efektywniej gospodarujących wodą, spośród których dominujące znaczenie ma kukurydza.

W wielu gospodarstwach problem stanowi zbyt duży udział zbóż, a przede wszystkim pszenicy ozimej w strukturze zasiewów, co prowadzi do wysiewu jej po sobie lub innych zbożach. Konsekwencją takiego następstwa roślin jest duże nasilenie chorób systemu korzeniowego i podstawy źdźbła powodowanych przez pasożytnicze grzyby. W warunkach głębokiego stresu suszy rośliny z uszkodzonym systemem korzeniowym często wcześniej zasychają, co powoduje drastyczne spadki plonu. Potwierdzają to wyniki doświadczeń prowadzonych w Stacji Doświadczalnej IUNG w Osinach (tab. 7).

Tab. 7. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od zmianowania i przebiegu pogody – Osiny<sup>1</sup>

Wyszczególnienie	Zmianowanie*		
	norfolkskie Z**- Pj – B - Po	uproszczone Rz. – Po - Pj	monokultura pszenicy ozimej od 1992 r
Średni plon pszenicy (2001-2015) t ha <sup>-1</sup>	7,1	6,9	5,6
Rok bardzo suchy - 2006	4,4	3,4	2,4
Lata o korzystnym przebiegu pogody:			
2004	8,4	7,4	7,4
2008	7,5	7,4	6,7
2013	8,8	8,7	7,2
2014	8,6	8,6	7,9

<sup>1/</sup> Badania własne dane w takim ujęciu niepublikowane

<sup>\*/</sup> Z – ziemniak, Pj – pszenica jara, B – bobik, Rz – rzepak, Po – pszenica ozima.

<sup>\*\*/</sup> nawożenie obornikiem 30 t ha<sup>-1</sup>

W latach o korzystnym przebiegu pogody pszenica wysiewana w zmianowaniu uproszczonym plonowała na zbliżonym poziomie, jak w zmianowaniu norfolkskim, zaś w monokulturze jej wydajność była o około 10% mniejsza. W bardzo suchym 2006 roku jej plon nawet w zmianowaniu norfolkskim był mały, ale w zmianowaniu uproszczonym spadek plonu przekraczał 20%, zaś w monokulturze zebrano tylko około 2 t · ha<sup>-1</sup> pośladu.

**Ad.4.** Wystąpienie chorób lub szkodników uszkadza blaszki liściowe i rośliny tracą zdolność regulacji transpiracji, co dodatkowo pogłębia ich reakcję na stres suszy, natomiast chwasty wygrywają konkurencję o wodę z roślinami uprawnymi.

**Ad. 5.** Jedynym skutecznym sposobem ograniczania następstw suszy w rolnictwie jest nawadnianie. Na świecie nawadnia się około 20% UR, a największe powierzchnie takich upraw występują w Indiach i Chinach (Csaba, 2012). Szacuje się, że w skali globalnej z obszarów nawadnianych pozyskuje się około 40 - 50% żywności (Chmielewski, 2001, Csaba, 2012). Nawadnianie, to w większości rejonów, nie tylko wzrost plonów ale także poprawa jakości ziemiopłodów. W UE nawadnia się niespełna 10% upraw, a 85% tej powierzchni przypada na 5 państw: Francja, Grecja, Włochy, Portugalia i Hiszpania.

W praktyce jednoznacznie dominują nawodnienia powierzchniowe (zalewowowe, brzdowe lub stokowe), w których efektywność wykorzystania wody jest mała. Mniejsze znaczenie mają nawodnienia deszczowniane, a szczególnie kropelkowe zużywające



najmniej wody (Jezmach, 2009). Ogólnie można stwierdzić, że o racjonalności wykorzystania zasobów wody w rolnictwie decyduje poziom techniczny i organizacyjny kraju. W krajach rozwiniętych upowszechnia się systemy mikronawodnień, w których z wodą wprowadza się również składniki nawozowe, w postaci kropeł bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin, co zapewnia bardzo efektywne wykorzystanie wody i nawozów.

W Polsce powierzchnia nawadnianych gruntów jest znikoma, gdyż w 2014 r. wynosiła tylko 66 tys. ha, w 58 tys. ha przypadało na nawodnienia podsiąkowe użytków zielonych. Powierzchnia nawadnianych UR w 2014 r. była mniejsza o 75% w stosunku do 1990 r. (GUS, 2015). Uwzględniając wysokie ujemne wartości klimatycznego bilansu wodnego, szczególnie na obszarze Wielkopolski i Kujaw, należy założyć, że potrzeby nawodnień będą wzrastać. Rozwój nawodnień wymaga rozbudowy infrastruktury wodnej, w tym zbiorników retencyjnych. Z uwagi na małe zasoby wodne na tych obszarach preferowane powinny być mikronawodnienia, szczególnie cennych upraw towarowych (Jeznach, 2009).

## WNIOSKI

1. Możliwości poprawy gospodarki wodnej i zwiększenia zasobów wody dla potrzeb uprawianych roślin muszą być rozwiązywane w kompleksowy sposób w układzie obejmującym całe zlewnie. Konieczne jest gromadzenie możliwie dużej ilości wody w krajobrazie rolniczym poprzez zwiększenie małej retencji wodnej (śródpolne oczka wodne, bagna i mokradła, sztuczne zbiorniki w lokalnych zagłębieniach terenowych oraz urządzenia piętrzące na rowach melioracyjnych i ciekach wodnych) oraz stosowanie całokształtu agrotechniki umożliwiającej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów wody.
2. Możliwa jest pewna poprawa zdolności retencyjnej gleby poprzez wzrost zawartości próchnicy, poprawę struktury, likwidację zagęszczenia podglebia i regulację odczynu gleby.
3. Stosowanie całokształtu agrotechniki sprzyjającej efektywnemu wykorzystaniu zapasów wody glebowej, która obejmuje:
  - a. uprawę roli zmniejszającą ewaporację (parowanie wody z powierzchni gleby) - możliwie wczesne spulchnienie powierzchniowej warstwy gleby wiosną, stosowanie uprawy późniowej oraz mechanicznych zabiegów pielęgnacyjnych (bronowanie lub spulchnianie międzyrzędzi). Większe efekty można uzyskać dzięki stosowaniu innowacyjnych rozwiązań w technice uprawy roli i siewu, które obejmują uprawę bezorkową oraz mulczowanie powierzchni gleby międzyplonami lub resztkami późniowymi;
  - b. odpowiednie zaopatrzenie roślin w składniki nawozowe, co warunkuje mniejsze zużycie wody na jednostkę wytworzonego plonu. Szczególnie istotny jest fosfor oraz optymalny odczyn sprzyjające dobremu rozwojowi systemu korzeniowego oraz potas regulujący procesy otwierania i zamykania się aparatów szparkowych roślin;
  - c. likwidację nadmiernego zagęszczenia gleby (głęboszowanie), co ułatwia wsiąkanie wody opadowej oraz stwarza warunki do głębszego ukorzenienia się roślin i lepszego wykorzystania wody z głębszych warstw profilu glebowego;
  - d. ochronę roślin przed agrofagami, gdyż uszkodzenie roślin przez choroby lub szkodniki zwiększa transpirację i pogłębiają deficyt wody w roślinach, natomiast chwasty konkurują skutecznie z roślinami uprawnymi o wodę i inne czynniki środowiska;

- e. stosowanie całokształtu agrotechniki (terminy i ilości wysiewu, jakość materiału siewnego, dobre przedsięwzięcie przygotowanie roli itp.) stwarzającej warunki do użytkowania wyrównanych wschodów oraz możliwie szybkiego zwarcia się łąnów roślinnych, co ogranicza bezproduktywne straty wody z gleby (ewaporację);
- f. zastępowanie roślin jarych ozimymi, które lepiej wykorzystują zapasy wody pozimowej i reagują mniejszymi obniżkami plonów na susze letnie.

Proponowane rozwiązania mogą częściowo łagodzić skutki suszy i umożliwiać uzyskiwanie względnie dużych plonów w warunkach mniejszych niedoborów wody. Natomiast jedynym skutecznym sposobem ograniczania skutków suszy w rolnictwie jest nawadnianie upraw. W naszych warunkach konieczne wydaje się tworzenie również infrastruktury technicznej do stosowania mikronawodnień, szczególnie w przypadku najcenniejszych upraw towarowych.

## LITERATURA

- Buckman H. C., Brady N.C.: Gleba i jej właściwości. PWRiL Warszawa 1971.
- Chmielewski F.-M.: Wasserbedarf in der Landwirtschaft. W: Genug Wasser für alle? Wyd. L. Karbe & C.-D. Schönwiese 2001: 149-156.
- Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L.: Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2009, 9: 33-44.
- Csaba J., 2012: Wstęp do współczesnych metod nawadniania. [www.itp.edu.pl/nauka/konferencje/ko20111026](http://www.itp.edu.pl/nauka/konferencje/ko20111026)
- Cykl hydrologiczny: ([www.water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.htm](http://www.water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.htm)).
- Dębski K.: Hydrologia. Arkady, Warszawa 1970, ss.368.
- Doroszewski A. i in.: Podstawy systemu monitoringu suszy w Polsce. Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie, 2012, t. 12, z. 2:77-91.
- Dzięzyk J.: Potrzeby wodne roślin uprawnych. PWN Warszawa 1989.
- Faber A.: Środowiskowe uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce i Europie według symulacji CGMS. Pam. Puł., 2002, 130: 137-151.
- Geisler G.: Pflanzenbau. Velag. Paul Parey. 1988.
- Gransee, 2013: [www.amasone.de/files/Vortrag\\_Dr\\_Gransee\\_Leipzig.pdf](http://www.amasone.de/files/Vortrag_Dr_Gransee_Leipzig.pdf),
- Grzebisz W.: [www.ipipotash.org/pdf/countrysp/polbrosch6](http://www.ipipotash.org/pdf/countrysp/polbrosch6).
- GUS. Ochrona Środowiska. Warszawa 2015.
- Jankowiak J., Bieńkowski J.: Kształtowaniem i wykorzystaniem zasobów wodnych w rolnictwie. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2011, 5: 39-48.
- Jeznach J.: Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2009, 6: 83-94.
- Kędziora A., Kępińska-Kasprzak, Kowalczyk P., Kundzewicz Z., Miler A., Pierzgałski E., Tokarczyk T.: Zagrożenia związane z niedoborem wody. Nauka, 2014, 1: 149.
- Kowalczyk P.: Zagrożenia związane z deficytem wody. Wyd. Kurpisz Poznań, 2008.
- Körschens M. i in., 2013: Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long term field experiments of the twenty-first century. Archives of Agronomy and Soil Science, 59, 8, 1012-1040.

- Kundzewicz Z., Kozyra J.: Ograniczenie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, 7: 68-81.
- Kuś J., Nawrocki S.: Produkcyjność różnych gleb w doświadczeniach mikropoletkowych. I. Plonowanie roślin. *Pam. Puł.*, 1983, 79: 7-25.
- Kuś J.: Wpływ glebowej materii organicznej na gospodarkę wodną gleby. W. *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*. Wyd. CDR Brwinów, 2016. 195-212.
- Lorenc H., 2013: [www.gwppl.org/data/uploads/prezentacje.pdf](http://www.gwppl.org/data/uploads/prezentacje.pdf).
- Majewski W.: Woda – jakim celom służy i jak ją wykorzystywać. Wyd. PAN, Warszawa, 2008, ss.78.
- Miatkowski Z.: Wpływ zabiegów agromelioracyjnych na właściwości fizyczno-wodne gleb zwięzłych oraz ukorzenie i plon roślin. *Bibl. Wiadomości IMUZ*, 2001, 99: ss.103.
- Ochal P.: Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. *Studia i Raporty IUNG – PIB*, 2015, 45(19): 9-25.
- Paluszek J.: Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 2011 (2), ss.122.
- Ryszkowski L., Bałazy S., Kędzióra A.: Kształtowanie ochrona zasobów wodnych na obszarach wiejskich. *Zakł. Bad. Środ. Roln. i Leśn.* PAN, Poznań, 2003, ss.70.
- Schwappach P., 2016: [www.aktiongrundwasserschutz.de/fileadmin/user\\_upload/Bilder\\_11.2016.pdf](http://www.aktiongrundwasserschutz.de/fileadmin/user_upload/Bilder_11.2016.pdf).

## THE ROLE OF HABITAT AND AGRICULTURAL TECHNOLOGY IN IMPROVEMENT OF PLANT WATER MANAGEMENT.

**Summary.** The impact of granulometric composition, density and structure of soil on its retention capacity was evaluated in this study. Also water needs of the most important crop species on the background of the average multi-year rainfall has been presented. It has been shown that increasing the water resources for crops requires complex solutions, including: collection of as much water as possible in the agricultural landscape by increasing the small retention, improving soil retention capacity by the increase of humus content in the soil as well as the use of the agricultural technology which allows the efficient use of available water resources. No-till systems combined with mulching of the soil surface with crop residues and intercrops, optimal fertilization and protection against pests are agricultural technology elements of particular importance.

**Keywords:** water management, water retention, field water capacity, water available for plants, the rate of transpiration, water balance, soil structure, soil compaction, humus, irrigation

# SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI W NAWODNIENIACH UPRAW ROLNICZYCH

Rafał Wawer<sup>1</sup>, Mariusz Matyka<sup>1</sup>, Artur Łopatka<sup>1</sup>, Jerzy Kozyra<sup>1</sup>

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zarys problematyki optymalizacji nawodnień rolniczych oraz przedstawiono szczegółowo proces tworzenia zaawansowanego systemu wspierania decyzji dla nawodnień rolniczych ENORASIS, oparty o technologię bezprzewodowej sieci czujników, zaawansowane modele prognostyczne oraz dane satelitarne. Budowę systemu rozpoczęto od określenia potrzeb użytkowników końcowych, którymi są rolnicy, doradcy rolniczy oraz instytucje zarządzające wodą. W oparciu o analizę przypadków użycia opracowano architekturę systemu, interfejsy użytkowników i algorytmy, zliczające wszystkie dane wejściowe: aktualna wilgotność gleby, gatunek gleby, gatunek rośliny uprawnej, dane meteorologiczne, prognozy meteorologiczne na 3 dni dla danego gospodarstwa; i 3-dniowy plan nawodnieniowy dla każdej sekcji nawodnieniowej w danym gospodarstwie. System ENORASIS został przetestowany poprzez 5 wdrożeń pilotażowych w Polsce, Serbii, Turcji i na Cyprze. Wyniki 2-letniego okresy testów w gospodarstwach oraz na dwóch doświadczeniach ścisłych wskazują na wysoką użyteczność opracowanego systemu wspierania decyzji ENORASIS i wysokie oceny jego przydatności dane przez rolników. Zanotowano zarówno wzrost plonu, jak i jego jakości oraz znaczne, sięgające 90%, oszczędności wody.

**Słowa kluczowe:** nawodnienia rolnicze, systemy wspierania decyzji, bezprzewodowe sieci czujników, ENORASIS, modele pogody, wdrożenia pilotażowe, ICT w rolnictwie, zmiany klimatu, mała retencja

## WPROWADZENIE

Na rynku istnieje wiele rozwiązań doradczych służących optymalizacji nawodnień w rolnictwie. Większość z dostępnych rozwiązań opiera się na dalece niedoskonałych obliczeniach parowania (Car i in., 2001; Israelson i Hansen, 2962; FAO, 1984) i skupia się jednak jedynie na maksymalizacji plonu, nie uwzględniając rachunku ekonomicznego oraz konieczności oszczędzania wody (McCown, 2002).

Najczęściej stosowaną metodą określania potrzeb nawodnień, stosowaną przez rolników pozostaje w praktyce metoda organoleptyczna, bądź oparta o obserwację stanu uwilgotnienia gleby bądź stanu rośliny (Barton, 2010). Organoleptycznie rolnik jest w stanie z grubsza ocenić na podstawie własnego doświadczenia, kiedy nawadniać. Decyzja ile

<sup>1</sup> Rafał Wawer – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: huwer@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Mariusz Matyka – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: mmatyka@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Artur Łopatka – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: artur.lopotka@iung.pulawy.pl

<sup>1</sup> Jerzy Kozyra – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: kozyr@iung.pulawy.pl

nawadniać zwykle opiera się na założeniu wysycenia gleby wodą, tj. nawadnianiu do pełnej pojemności wodnej gleby, której osiągnięcie objawia się pojawianiem zastoisk wody na powierzchni gleby. Z oczywistych względów metoda organoleptyczna jest dalece niedoskonała. Po pierwsze rolnik decyduje na podstawie własnego doświadczenia, nie partego jakimkolwiek pomiarem bezwzględny wilgotności w glebie, po drugie często po okresie posuszny opady deszczu zwilżają tylko wierzchnią część poziomu orno-próchnicznego, więc ocena uwilgotnienia powierzchni gleby może sugerować dostatek wody podczas gdy 5cm poniżej warstwy uwilgotnionej występuje przesuszenie profilu glebowego. Podlewanie uprawy do osiągnięcia nasycenia gleby jest nieekonomicznie jak i szkodliwe dla środowiska. Woda z gleby nasyconej (wszystkie kapilary i pory nasycone wodą) odcieknie zwykle w ciągu 1 doby do zawartości wilgoci odpowiadającej połowej pojemności wodnej. Rolnik traci całą tę nadmiarową objętość wody wraz z nawozami łatwo rozpuszczalnymi jak K i N, które trafiają do wód gruntowych, zanieczyszczając je.

Na rynku europejskim oferta narzędzi do racjonalnej optymalizacji nawodnień w rolnictwie jest wciąż niewystarczająca. Dlatego też Komisja Europejska zdecydowała o finansowaniu projektu ENORASIS, który miał na celu wdrożenie innowacyjnego, opartego o nowoczesne narzędzia informatyczne i telekomunikacyjne (ICT), systemu i usług wspomagania decyzji (DSS) (Mallach, 2000) dla zrównoważonego nawadniania upraw.

ENORASIS ma za zadanie wspierać rolnika w podejmowaniu decyzji o tym kiedy i ile nawadniać. Tworzony system informatyczny określa potrzeby nawodnienia upraw na podstawie modeli matematycznych z wykorzystaniem bieżących warunków meteorologicznych, zdjęć satelitarnych, prognozy pogody na kolejne dni oraz ciągłych pomiarów wilgotności gleby pod uprawą. System przeprowadza obliczenia uwzględniając racjonalność i opłacalność wykonania nawodnienia biorąc pod uwagę optymalizację plonu oraz cenę wody i energii potrzebną do zasilania pomp. Informacja o terminie i dawce wody potrzebnej do nawodnienia jest przesyłana do rolnika przez sieć telefonii komórkowej za pomocą krótkiej wiadomości tekstowej (SMS) oraz jest dostępna w Internecie po zalogowaniu się na stronach systemu ENORASIS. Rolnik ma również możliwość przesłania informacji o uprawie do systemu za pomocą SMS i strony internetowej tak aby mógł on dopasować zalecenia do indywidualnych potrzeb użytkowników.

Nowością tworzonego systemu jest wyposażenie pilotażowych obiektów w bezprzewodową sieć czujników wilgotności gleby, które będą poprzez sieć telefonii komórkowej przysyłać wyniki pomiarów wilgotności gleby bezpośrednio do platformy ENORASIS. O tym kiedy i ile nawadniać będzie musiał zdecydować jednak sam zainteresowany choć partnerzy wykonujący projekt oferują już teraz możliwość odkręcania za rolnika „kurka z wodą”, za pomocą sterowanego przez Internet elektrozaworu. Wszystko to ma na celu ograniczenie zużycia wody wykorzystywanej do nawodnień, której zasoby nie tylko w Turcji i Grecji ale również w Polsce są ograniczone.

System został pozytywnie zweryfikowany w 5 gospodarstwach pilotażowych, położonych w Turcji (bawełna i kukurydza na ziarno), na Cyprze (grejpfrut), w Serbii (jabłka, czereśnie) i w Polsce (ziemniak, kukurydza na ziarno, malina wczesna, malina późna). Podczas zorganizowanych w ramach projektu warsztatów z rolnikami i doradcami rolniczymi zebrano entuzjastyczne opinie zarówno o wysokiej praktycznej przydatności systemu w zarządzaniu nawodnieniami jaki i przyjaznym interfejsie użytkownika.

## ARCHITEKTURA SYSTEMU ENORASIS

Według najlepszych praktyk budowania systemów informatycznych, każdy system powinien być tworzony w oparciu o analizę potrzeb użytkownika (Wixed i Ramey, 1996; Power, 2007). Na podstawie wyników tej analizy opracowuje się tzw. przypadki użycia, obrazujące postępowanie użytkownika z systemem. Przypadki użycia pozwalają zdefiniować niezbędne przepływy informacji, opracować architekturę systemu oraz przygotować interfejs użytkownika systemu tak, by jego obsługa była jak najbardziej intuicyjna (Zahedi i in., 2008).

Najogólniej mówiąc działanie systemu polega na zbieraniu danych z czujników polowych oraz serwerów dostarczających prognozę pogody dla danego obszaru oraz przeliczaniu tych danych na aktualny deficyt wody dla poszczególnej uprawy w danej lokalizacji (rys. 1). Deficyt stanowi podstawę do dalszych wyliczeń, uwzględniających optymalizację ekonomiczną produkcji. Wynikiem działania modułu systemu wspomagania decyzji (DSS) jest plan nawodnieniowy na najbliższy dzień, uwzględniający prognozę pogody (opad i parowanie) na następne 3 dni.

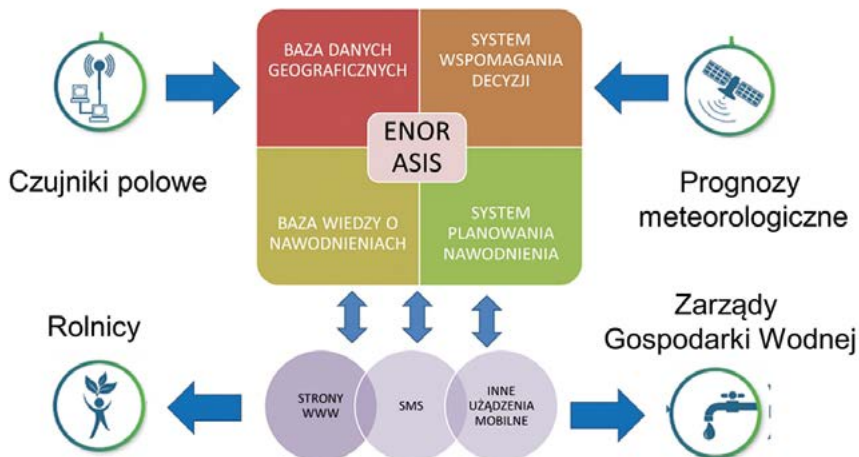
System jest oparty o rozległą bazę danych charakterystyk:

- Roślin uprawnych;
- Gleb;
- Systemów nawodnieniowych.

Implementacja systemu oparta została o architekturę usług (SOA) , realizowanych przez serwery:

- Pośredniczące w transferze danych, zbierające dane od bezprzewodowych sieci czujników, wysyłanych via GPRS zlokalizowane w Serbii, Turcji i Polsce;
- Wykonujące prognozę pogody na bazie Weather Research & Forecasting model. Serwery zlokalizowane w Niemczech, Francji i Grecji, każdy realizujący inną konfigurację modelu prognostycznego;
- Serwer SUPSI SOS, stanowiący implementację Open Source otwartego standardu OGC Sensor Obserwator Service (OGC SOS), który pobiera dane ze wszystkich serwerów pośredniczących, przekształcając je do jednego formatu zgodnego ze standardem OGC SOS;
- Serwer realizujący rozbudowany moduł Systemu Wspierania Decyzji, zlokalizowany w Rumunii;
- Serwer udostępniający aplikację GIS dla doradców rolniczych <http://gis.enorasis.eu/>
- Serwer udostępniający środowiska użytkownika [www http://app.enorasis.eu](http://app.enorasis.eu)
- Serwer udostępniający środowisko użytkownika w wersji mobilnej na system Android.





Rys. 1. Schemat ideowy budowy systemu ENORASIS

System realizuje potrzeby dwóch grup użytkowników końcowych: rolników oraz instytucji zarządzających wodą. Rolnikom zapewnia informację kiedy i ile nawadniać a zarządców wód – jakie są prognozy zużycia wody w sektorze rolniczym, co pozwala lepiej zarządzać jej zasobami, zgodnie z zapisami Ramowej Dyrektywy Wodnej.

## ALGORYTMY DECYZYJNE ENORASIS

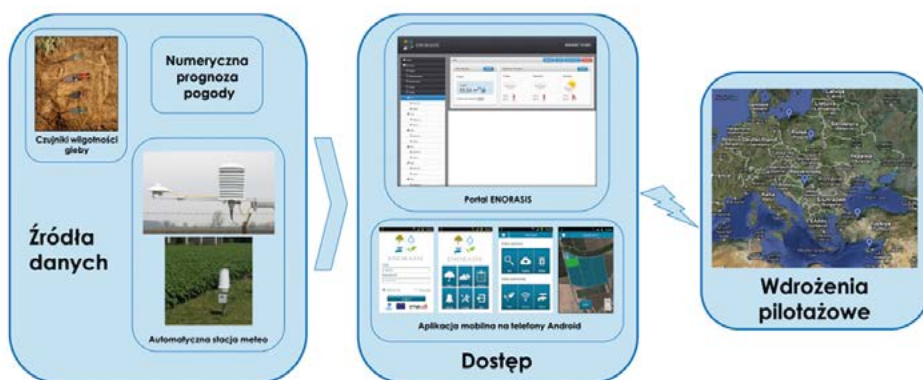
System wspomagania decyzji dotyczących nawadniania ułatwia rolnikowi decydowanie w dwu kwestiach: momentu w którym należy nawadniać oraz ilości wody którą należy zużyć w pojedynczym nawodnieniu. Obie te decyzje są oczywiście ze sobą powiązane a mianowicie im nawodnienia są częstsze tym zużywana w każdym z nich ilość wody powinna być mniejsza. Odpowiedź na pytanie którą ze strategii nawadniania wybrać: nawadniać często i mało czy nawadniać rzadko i dużo, jest trudna. Gleba ma zdolność zatrzymywania wody, która jest tym większa im więcej jest w niej cząstek drobnoziarnistych i próchnicy. Gleby piaszczyste zatrzymują niewiele wody a przy tym woda przesącza się przez nie szybko wymywając składniki pokarmowe. Gleby gliniaste zatrzymują dużo wody, lecz wsiąka ona w nie wolno.

Częste i małe nawodnienia mają tą zaletę, że w przypadku roślin płytko ukorzenionych lub na glebach piaszczystych o małej pojemności wodnej, nie stwarzają ryzyka strat wody w wyniku odpływu w głąb poza zasięg korzeni roślin, a na glebach gliniastych o dużej pojemności wodnej, w szczególności nachylonych, ograniczają ryzyko spływu powierzchniowego. Nawadnianie małymi ilościami wody pozwala ograniczyć ilość zużywanej do nawodnień wody poprzez pełniejsze wykorzystanie wody pochodzącej z opadów. Częste nawadnianie zwłaszcza gdy nie jest w pełni zautomatyzowane jest jednak czasochłonne, bardziej energochłonne a w sytuacjach ograniczeń w dostępie do wody może stwarzać poważne ryzyko wyczerpania zasobów wody dostępnej dla roślin w glebie i w efekcie spadku

plonów. Dlatego wybór strategii nawadniania zależy od posiadanego systemu nawodnień, jego energochłonności, stopnia automatyzacji, ciągłości dostępu do wody dla nawodnień, cen wody i energii w stosunku do przychodu z plonów, zasięgu korzeni roślin, rodzaju gleb i ukształtowania terenu. System wspomaganie decyzji DSS (ang. *Decision Support System*) opracowany w ramach projektu ENORASIS pozwala na wybór dwu trybów nawodnień korespondujących z opisanymi powyżej strategiami.

## WDROŻENIA PILOTAŻOWE ENORASIS

Wdrożenia pilotażowe założono w celu weryfikacji w warunkach ścisłych doświadczeń poletkowych oraz pól produkcyjnych poprawności funkcjonowania oraz efektywności ekonomicznej i środowiskowej opracowanego w ramach projektu ENORASIS systemu wspomaganie decyzji w zakresie nawadniania, opartego o bezprzewodową sieć czujników, automatyczne stacje meteorologiczne oraz prognozę pogody (rys. 2).

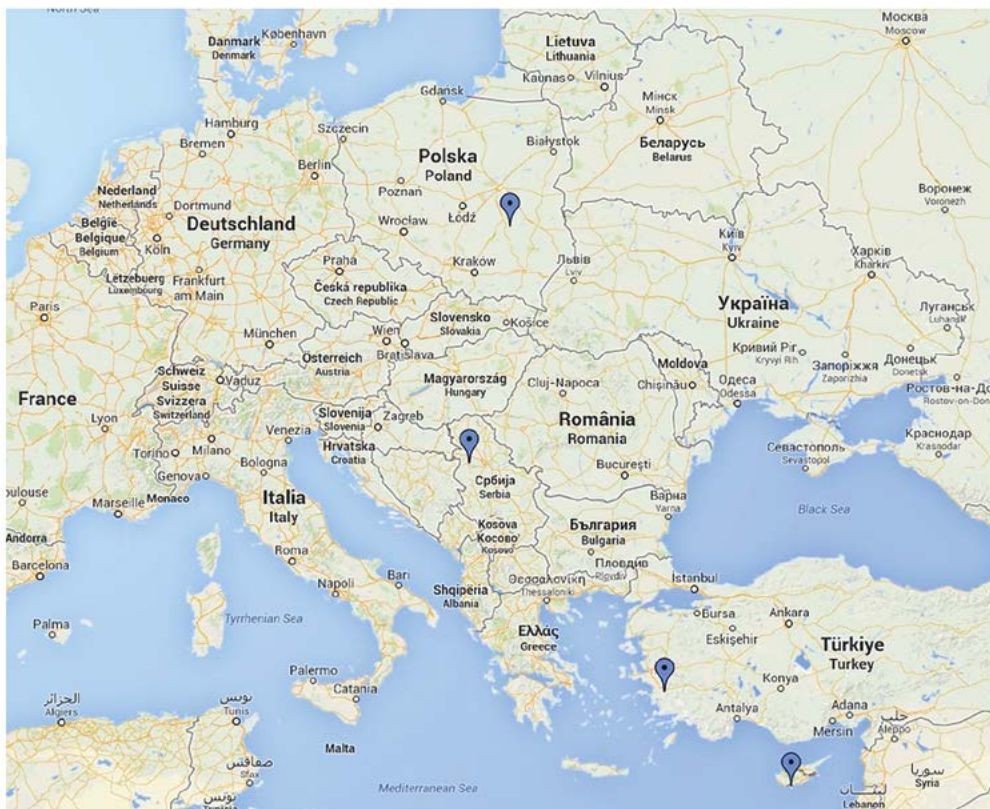


Rys. 2. Implementacja pilotażowa systemu ENORASIS

Mając na uwadze zróżnicowanie warunków glebowo-klimatycznych w Europie oraz wynikających z nich potrzeb w zakresie nawadniania wdrożenia zlokalizowano w 4 krajach (tab. 1, rys. 3).

Tab. 1. Lokalizacja i główne charakterystyki wdrożeń pilotażowych

Wyszczególnienie	Pilotaż 1		Pilotaż 3		Pilotaż 4		Pilotaż 5
Kraj	Polska		Serbia		Turcja		Cypr
Roślina doświadczalna	Ziemniak	Kukurydza	Jabłoń (Breaburn)	Czereśnia (Burlat)	Kukurydza	Bawełna	Grejpfrut
Typ wdrożenia	Doświadczenie poletkowe		Pole produkcyjne		Doświadczenie poletkowe		Pole produkcyjne



Rys. 3. Geograficzne rozmieszczenie wdrożeń projektu ENORASIS

## CHARAKTERYSTYKA WDROŻEŃ PILOTAŻOWYCH

### Polska

Doświadczenie poletkowe zlokalizowano w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB w Grabowie. Obiekt założono w układzie losowanych podbloków (ang. *split plot*), w trzech powtórzeniach (rys. 4). Łączna powierzchnia eksperymentu wynosiła 0,8 ha brutto, z czego powierzchnia netto 0,6 ha. Roślinami doświadczalnymi były ziemniaki konsumpcyjne i kukurydza uprawiana na ziarno. W schemacie doświadczenia uwzględniono objekty:

- bez nawadniania,
- nawadnianie przy pomocy sytemu wspomagania decyzji.



Rys. 4. Schemat doświadczenia poletkowego w Grabowie w 2013 r.

### Turcja

Doświadczenie poletkowe zlokalizowano w Gospodarstwie Doświadczalno-Wdrożeniowym Wydziału Rolnictwa Uniwersytetu im. Adnan Menderes. Obiekt założono w układzie losowanych podbloków (ang. *split plot*), w trzech powtórzeniach (rys. 5). Łączna powierzchnia eksperymentu wynosiła 1 ha, a roślinami doświadczalnymi była bawełna i kukurydza uprawiana na ziarno. W schemacie doświadczenia uwzględniono objekty:

- nawadnianie bez systemu wspomaganie,
- nawadnianie przy pomocy systemu wspomaganie decyzji.



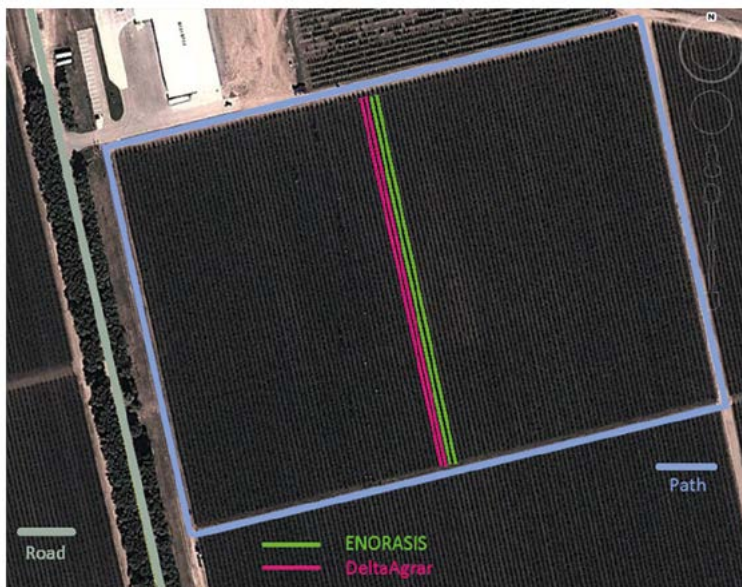


Rys. 5. Schemat doświadczenia poletkowego w Turcji w 2013 r.

## Serbia

Wdrożenie zlokalizowano w specjalistycznym gospodarstwie sadowniczym Delta Agrar ukierunkowanym na produkcję czereśni i jabłek konsumpcyjnych. Ogólna powierzchnia gospodarstwa wynosi około 400 ha, posiada ono również własną bazę przechowalniczą i logistyczną.

System wspomaganie decyzji w zakresie nawadniania (ENORASIS) wykorzystano w uprawie jabłoni i czereśni. Wdrożony on został na 2 rzędach każdego z gatunków, a jego efekty były porównywane z osiąganymi na sąsiednich rzędach nawadnianych w sposób tradycyjny (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Schemat wdrożenia systemu ENORASIS w Serbii w uprawie jabłoni w 2013 r.

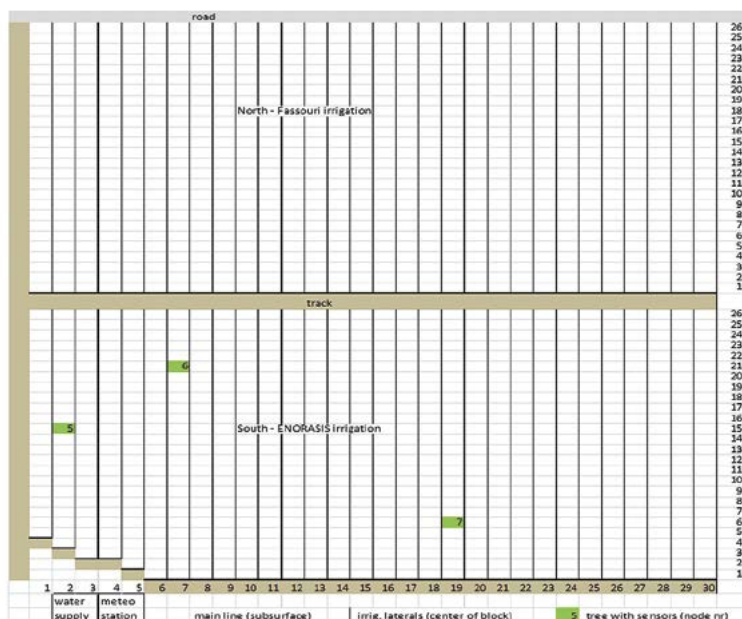


Rys. 7. Schemat wdrożenia systemu ENORASIS w Serbii w uprawie czereśni w 2013 r.

## Cypr

Wdrożenie umiejscowione na Cyprze jest co do zasady zbieżne ze schematem zastosowanym w Serbii. Zostało ono wdrożone w sadzie grejpfrutowym o powierzchni 4,4 ha, który był podzielony na dwie równe części po około 2,2 ha (rys. 8). W jednej z części drzewa owocowe nawadniano w sposób dotychczasowy (tradycyjny) w drugiej natomiast zgodnie ze wskazaniami systemu wspomagania decyzji ENORASIS.





Rys. 8. Schemat wdrożenia systemu ENORASIS na Cyprze w uprawie grejfruta w 2013 r.

## GROMADZONE DANE I WSKAŹNIKI OCENY

W trakcie prowadzenia wdrożeń pilotażowych w każdym z systemów<sup>2</sup> gromadzono w latach 2013-2014 dane dotyczące:

- plonowania roślin [t/ha],
- cen zbytu ziemiopłodów [Euro/t],
- zużycia wody [m<sup>3</sup>/ha],
- kosztów wody [Euro/m<sup>3</sup>],
- zużycia energii [Kwh],
- kosztów energii [Euro/Kwh].

Zgromadzone dane posłużyły do skonstruowania wskaźników umożliwiających ocenę przydatności system wspomaganie decyzji opracowanego w ramach projektu ENORASIS. Do tego celu wykorzystano następujące wskaźniki:

### Agro-środowiskowe

- Zużycie wody na jednostkę plonu [m<sup>3</sup>/t],
- Zużycie wody na jednostkę przyrostu plonu [m<sup>3</sup>/t]

### Ekonomiczne

- Koszty zużycia wody na jednostkę plonu [Euro/t],
- Koszty zużycia energii na jednostkę plonu [Euro/t],

<sup>2</sup> bez nawadniania,  
nawadnianie bez systemu wspomaganie,  
nawadnianie przy pomocy systemu wspomaganie decyzji.

- Efektywność ekonomiczna nawadniania [Euro/t],
- Wskaźniki jakości plonu.<sup>3</sup>

## EFEKTY EKONOMICZNE I ŚRODOWISKOWE

Podstawową rolą systemu nawadniania jest w zależności od warunków glebowo-klimatycznych stworzenie lub poprawa warunków wzrostu roślin, a przez to ich plonowania. Konstruowany w projekcie system DSS ma dodatkowo za zadanie umożliwić optymalizację zużycia wody i poprawę efektywności ekonomicznej uprawy.

W warunkach Polski dzięki wykorzystaniu systemu DSS plony kukurydzy wzrosły o 61%, a ziemniaka o 110% w porównaniu do obiektu bez nawadniania (tab. 2). Uzyskane wyniki wskazują, że dzięki wykorzystaniu systemu DSS w znacznym stopniu można zwiększyć plonowanie badanych roślin w Polsce. W Turcji na obiekcie z systemem DSS odnotowano natomiast niewielką zwyżkę plonów kukurydzy (3%) i spadek plonów bawełny (2%).

W Serbii i na Cyprze wdrożenie systemu miało na celu przetestowanie niezawodności poszczególnych komponentów, m.in. funkcjonowania systemu w przypadku awarii lub braku wody w rurociągu. Z tego powodu w skali sezonu wegetacyjnego nie odnotowano różnic w wysokości nawodnienia a więc i w plonach, ani innych wartościach KPI pomiędzy obiektami z DSS i bez tego systemu.

Tab. 2. Plonowanie roślin w zależności od systemu nawadniania

Wyszczególnienie		Nie nawadniane	Nawadniane tradycyjnie	Nawadniane z systemem DSS	Różnica
<b>POLSKA</b>					
Kukurydza	t/ha	6,9	<	10,6	3,7
	%	100	<	154	54
Ziemniak	t/ha	38,0	<	79,8	41,8
	%	100	<	210	110
<b>TURCJA</b>					
Kukurydza	t/ha	x	12,3	12,6	0,3
	%		100	103	3
Bawełna	t/ha	x	6,1	6,0	-0,1
	%		100	98	-2
<b>SERBIA</b>					
Jabłoń	t/ha	x	92,0	92,0	0,0
Czereśnia	t/ha	x	4,0	4,0	0,0
<b>CYPR</b>					
Grejpfrut	t/ha	x	56,5	56,5	0,0

<sup>3</sup> gromadzone w Polsce i Turcji

Najwyższe zużycie wody na jednostkę plonu w roku 2014 odnotowano w Polsce w uprawie kukurydzy (tab. 3). Wynikało to z uszkodzenia systemu nawadniającego i znacznego zalania tej rośliny. W przypadku ziemniaków ilość zużytej wody należy uznać za umiarkowaną, szczególnie w kontekście znacznego (110%) zwiększenia plonów. Natomiast w przypadku Turcji, gdzie nie odnotowano znaczących zmian plonowania, zastosowanie systemu DSS umożliwiło znaczne oszczędności wody.

Tab. 3. Zużycie wody na jednostkę plonu (m<sup>3</sup>/t)

Wyszczególnienie		Nie nawadniane	Nawadniane tradycyjnie	Nawadniane z systemem DSS	Różnica
<b>POLSKA</b>					
Kukurydza	t/ha	0	<	180,1	180,1
Ziemniak	t/ha	0	<	28,7	28,7
<b>TURCJA</b>					
Kukurydza	t/ha	X	19,8	5,6	-14,2
	%	X	100	28,2	-72,0%
Bawełna	t/ha	X	37,3	28,0	-9,3
	%	X	100	75,1	-24,9%
<b>SERBIA</b>					
Jabłoń	t/ha	X	3,3	3,3	0,0
Czereśnia	t/ha	X	23,8	23,8	0,0
<b>CYPR</b>					
Grejpfrut	t/ha	X	11,5	11,5	0,0

Najwyższe koszty nawadniania na jednostkę plonu poniesiono w Polsce w uprawie kukurydzy, najniższe zaś w Serbii w produkcji jabłek (tab. 4).

Tab. 4. Koszty zużycia wody na jednostkę plonu (Euro/t)

Wyszczególnienie		Nie nawadniane	Nawadniane tradycyjnie	Nawadniane z systemem DSS	Różnica
<b>POLSKA</b>					
Kukurydza		0	<	9,0	9,0
Ziemniak		0	<	1,4	1,4
<b>TURCJA</b>					
Kukurydza		x	1,35	1,31	-0,04
Bawełna		x	2,71	2,75	+0,04
<b>SERBIA</b>					
Jabłoń		x	0,03	0,03	0,00

Czereśnia	x	0,22	0,22	0,00
<b>CYPR</b>				
Grejfrut	x	0,8	0,8	0,0

Odmienne przedstawia się natomiast sytuacja w odniesieniu do kosztów energii elektrycznej, które były najniższe w Polsce, a najwyższe w Serbii w uprawie czereśni (tab. 5). Odnotowane różnice w kosztach wody i energii warunkowane były w dużej mierze zróżnicowaniem ich cen w poszczególnych krajach.

Tab. 5. Koszty zużycia energii do nawadniania na jednostkę plonu (Euro/t)

Wyszczególnienie	Nie nawadniane	Nawadniane tradycyjnie	Nawadniane z systemem DSS	Różnica
<b>POLSKA</b>				
Kukurydza	0	<	1,50	1,50
Ziemniak	0	<	0,25	0,25
<b>TURCJA</b>				
Kukurydza	x	0,52	0,37	-0,15
Bawełna	x	0,95	0,96	0,01
<b>SERBIA</b>				
Jabłoń	x	0,64	0,64	0,00
Czereśnia	x	4,7	4,7	0,0
<b>CYPR</b>				
Grejfrut	x	x	x	x

Najwyższym przychodem oraz efektywnością ekonomiczną cechowała się produkcja jabłek w Serbii, najniższą natomiast kukurydzy w Polsce (tab. 6 i 7). Zastosowanie systemu DSS pozwoliło na znaczne zwiększenie opłacalności uprawy badanych roślin w Polsce. W przypadku Turcji w obiekcie z DSS opłacalność uprawy kukurydzy uległa niewielkiemu zwiększeniu, zmniejszyła się zaś w uprawie bawełny. Na przedstawione relacje ekonomiczne oprócz systemu nawadniania miało wpływ również szereg innych czynników, do których można zaliczyć: poziom plonowania, ceny zbytu, jakość produktów itp.

Tab. 6. Przychody w zależności od system nawadniania (Euro/ha)

Wyszczególnienie	Nie nawadniane	Nawadniane tradycyjnie	Nawadniane z systemem DSS	Różnica
<b>POLSKA</b>				
Kukurydza	1 071	<	1 654	583
Ziemniak	6 877	<	17 226	10349

<b>TURCJA</b>				
Kukurydza	x	2 450	2520	70
Bawełna	x	3 632	3 572	-60
<b>SERBIA</b>				
Jabłoń	x	31 280	31 280	0
Czereśnia	x	6 800	6 800	0
<b>CYPR</b>				
Grejpfrut	x	22 600	22 600	0

Tab. 7. Efektywność ekonomiczna nawadniania\* (Euro/ha)

<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Nie nawadniane</b>	<b>Nawadniane tradycyjnie</b>	<b>Nawadniane z systemem DSS</b>	<b>Różnica</b>
<b>POLSKA</b>				
Kukurydza	1 071	<	1 533	462
Ziemniak	6 831	<	14 221	7390
<b>TURCJA</b>				
Kukurydza	x	2 427	2 499	72
Bawełna	x	3 623	3 563	-60
<b>SERBIA</b>				
Jabłoń	x	31 193	31 193	0
Czereśnia	x	6 780	6 780	0
<b>CYPR</b>				
Grejpfrut	x	22 555	22 555	0

\* przychody minus koszty wody i energii

Oprócz poziomu plonowania bardzo ważna jest również jakość produktów rolniczych, która w znacznym stopniu decyduje o uzyskiwanej cenie.

Wyniki doświadczenia polowego w Polsce wskazują, że zastosowanie nawodnienia, a w szczególności systemu DSS wpłynęło na poprawę jakości plonów badanych roślin (tab. 8 i 9). Zwiększył się udział suchej masy w kolbach kukurydzy oraz wzrosła masa tysiąca ziaren. W przypadku ziemniaka znacznie wzrósł udział plonu przeznaczanego na konsumpcję oraz zmniejszyło się porażenie przez choroby.

Również w przypadku Turcji na obiekcie z systemem DSS masa tysiąca ziaren była wyższa niż przy nawadnianiu manualnym (tab. 10). Natomiast nie odnotowano znaczących zmian parametrów jakościowych w przypadku bawełny (tab. 11).

Tab. 8. Parametry jakościowe kukurydzy w Polsce

System nawadniania	Powtórzenie	Sucha masa kolb (%)	Masa tysiąca ziaren (g)
Nawadniane z systemem DSS	I	65	300
	II	62	274
	III	67	308
	<b>średnia</b>	<b>65</b>	<b>294</b>
Nie nawadniane	I	62	272
	II	57	289
	III	59	266
	<b>średnia</b>	<b>59</b>	<b>276</b>

Tab. 9. Parametry jakościowe ziemniaka w Polsce

System nawadniania	Powtórzenie	Udział bulw przeznaczonych na konsumpcje [%]	Udział bulw porażonych przez choroby [%]
Nawadniane z systemem DSS	II/1	71	10
	II/2	68	10
	III/3	76	10
	III/3	72	15
	<b>średnia</b>	<b>72</b>	<b>11</b>
Nie nawadniane	II/1	42	32
	II/2	39	30
	III/3	59	30
	III/3	63	20
	<b>średnia</b>	<b>51</b>	<b>28</b>

Tab. 10. Parametry jakościowe kukurydzy w Turcji

System nawadniania	Parametr jakościowy	Wartość
Nawadniane z systemem DSS	Masa tysiąca ziaren (g)	395
Nawadniane tradycyjnie	Masa tysiąca ziaren (g)	383



Tab.11. Parametry jakościowe bawełny w Turcji

System nawadniania	Parametr jakościowy	Wartość
Nawadniane z systemem DSS	Wskaźnik wytrząsania (%)	73.99
	Średnia masa nasion z kokonu (g)	7.60
Nawadniane tradycyjnie	Wskaźnik wytrząsania (%)	74.59
	Średnia masa nasion z kokonu (g)	7.80

## POSUMOWANIE WDROŻENIA PILOTAŻOWEGO ENORASIS

W warunkach Polski dzięki wykorzystaniu systemu DSS plony kukurydzy wzrosły o 61% i ziemniaka o 110% w porównaniu do obiektu bez nawadniania. Uzyskane wyniki wskazują, że dzięki wykorzystaniu system DSS w znacznym stopniu można zwiększyć plonowanie badanych roślin w Polsce. W Turcji na obiekcie z systemem DSS odnotowano natomiast niewielką zwyżkę plonów kukurydzy (3%) i spadek plonów bawełny (2%).

Wyniki doświadczenia polowego w Polsce wskazują, że zastosowanie nawodnienia, a w szczególności systemu DSS wpłynęło na poprawę jakości plonów badanych roślin (tab. 8 i 9). Zwiększył się udział suchej masy w kolbach kukurydzy oraz wzrosła masa tysiąca ziaren. W przypadku ziemniaka znacznie wzrósł udział plonu przeznaczonego na konsumpcję oraz zmniejszyło się porażenie przez choroby.

Również w przypadku Turcji na obiekcie z systemem DSS masa tysiąca ziaren była wyższa niż przy nawadnianiu manualnym (tab. 10). Natomiast nie odnotowano znaczących zmian parametrów jakościowych w przypadku bawełny (tab. 11)

## LITERATURA

- Barton M., 2010: Irrigation Management: Principles and Practices.
- Car, N. J., Christen, E. W., Hornbuckle, J. W. and Moore, G. 2001: Towards a new generation of Irrigation Decision Support Systems - Irrigation Informatics?. In "MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation". Christchurch, New Zealand.
- FAO, 1984.: Irrigation Practice and Water Management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 1, Revision 1.
- Henning S., 2001: Saa Cabin attendant's experience of environmental stressors. University of Pretoria. Pretoria.
- Israelson, O.W. and Hansen, V.E., 1962: Irrigation Principles and Practices, 3rd edn. John Wiley and Sons, New York.
- Mallach, E. C. 2000: Decision Support and Data Warehouse Systems. Massachusetts: McGraw-Hill.
- Matthews K.B., Schwarz G., Buchan K., Rivington M., Miller D., 2008: Wither agricultural DSS? Computers and electronics in agriculture 61, 149–159.
- McCown R.L., 2002: Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects, Agricultural Systems 74 (2002) 179–220.

- Power, D.J. A., 2007: Brief History of Decision Support Systems. DSSResources.COM, World Wide Web, <http://DSSResources.COM/history/dsshhistory.html>, version 4.0, March 10, 2007.
- Wixon D., Ramey J., 1996: Filed methods casebook for software design. John Wiley & Sons. New York.
- Zahedi F. M. Song J. Jarupathirum S., 2008: Web- Based Decision Support, in: Holsapple C.W. (eds.) Handbook on Decision Support Systems 1, Springer.

## DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AGRICULTURAL IRRIGATION

**Summary:** The chapter presents an outline of the agricultural irrigation domain and a practical exercise of building and evaluating the ENORASIS system - an advanced, ICT-based decision support system designed for irrigation optimization at farm scale plus water management at water management authority level. ENORASIS has been put above wireless sensor network technology, supported with advanced weather forecast tool and advanced decision support models. System transforms field measurements of soil moisture sent by the wireless network of soil moisture sensors placed permanently in soil and meteorological measurements, supported by daily 3-day weather forecasts generated by WRF model precisely for a given farm, into a comprehensive 3-day irrigation plan.

The system, especially its user interfaces, was built upon a deep user requirements' analyses. Use cases derived from user surveys were transformed into a general system architecture, covering user interfaces, data streams, transformation rules, communication standards and algorithms.

The system was validated off-line and tested in practice on 5 farms: 2 research farm experiments (Poland and Turkey) and 3 live farm implementations (Poland, Serbia, Cyprus). The results of 2-seasons long tests on pilot sites revealed high effectiveness of algorithms chosen as a part of the DSS system. The response of crops to the optimized irrigation plans was positive in terms of yield, yield quality, giving large water savings and increasing economical revenue of farms. Maximal measured water saving reached 90% in terms of rasp berry. Maximal increase in revenues were observed in potato, where total revenue was 2.5 times higher than unirrigated crops and 2 times higher than standard irrigation based upon estimation of daily evapotranspiration.

On the field workshops with farmers and advisors shown very high interest of farmers in acquiring such advanced yet very handy tools in their farming practice.

**Key words:** agricultural irrigation, DSS, wireless sensor networks, ENORASIS, weather models, pilot implementation, ICT in agriculture, climate change, small water retention



## INNOWACYJNA KONCEPCJA NAWADNIANIA I NAWOŻENIA

**Grzegorz Janik<sup>1</sup>, Amadeusz Walczak<sup>1</sup>, Małgorzata Dawid<sup>1</sup>, Ryszard Pokładek<sup>1</sup>, Katarzyna Adamczewska-Sowińska<sup>1</sup>, Karol Wolski<sup>1</sup>, Józef Sowiński<sup>1</sup>, Zbigniew Gronostajski<sup>2</sup>, Jacek Reiner<sup>2</sup>, Marcin Kaszuba<sup>2</sup>, Łukasz Dworzak<sup>2</sup>, Wojciech Skierucha<sup>3</sup>, Agnieszka Szyplowska<sup>3</sup>, Andrzej Wilczek<sup>3</sup>, Jurik Lubos<sup>4</sup>**

**Streszczenie:** Celem pracy jest przedstawienie koncepcji projektu oszczędnego systemu nawadniającego z możliwością nawożenia upraw polowych. Stanowi to podstawę precyzyjnego rolnictwa w nowoczesnych gospodarstwach rolnych. Głównym elementem będzie urządzenie przeznaczone do wprowadzania wody oraz rozpuszczonych substancji odżywczych dokładnie do miejsca, w którym aktualnie znajduje się główna masa korzeniowa. Unikająca koncepcja spowoduje, że nie będzie konieczności instalowania na stałe linii transmisyjnych oraz zagwarantowany będzie szybki pobór wody i roztworów przez rośliny. System ten zminimalizuje migrację roztworów do wód podziemnych i zanieczyszczenie gleb wynikające z nawożenia.

**Słowa kluczowe:** indywidualizacja potrzeb wodnych rośliny, nawodnienie podpowierzchniowe, technika TDR

### WPROWADZENIE

Racjonalne korzystanie z zasobów wodnych wymagane jest w każdym sektorze gospodarki – również w rolnictwie. Podczas nawadniania znaczące straty generują deszczowne ciśnieniowe oraz powierzchniowe linie kroplujące. Większą oszczędność uzyskuje się przy zastosowaniu linii kroplujących, ułożonych pod powierzchnią gleby. Intercepcja jest wtedy wyzerowana, a ewaporacja zminimalizowana. W założeniu, nasycana jest wyłącznie przestrzeń, w której znajduje się główna masa korzeniowa. W warunkach polskich stosowanie systemów wglebnych nie jest jednak dla większości przypadków ekonomicznie uzasadnione.

---

<sup>1</sup> Grzegorz Janik - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: grzegorz.janik@up.wroc.pl

<sup>1</sup> Amadeusz Walczak - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

<sup>1</sup> Małgorzata Dawid - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: malgorzata.dawid@up.wroc.pl

<sup>1</sup> Ryszard Pokładek - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: ryszard.pokladek@up.wroc.pl

<sup>1</sup> Katarzyna Adamczewska-Sowińska - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: katarzyna.a-sowinska@up.wroc.pl

<sup>1</sup> Karol Wolski - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: karol.wolski@up.wroc.pl

<sup>1</sup> Józef Sowiński - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: jozef.sowinski@up.wroc.pl

<sup>2</sup> Zbigniew Gronostajski - Politechnika Wrocławska, e-mail: zbigniew.gronostajski@pwr.wroc.pl

<sup>2</sup> Jacek Reiner - Politechnika Wrocławska, e-mail: jacek.reiner@pwr.edu.pl

<sup>2</sup> Marcin Kaszuba - Politechnika Wrocławska, e-mail: marcin.kaszuba@pwr.wroc.pl

<sup>2</sup> Łukasz Dworzak - Politechnika Wrocławska, e-mail: lukasz.dworzak@pwr.edu.pl

<sup>3</sup> Wojciech Skierucha - Instytut Agrofizyki PAN, e-mail: w.skierucha@ipan.lublin.pl

<sup>3</sup> Agnieszka Szyplowska - Instytut Agrofizyki PAN, e-mail: a.szyplowska@ipan.lublin.pl

<sup>3</sup> Andrzej Wilczek - Instytut Agrofizyki PAN, e-mail: a.wilczek@ipan.lublin.pl

<sup>4</sup> Jurik Lubos - Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, e-mail: lubos.jurik@uniag.sk



Rys. 1. Przykłady systemów nawadniających (źródła: <http://www.projektoskop.pl/>, <http://www.eogrodek.pl/>, <http://www.lukomet.pl/>).

W związku z powyższym doskonały system nawadniający powinien eliminować wady i pozostawiać zalety dotychczas stosowanych metod nawadniania. Powinien być:

**Mobilny:**

- może być stosowany w wielu miejscach,
- koszty nie są ponoszone gdy nie jest to konieczne.

**Podpowierzchniowy:**

- należy zminimalizować straty wody na parowanie z powierzchni rośliny i powierzchni gleby,
- wodę należy podawać precyzyjnie do gleby w której znajduje się system korzeniowy, by nie nawadniać gleby bez korzeni.

**Zmienno-położeniowy:**

- powinien dawać możliwość dawkowania wody tej samej roślinie na różnych głębokościach w zależności od jej fazy rozwojowej.

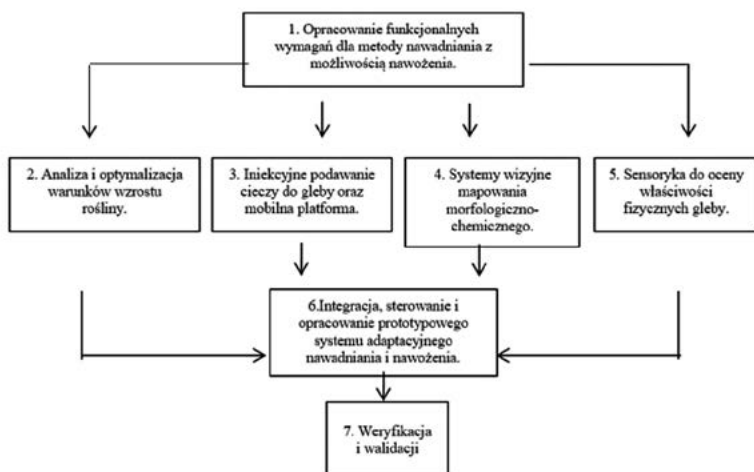
## MATERIAŁ I METODY

Powyższe cele można osiągnąć poprzez realizację szeregu etapów.

1. Opracowanie funkcjonalnych wymagań dla metody nawadniania z możliwością nawożenia.
2. Analiza i optymalizacja warunków wzrostu rośliny.
3. Iniekcyjne podawanie cieczy do gleby oraz mobilna platforma.
4. Systemy wizyjne mapowania morfologiczno-chemicznego.
5. Sensoryka do oceny właściwości fizycznych gleby.
6. Integracja, sterowanie i opracowanie prototypowego systemu adaptacyjnego nawadniania i nawożenia.
7. Weryfikacja i walidacja.

Kolejność realizacji poszczególnych etapów oraz ich wzajemne powiązania przedstawiono na schemacie blokowym zamieszczonym na rysunku 2.



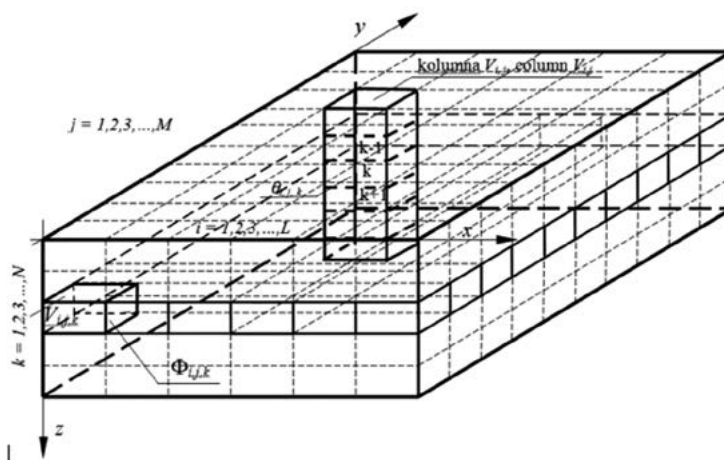


Rys. 2. Schemat blokowy realizacji koncepcji innowacyjnego nawadniania.

Etap 1 stanowi fazę wstępną. Realizowany będzie przez konsorcjum, w którego skład wchodzi 4 jednostki naukowe, wymienione na początku, w tym jedna zagraniczna oraz 3 przedsiębiorstwa (Agro-Tom Tomasz Kaniewski, Gospodarstwo Rolne Klaudiusz Matejka, E-Test Sp. z o.o.). Celem etapu 1 będzie szczegółowe ustalenie podziału obowiązków poszczególnych członków we wszystkich zadaniach. Etap 1 będzie dotyczył również przeprowadzenia wstępnej selekcji gatunkowej upraw rolniczych, warzywniczych, sadowniczych i ozdobnych w aspekcie rentowności proponowanych zabiegów nawadniających i na zróżnicowanych typach gleb. Wśród upraw rolniczych będą brane pod uwagę między innymi kukurydza oraz burak cukrowy, warzywniczych - seler i por, a sadowniczych np. truskawki. Przeprowadzona będzie również analiza możliwości stosowania mobilnego systemu nawadniającego dla roślin uprawianych na różnych gatunkach gleb.

Celem etapu 2 jest opracowanie metodyki oraz wykonanie eksperymentów dla precyzyjnego określenia optymalnej dawki, częstotliwości i miejsca podawania wody podczas iniekcyjnego nawadniania. W związku z tym konieczne będzie określenie przestrzennej i czasowej zmienności składników bilansu wodnego dla gleby zawierającej system korzeniowy. Komponenty te posłużą do budowy modelu matematycznego ruchu wody w obrębie masy korzeniowej roślin. W modelu matematycznym zastosowane będzie równanie Richards'a, które rozwiązywane jest najczęściej metodą różnic skończonych bądź elementów skończonych. W obu przypadkach wymagane jest przeprowadzenie dyskretyzacji przestrzeni objętej modelowaniem. Do rozwiązania równania potrzebne jest również podanie warunków początkowych i brzegowych. Wymagane będzie określenie, z jak najkrótszym krokiem czasowym, wielkości ewaporacji, transpiracji, zasilania z opadów i osadów atmosferycznych, migracji wody do głębiej położonych warstw oraz przestrzennej i czasowej zmienności poboru wody przez korzenie roślin. Każda z tych wielkości musi być określana dla całego okresu wegetacyjnego. W wyniku symulacji komputerowych uzyskujemy przestrzenny rozkład całkowitego potencjału wody glebowej. Po odjęciu od tej wielkości potencjału grawitacyjnego otrzymujemy tzw. potencjał macierzysty, który informuje

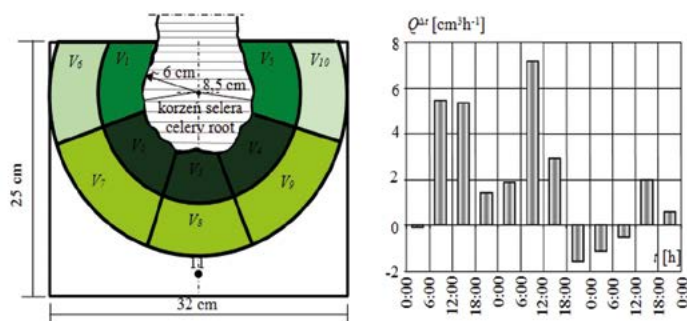
o ilości wody dostępnej dla roślin. Na rysunku 3 przedstawiono prosty przykład dyskretyzacji przestrzeni trójwymiarowej wraz z formalnym zapisem równania Richards'a.



Rys. 3. Dyskretyzacja modelowanej przestrzeni (Janik G., 2009, Technika TDR w modelowaniu ruchu wody glebowej).

Po ustaleniu optymalnych dawek nawodnieniowych dostosowane będą do nich wielkości stężeń nawozów, tak aby jak największa ich część była pobrana przez rośliny. Oddzielnym zagadnieniem będzie sporządzenie bazy informacji dla projektowanych systemów optycznych i wizyjnych. Techniki wykorzystujące obrazowanie wielodzielnicowe zastosowane będą do rozpoznawania indywidualnych potrzeb wodnych i nawożeniowych każdej rośliny.

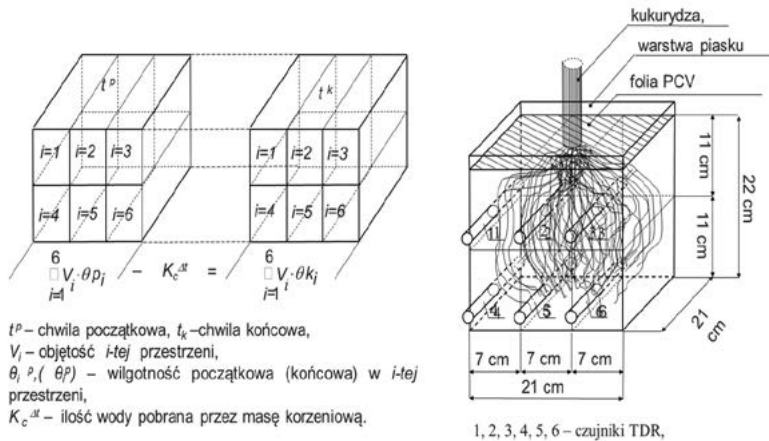
Rysunek 4 ilustruje skuteczność zastosowania techniki TDR do oznaczania przestrzennej i czasowej zmienności poboru wody przez korzenie selera. Natomiast rysunki 5 i 6 przedstawiają dane dla kukurydzy.



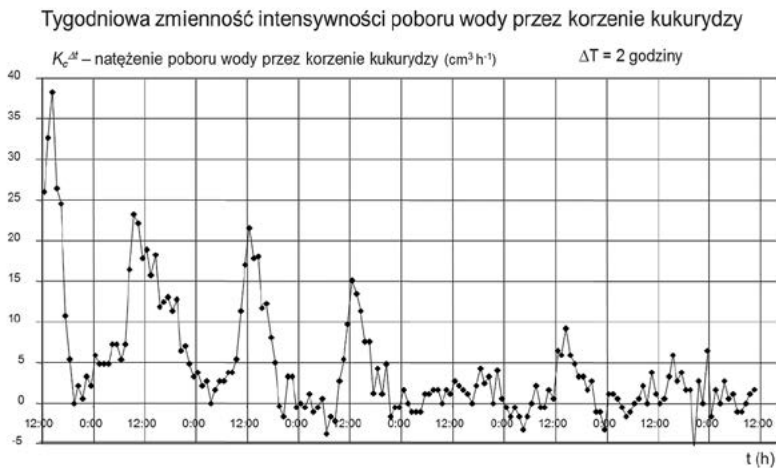
Pobór wody przez korzenie selera ( $Q^{2d}$ ) obliczony dla kroku czasowego  $\Delta t = 6$  h, w okresie od 27 do 30 września

■ – od 0,8 do 0,6  $10^{-4}$   $m^3 m^{-3} h^{-1}$ ; ■ – od 0,6 do 0,4  $10^{-4}$   $m^3 m^{-3} h^{-1}$ ; ■ – od 0,4 do 0,2  $10^{-4}$   $m^3 m^{-3} h^{-1}$ ; □ – od 0,0 do 0,2  $10^{-4}$   $m^3 m^{-3} h^{-1}$ ;  $V_1, \dots, V_{10}$  – objętość;  $t$  – czas

Rys. 4. Przestrzenny i czasowy rozkład poboru wody przez roślin na przykładzie selera (Janik G., 2009, Technika TDR w modelowaniu ruchu wody glebowej).



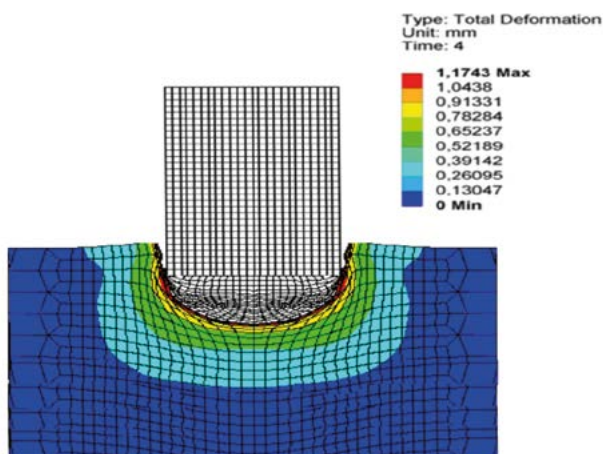
Rys. 5. Wykorzystanie bilansu wodnego do wyznaczania przestrzennego i czasowego rozkładu poboru wody przez rośliny na przykładzie kukurydzy (Janik G., 2009, Technika TDR w modelowaniu ruchu wody glebowej).



Rys. 6. Pobór wody przez rośliny na przykładzie kukurydzy (Janik G., 2009, Technika TDR w modelowaniu ruchu wody glebowej).

Celem etapu 3 będzie opracowanie układu iniekcyjnego podawania cieczy (wody z nawozami) do gleby. Układ iniekcyjny zostanie opracowany w oparciu o wymagania funkcjonalne sprecyzowane w zadaniach 1 i 2. Ważnym aspektem projektowanego układu iniektorów będzie możliwość stosowania na różnych typach gleb. W związku z tym konieczne będzie przeanalizowanie różnych koncepcji iniektorów a następnie wybór rozwiązania zapewniającego optymalne nawodnienie i nawożenie roślin przy jak najmniejszym zużyciu wody i nawozów. Do podawania cieczy zastosowane zostaną pompy. Całością będzie sterował mikroprocesorowy system sterujący. Istotnym czynnikiem związanym z funkcjonalnością całego systemu będzie trwałość zastosowanych iniektorów. W związku z tym konieczny

będzie dobór materiałów zapewniających odporność uderową, na zużycie ściernie oraz odporność korozyjną iniektora. Autorzy projektu mają duże doświadczenie w doborze i stosowaniu różnego rodzaju powłok przeciwzużyciowych na bazie powłok PVD. Kolejnym ważnym elementem będzie opracowanie samego sposobu wprowadzania iniektorów w glebę. Autorzy projektu planują zainstalowanie iniektorów na układzie zbliżonym do gąsienicowego, stosowanego m. in. w maszynach budowlanych. Dzięki temu masa platformy zostanie rozłożona na większej powierzchni, co pozwoli w znacznym stopniu zmniejszyć ugniatanie gleby podczas przejazdu. Ponadto takie rozwiązanie wydłuży czas przebywania iniektora w glebie, co pozwoli na wydłużenie czasu wtrysku cieczy, a więc zmniejszenie jej ciśnienia. To z kolei wyeliminuje możliwość uszkodzenia układu korzeniowego przez podawaną ciecz. Przy opracowywaniu układu należy również zwrócić uwagę na jego masę, ponieważ układ ten zostanie zwielokrotniony i zainstalowany na wspólnej ramie o szerokości całego opracowanego w projekcie mobilnego systemu nawadniania.



Rys. 7. Przykładowy rozkład odkształceń w glebie wywołany wprowadzeniem iniektora.

W ramach 4 etapu opracowana zostanie metoda mapowania (skanowania) spacial and temporal w dziedzinie morfologicznej i spektralnej (chemicznej) vegetation indices. Jej wyniki będą podstawą do sterowania systemem nawadniania i nawożenia roślin. Opracowane zostaną dwie metody pozyskiwania danych, pierwszoplanowo z użyciem UVA oraz jako rozszerzenie do mobilnego systemu nawadniania i nawożenia. Weryfikacja opracowanych metod przeprowadzona zostanie z użyciem specjalnie wytworzonego, modelowego stanowiska badawczego. Stanowisko to będzie stanowiło platformę local remote sensing do akwizycji danych optycznych z obszarów upraw. Pozyskane dane będą przetwarzane i wizualizowane w środowisku opracowanego oprogramowania, które wygeneruje zalecenia dotyczące pielęgnacji uprawy oraz dane do układu sterownika nawadniania i nawożenia roślin.

Etap 5 polega na opracowaniu przyrządów do pomiaru wilgotności i zasolenia, które będą przystosowane do projektowanego systemu nawadniająco - nawożącego. Charakter tych urządzeń będzie wynikał z wcześniejszych etapów. Jednak muszą one przeprowadzać

pomiary w sposób nieinwazyjny dla ośrodka jakim jest gleba, być efektywne energetycznie, a oprogramowanie przeprowadzające pomiary musi być przystosowane do całego systemu platformy nawadniająco - nawożącej. W praktyce system pomiarowy, opracowywany na tym etapie, będzie oparty na bazie istniejących czujników TDR (Time-Domain-Reflektrometry) przedstawionych na rysunku 8. Czujniki te w sposób bezpośredni mierzą przewodność dielektryczną ośrodka w jakim się znajdują, pośrednio wyznaczając m.in. wilgotność objętościową. Jest to technika powszechnie stosowana przy określaniu dynamiki wilgotności w ośrodkach porowatych – np. glebie.



Rys. 8. Czujniki do pomiaru wilgotności i zasolenia w ośrodkach porowatych.

Celem etapu 6 jest wykonanie kompletnego prototypu mobilnej platformy wraz z zainstalowaniem układów sensorycznych oraz iniektorów. Opracowany w etapie 3 układ dozowania wody oraz nawozów zostanie powielony i zainstalowany na wspólnej ramie platformy mobilnej. Zbudowany w etapie 3 układ sterowania zostanie rozbudowany o elementy związane ze zwielokrotnionym układem dozowania. Opracowany w etapie 3 program sterujący dozowaniem zostanie zmodyfikowany pod kątem zwielokrotnionych układów dozowania.

Głównym celem etapu 7 jest ocena efektów pracy maszyny nawadniającej. Przed tym, należy jednak sprawdzić poprawność działania komponentów wyposażenia tj.: elementów systemu wizyjnego do identyfikacji stanu rośliny oraz elementów układu sensorów do określania fizyko-chemicznych parametrów gleby. Równolegle prowadzona będzie ocena automatyki wykonanej do precyzyjnego podawania wody i substancji pokarmowych. Sprawdzona będzie precyzja iniekcji zaplanowanych dawek oraz dokładność miejsca podawania wody. Następnym celem będzie przeprowadzenie kompleksowej oceny wydajności maszyny nawadniająco-nawożącej. Testy będą wykonane w różnych warunkach meteorologicznych, glebowych, dla wielu gatunków roślin, a także w zróżnicowanych warunkach topograficznych. Ważnym elementem testów będzie ocena skutków zabiegów nawadniająco-nawożących. Kolejnym celem będzie ocena dokładności prognoz dotyczących rozprzestrzeniania się wody i substancji w obrębie strefy korzeniowej rośliny. Ocenie poddane zostaną również skutki przejazdów maszyny w aspekcie niekorzystnego zagęszczenia gleby, niszczenia systemu korzeniowego oraz uszkodzenia nadziemnych części rośliny. Efektyw-



ność działania mobilnej maszyny nawadniającej będzie przeprowadzona poprzez ocenę zwiększenia plonu. Podczas realizacji tego zadania oceniona będzie dodatkowo efektywność ekonomiczna prowadzonych zabiegów iniekcyjnego nawadniania.

## PROBLEMY DO ROZWIĄZANIA

- Dostępność wody do nawodnień



Rys. 9. Sztuczny zbiornik do magazynowania wody do nawadniania.

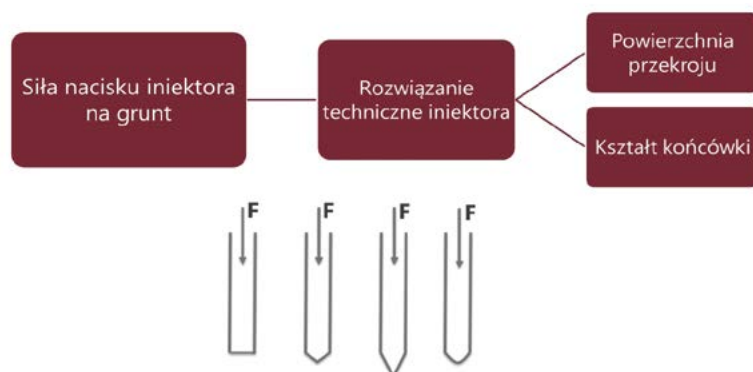
- Skuteczność iniekcji



Rys. 10. Wprowadzanie wody z iniektora do gleby



- Wprowadzenie iniektora do gleby



Rys. 11. Wprowadzanie iniektora do gleby

## PODSUMOWANIE

Zrealizowanie przedstawionej w niniejszej pracy koncepcji będzie skutkowało wykonaniem maszyny do iniekcyjnego nawadniania i nawożenia roślin uprawnych. W połączeniu z opracowanymi na nowo normami nawadniania i nawożenia, zapewni wysoką oszczędność wody i substancji odżywczych zużywanych podczas produkcji roślinnej. Ma to fundamentalne znaczenie z uwagi na występujące obecnie zmiany klimatyczne, które powodują pogłębianie się deficytu wody.

## LITERATURA

- Adamczewska-Sowińska K., Uklańska C.M., 2010: The effect of form and dose of nitrogen fertilizer on yielding and biological value of endive. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 9(2), 85-91.
- Gronostajski Z., Kaszuba M. D., Hawryluk M., Zwierzchowski M., 2014: A review of the degradation mechanisms of the hot forging tools. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14(4), 528-539.
- Janik G., 2009: *Technika TDR w modelowaniu ruchu wody glebowej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, ISBN 978-83-60574-44-7.
- Janik G., Skierucha W., Błaś M., Sobik M., Albert M., Dubicki M., and Zawada A., 2014: TDR technique for estimating the intensity of effective non rainfall. *Int. Agrophysics* 28(1), 23-37.
- Reiner J., Stankiewicz M., 2011: Evaluation of the predictive segmentation algorithm for the laser triangulation method. *Metrology and Measurement Systems* 18(4), 667-678.
- Skierucha W., Wilczek A., Szyłowska A., Sławiński C., Lamorski K., 2012: A TDR-Based Soil Moisture Monitoring System with Simultaneous Measurement of Soil Temperature and Electrical Conductivity. *Sensors* 12, 13545-13566.

Szypłowska A., Nakonieczna A., Wilczek A., Paszkowski B., Solecki G., Skierucha W., 2013: Application of a Coaxial-Like Sensor for Impedance Spectroscopy Measurements of Selected Low-Conductivity Liquids. *Sensors* 13, 13301-13317.

## INNOVATIVE CONCEPT OF IRRIGATION AND FERTILIZATION

**Summary:** The objective of the topic is present irrigation system with the possibility of fertilization of field cultivations. This constitutes the foundation of precision agriculture in modern farms. The main element will be a mobile system for injection application of water and dissolved nutrients precisely to the point where the main root mass is situated. The mobility of the device, with injectors used so far only for fertilization, will cause that there will be no need for the installation of permanent transmission lines, and that rapid uptake of water and solutions by plants will be guaranteed. The system will minimise the migration of solutions to ground waters and the contamination of soils resulting from fertilization.

**Key words:** individualization water requirement of the plant, subsurface irrigation, TDR technique



# WPŁYW GLEBOWEJ MATERII ORGANICZNEJ NA GOSPODARKĘ WODNĄ GLEBY

Jan Kuś<sup>1</sup>

**Streszczenie:** W pracy omówiono wpływ glebowej materii organicznej (MOG) na właściwości gleby a szczególnie na jej gospodarkę wodną. Przeanalizowano także zawartość glebowej materii organicznej w glebach Polski oraz oceniono wpływ poszczególnych elementów agrotechniki na gospodarkę MOG. Następnie wykorzystując metodę bilansowania glebowej materii organicznej opracowaną w 2014 przez VDLUFA dla Niemiec, określono kształtowanie się bilansu MOG w Polsce w okresie ostatnich 30 lat. Wykazano, że jeszcze w ostatnich dwóch dekadach XX wieku, produkcja obornika przy obsadzie zwierząt wynoszącej, średnio w kraju, około  $0,7 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR pozwalała na utrzymanie zrównoważonego bilansu glebowej materii organicznej. W ostatnim okresie obsada zwierząt zmniejszyła się jednak do około  $0,45 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR i w następstwie mniejszej ilości nawozów naturalnych występuje ujemne saldo bilansu MOG, wynoszące rocznie około  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  gruntów ornych. W celu poprawy bilansu MOG konieczne jest przeznaczanie na cele nawozowe około  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  słomy w przeliczeniu na  $1 \text{ ha}^{-1}$  gruntów ornych pod zasiewami. Należy również dążyć do zwiększenia arealu uprawy międzyplonów oraz upowszechniania bezorkowych technik uprawy roli.

**Słowa kluczowe:** próchnica, glebowa materia organiczna, bilans glebowej materii organicznej, struktura gleby, retencja wodna gleby, polowa pojemność wodna.

## WPROWADZENIE

Problem zachowania żyzności i urodzajności gleb w ostatnim okresie znajduje odzwierciedlenie w dokumentach światowych, europejskich i krajowych. Zagadnień tych dotyczą: deklaracja przyjęta na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r., konwencja ONZ w sprawie przeciwdziałania pustynnieniu i suszy uchwalona w 1994 r., Tematyczna Strategia Ochrony Gleb UE z 2003 r. oraz Strategia Zrównoważonego Rozwoju obowiązująca w Polsce od 2001 roku (Gonet, 2007). Według tych dokumentów głównymi zagrożeniami dla żyzności gleb są: erozja, spadek zawartości materii organicznej (próchnicy), zanieczyszczenia ze źródeł lokalnych i rozproszonych, zasklepienie (zabudowa powierzchni), spadek bioróżnorodności, zasolenie oraz powodzie i masowe ruchy ziemi.

Podstawowym komponentem glebowej materii organicznej (MOG) jest próchnica (humus), będąca bezpostaciową substancją organiczną o ciemnej barwie, która utraciła anatomiczną oraz morfologiczną strukturę tkanek a powstaje w wyniku działalności życiowej mikroflory i fauny glebowej rozkładającej martwe resztki roślinne i zwierzęce. W skład glebowej materii organicznej wchodzi także nie w pełni rozłożone resztki nawozów naturalnych i organicznych oraz martwe resztki roślinne i zwierzęce. W glebach użytkowanych rolniczo próchnica stanowi około 80-90% całkowitej ilości glebowej materii organicznej

<sup>1</sup> Jan Kuś – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, PIB Puławy, e-mail: jankus@iung.pulawy.pl

(Mazur, 1995). Często przyjmuje się, że MOG jest synonimem próchnicy, co nie jest określeniem precyzyjnym.

Zawartość materii organicznej w glebach jest powszechnie traktowana jako ważny wskaźnik ich żyzności oraz oceny poprawności gospodarowania w rolnictwie, gdyż wywiera ona duży wpływ na:

- fizyczne właściwości gleby, dzięki tworzeniu, gruzełkowatej wodoodpornej struktury zwiększającej zdolność retencyjną gleby i poprawiających wsiąkanie wód opadowych, co ograniczenia spływu powierzchniowe i nasilenie erozji. Próchnica posiada także dużą pojemność wodną, gdyż zatrzymuje 3-5 krotnie więcej wody dostępnej dla roślin w stosunku do swojej masy. Nadaje również glebie ciemniejszą barwę, co przyspiesza ogrzewanie się jej powierzchni wiosną i stwarza korzystniejsze warunki wschodów i początkowego wzrostu roślin;
- wpływ próchnicy na właściwości fizykochemiczne i chemiczne wynika z dużej jej pojemności sorpcyjnej. Koloidalna struktura związków próchnicznych pozwala na sorpcję składników pokarmowych roślin w stopniu 4-12 razy większym niż mineralnych koloidów glebowych. Umożliwia to regulację stężenia kationów w roztworze glebowym i udostępnianie ich roślinności oraz poprawia właściwości buforowe ograniczające wahania odczynu gleby. Próchnica wykazuje również duże zdolności adsorpcji na swojej powierzchni metali ciężkich i innych toksycznych substancji (np. pestycydów), które następnie ulegają powolnemu rozkładowi przez mikroorganizmy glebowe. Jest także ważnym źródłem składników pokarmowych dla roślin;
- MOG jest ważnym źródłem węgla i azotu oraz innych składników pokarmowych dla mikroorganizmów żyjących w glebie. W glebach zasobnych w MOG występują liczniejsze populacje różnych grup mikroorganizmów, które często wykazują antagonistyczne oddziaływanie w stosunku do patogenów i zmniejszają ich przeżywalność w glebie, co ogranicza nasilenie niektórych chorób i szkodników roślin (biologiczna kontrola agrofagów).

## MATERIAŁ I METODY

Wykorzystując opracowania innych autorów wyliczono zasoby węgla organicznego w powierzchniowej warstwie (0 – 30 cm) gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Określono także bilans MOG dla Polski, poszczególnych województw oraz przykładowych gospodarstw o różnych kierunkach produkcji. W tym celu wykorzystano współczynniki reprodukcji i degradacji MOG opracowane dla Niemiec VDLUFA - Stowarzyszenie Niemieckich Instytutów Naukowych i Badawczo-Wdrożeniowych (VDLUFA, 2014). Informacje dotyczące struktury zasiewów oraz obsady zwierząt zaczerpnięto z roczników statystycznych GUS. Przyjęto, że DJP (duża jednostka przeliczeniowa) zwierząt produkuje w ciągu roku 10 t obornika, a nawozy naturalne stosuje się głównie na gruntach ornych. Do wyliczeń bilansu MOG przyjęto niskie wartości współczynników degradacji glebowej materii organicznej dla zbóż i rzepaku. Jest to uzasadnione stosowaniem stosunkowo niskiego poziomu nawożenia azotowego, średnio w kraju, gospodarowania w warunkach ograniczonych zasobów wodnych, a także coraz szerszym stosowaniem bezorkowej uprawy roli, natomiast w przypadku pozostałych gatunków roślin przyjęto wartości średnie.

## WYNIKI BADAŃ

Zawartość materii organicznej jest względnie stałą cechą gleby zależną przede wszystkim od warunków siedliskowych (skład granulometryczny skały macierzystej z jakiej powstała gleba i klimat) oraz modyfikowaną działalnością rolnika (Mazur, 1995):

- **warunki siedliskowe** - występuje silna dodatnia korelacja pomiędzy udziałem frakcji spławialnej i iltu w składzie granulometrycznym gleby a zawartością próchnicy. Również w rejonach o większych opadach i niższych temperaturach jej zawartość jest większa niż w rejonach ciepłych i suchych, gdzie próchnica ulega szybkiej mineralizacji;
- **czynniki antropogeniczne** – obniżenie poziomu wód gruntowych i zmiana stosunków wodno-powietrznych w glebie przez melioracje silnie zwiększa mineralizację MOG i zmniejsza jej zawartość. Również uprawa roślin okopowych i kukurydzy oraz intensywna mechaniczna uprawa roli zwiększa mineralizację próchnicy. Natomiast jej akumulacji sprzyja stosowanie nawozów naturalnych (obornik lub gnojowica) i organicznych (słoma, nawozy zielone i komposty) oraz uprawa roślin wieloletnich i międzyplonów.

Gleby Polski zawierają stosunkowo mało glebowej materii organicznej, gdyż dominują u nas gleby lekkie wytworzone z piasków różnego pochodzenia. Aż 56% naszych użytków rolnych (UR) zawiera poniżej 2% MOG, czyli poniżej 1,16% C-org. Następne 33% UR zawiera od 2,0 do 3,5% MOG (1,17 -2,03% C-org.), co dla naszych warunków przyjęto jako zawartość wysoką. Jedynie 11% ogółu naszych gleb zawiera powyżej 3,5% MOG i są to głównie czarnoziemy, czarne ziemie, rędziny i ciężkie mady (Terelak i in., 2001). Według kryteriów przyjętych przez Europejskie Biura Gleb (ESB) gleby zawierające poniżej 1% C-org. są bardzo ubogie, a od 1 do 2% C-org. ubogie w materię organiczną (Gonet, 2007). Na podstawie tej klasyfikacji ponad 80% naszych UR charakteryzują niską zawartością MOG. Specjaliści tej organizacji przyjmują również, że dla gleb zawierających poniżej 2,0% C-org. (3,4% MOG) powinien być stosowany w praktyce sposób gospodarowania sprzyjający wzrostowi zawartości materii organicznej, gdyż są one zagrożone pustynnieniem.

Tab. 1. Kryteria oceny zawartości glebowej materii organicznej w glebach Polski i Europy

Klasa zawartości	Według IUNG <sup>1</sup>			Europejskie Biuro Gleb (ESB) <sup>2</sup> zawartość C – org. (%)
	materia organiczna (MOG) (%)	węgiel organiczny C- org.(%)	udział gleb (%)	
Niska	< 1,0	< 0,58	6	< 1,0 bardzo niska
Średnia	1,0 – 2,0	0,58 – 1,16	50	
Wysoka	2,0 – 3,5	1,17 – 2,03	33	1,0 – 2,0 niska
Bardzo wysoka	> 3,5	> 2,04	11	2,1 – 6,0 średnia

Źródło: 1/ Terelak i in., 2001.  
2/ Gonet, 2007.



Na obszarze Polski występuje bardzo duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości glebowej materii organicznej. Największym udziałem gleb o niskiej zawartości MOG wyróżniają się województwa usytuowane w środkowym pasie kraju: lubuskie, wielkopolskie, świętokrzyskie, mazowieckie i lubelskie. Natomiast relatywnie mniej takich gleb jest w województwach położonych wzdłuż południowej i północnej granicy Polski (Terelak i in. 2001).

W Polsce brak jest długotrwałych badań monitoringowych zawartości węgla organicznego w glebach użytkowanych rolniczo. Badania takie podjęto dopiero w 1995 r., a próbki gleby są pobierane z gruntów ornych w 216 stałych punktach w cyklu 5 letnim. W podsumowaniu dotychczasowych badań za okres 15 lat nie stwierdzono istotnych zmian w zawartości C-org. w powierzchniowej warstwie gruntów ornych (Faber i in., 2015).

W latach 2002-2007 w IUNG przeprowadzono badania porównawcze około 1000 profili wzorcowych, które pierwotnie analizowano przed 40-50 laty w trakcie prac związanych z klasyfikacją gleb. Generalnie stwierdzono tendencję spadku zawartości MOG, który był szczególnie duży na glebach o opadowo-gruntowym typie gospodarki wodnej, które zawierały najwięcej materii organicznej. W przypadku tych gleb o spadku zawartości materii organicznej zdecydowała prawdopodobnie zmiana stosunków wodnych w następstwie melioracji, które przeprowadzono już po klasyfikacji. Z kolei na gruntach ornych ubogich w próchnicę, odnotowano w tym okresie tendencję przyrostu jej zawartości, co można wiązać z większą ilością resztek pożniwnych w następstwie wyższego nawożenia i większych plonów (Stuczyński i in., 2007).

**Zasoby węgla organicznego w UR Polski.** Całkowita ilość MOG i węgla organicznego zawarta w glebach użytkowanych rolniczo jest duża, co wynika z następującego oszacowania:

**Grнты orne:** Przeciętna zawartość glebowej materii organicznej (MOG) w warstwie powierzchniowej naszych gruntów ornych wynosi około 1,50% (Terelak i in., 2001, Miatkowski i in., 2010). W zawiązku z tym jej ilość na powierzchni 1 ha można wyliczyć w następujący sposób:

zawartość MOG – 1,50% x miąższość warstwy ornej - 0,30 m x gęstość gleby w tej warstwie -  $1,50 \text{ t} \cdot \text{m}^3 \times 10\,000 \text{ m}^2$  (powierzchnia 1 ha) = 67,5 t ha<sup>-1</sup> glebowej materii organicznej (MOG) x 0,58% (zawartość węgla w MOG) = 39,1 t ha<sup>-1</sup> węgla organicznego (C-org).

1% glebowej materii organicznej (MOG) = 0,58% węgla organicznego w glebie (C-org.); 1% węgla organicznego w glebie (C-org.) = 1,72% glebowej materii organicznej (MOG).
--

Powierzchnia gruntów ornych (pod zasiewami, ugorowane, uprawy trwałe) w 2015 roku według GUS wynosiła około 11,5 mln ha, czyli zawierały one w sumie (11,5 mln ha x 39,1 t ha<sup>-1</sup> C-org.) około 450 mln ton węgla organicznego.

Przyjmując, że zawartość MOG w gruntach ornych waha się od 1% w glebach bardzo lekkich do około 3,0% w glebach zasobnych w próchnicę (czarnoziemy, mady i czarne ziemie), wtedy szacunkowa ilość MOG na powierzchni 1 ha gruntów ornych oscyluje w granicach od 48,0 do 144,0 ton MOG, co w przeliczeniu na węgiel organiczny wynosi od 27,8 do 83,4 t ha<sup>-1</sup>.

Trwałe użytki zielone. W 2014 roku TUZ zajmowały łączną powierzchnię około 3,1 ml ha, w tym łąki – 2,63 oraz pastwiska – 0,49 mln ha. Przystępując do wyliczenia zasobów węgla organicznego w glebach zajętych przez TUZ założono, że 0,8 mln ha łąk leży na glebach torfowo – murszowych, zaś pozostałe na glebach mineralnych (12).

- a. TUZ na glebach mineralnych - przyjęto, że zawartość glebowej substancji organicznej w powierzchniowej warstwie (0–30 cm) jest większa niż w gruntach ornych i wynosi 3,2% (Pałosz, 2009). W związku z tym jej ilość na powierzchni 1 ha wyliczono w następujący sposób:

zawartość MOG – 3,2 % x miąższość warstwy orno-próchnicznej - 0,30 m x gęstość gleby w tej warstwie - 1,50 t · m<sup>3</sup> x 10 000 m<sup>2</sup> (powierzchnia 1 ha) = 144,0 t ha<sup>-1</sup> MOG = 83,5 t · ha<sup>-1</sup> węgla organicznego.

Trwałe użytki zielone na glebach mineralnych zawierają w sumie (2,3 mln ha x 83,5 t ha<sup>-1</sup> C-org.) 192 mln ton węgla organicznego.

- b. TUZ na glebach torfowo – murszowych – różnią się stopniem uwilgotnienia oraz miąższością warstwy torfu. W związku z tym wyliczenie wykonano tylko dla powierzchniowej warstwy gleby, aby wyniki były porównywalne z pozostałymi użytkami rolnymi. Do dalszych wyliczeń przyjęto na podstawie innych opracowań (Czaplak i Dembek, 2000, Miatkowski i in. 2010) następujące wartości:

zawartość materii organicznej – 80% x miąższość ocenianej warstwy gleby - 0,30 m x gęstość gleby organicznej – 0,25 t · m<sup>3</sup> x 10 000 m<sup>2</sup> (powierzchnia 1 ha) = 600 t ha<sup>-1</sup> MOG, która zawiera około 50% C-org., czyli 300 t · ha<sup>-1</sup>.

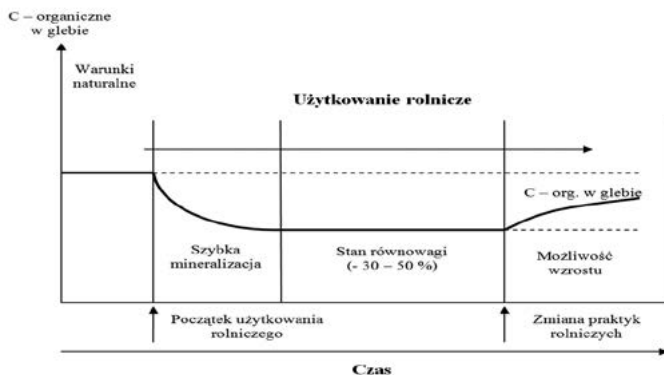
Trwałe użytki zielone położone na glebach torfowo - murszowych (0,8 mln ha x 300 t ha<sup>-1</sup>) w warstwie gleby do głębokości 30 cm zawierają w sumie około 240 mln t C-org.

Z przeprowadzonego szacunku wynika, że powierzchniowa warstwa 0-30 cm gleb użytkowanych rolniczo w Polsce zawiera w sumie ponad 900 mln ton węgla organicznego. Należy dodatkowo podkreślić, że pewne ilości węgla organicznego zawierają również głębsze (podorne) warstwy gleby. Ilość ta jest największa na glebach organicznych o dużej miąższości złoża torfu, a także na głębokich czarnoziemach i czarnych ziemiach, zaś zdecydowanie mniejsza na pozostałych glebach mineralnych. Warstwy te pominięto jednak w prowadzonym szacunku, ponieważ wpływ sposobu gospodarowania na zmiany zawartość MOG w głębszych warstwach gleby jest mały.

Glebowa materia organiczna zawiera także sporo składników pokarmowych roślin: 6% azotu, 1,2% fosforu, 0,9% siarki oraz wiele mikroelementów niezbędnych dla roślin (Pałosz, 2009), co przy podanych powyżej jej ilościach wskazuje, że jest ona także ważnym źródłem składników nawozowych.

W glebach użytkowanych rolniczo zawartość próchnicy utrzymuje się na względnie stałym poziomie, natomiast szybki spadek jej zawartości następuje w przypadku zmiany sposobu użytkowania gruntu, co w schematyczny sposób przedstawiono na rysunku 1.

Szacuje się, że przekształcenie użytków naturalnych (łąka, las) w GO wiąże się z utratą około 30-50% C-org. zakumulowanego w powierzchniowej warstwie gleby pod użytkowaniem naturalnym. Szczególnie szybka mineralizacja MOG następuje w pierwszych latach po zmianie sposobu użytkowania. Zabiegi uprawowe spulchniają i napowietrzają glebę, co drastycznie przyspiesza mineralizację MOG oraz bardzo zwiększa dostępność składników nawozowych, a głównie azotu dla roślin. W kolejnych latach proces ten ulega stopniowemu spowolnieniu i ustala się stan równowagi dla ornego użytkowania danego gruntu, po stracie 30-50% wyjściowej zawartości MOG. Okres ten w klimacie umiarkowanym wynosi około 30-60 lat, zaś w warunkach tropikalnych tylko 5-10 lat, a często jest on wzmagany dodatkowo przez erozję (Kuś, 2015). W stanie równowagi pewna ilość glebowej substancji organicznej, około 1-2% jej całkowitej ilości, ulega rozkładowi w ciągu roku i podobna jej ilość powstaje w wyniku działalności mikroflory i fauny glebowej, dla której pożywienie stanowią korzenie i reszki poźniwne uprawianych roślin oraz nawozy naturalne i organiczne.



Rys. 1. Zmiany zawartości węgla organicznego w glebie w czasie jej użytkowania jako grunt orny  
Źródło: Kuś, 2015.

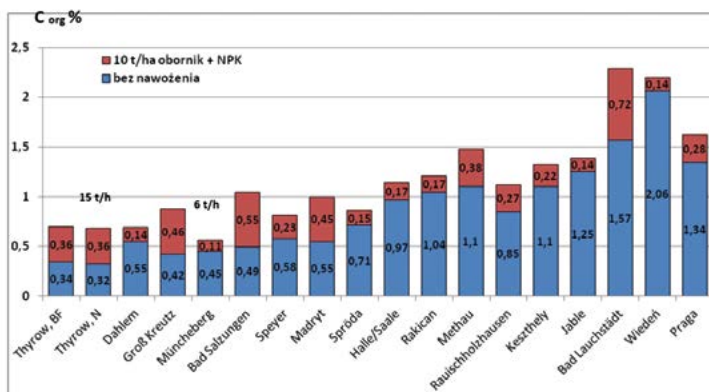
Szczególnie duże ilości materii organicznej ulegają mineralizacji w przypadku włączenia do użytkowania rolniczego gleb organicznych (torfowych) i organiczno-mineralnych. W glebach tych akumuluje się duża ilość masy organicznej, której rozkład jest ograniczony dzięki ochronnemu działaniu wody (warunki beztlenowe). Wraz z obniżeniem poziomu wód gruntowych i zmniejszeniem uwilgotnienia tych gleb (np. melioracje), następuje szybka mineralizacja materii organicznej. Szacuje się, że roczne obniżenie się miąższości torfowiska spowodowane mineralizacją może przekraczać nawet 1,0 cm, czemu towarzyszy ubytek ponad  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  MOG, czyli około  $5,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  C-org. (Czaplak i Dembek, 2000, Sapek, 2000).

W UE wdraża się regulacje prawne, które powinny ograniczać przekształcanie TUZ w grunty orne, a jednym z komponentów płatności bezpośrednich jest wymóg zazielenienia (*greening*), który zobowiązuje rolników do utrzymywania stałej powierzchni trwałych użytków zielonych.

Też o względnie stałej zawartości C-org. w gruntach ornych potwierdzają wyniki 18 wieloletnich doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich (Körshens i in., 2013). Poszczególne doświadczenia prowadzono przez okres od przynajmniej 50 do ponad 100 lat. Na rysunku 2 zaprezentowano wyniki z obiektu z optymalnym nawożeniem - obornik  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  rok i dodatkowo nawożenie mineralne NPK oraz z obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Pod wpływem nawożenia organiczno-mineralnego zawartość C-org. w ornej warstwie gleby w poszczególnych miejscowościach zwiększyła się od 0,11 do 0,72%, w porównaniu do zawartości stwierdzonej na obiekcie bez nawożenia. Średnio dla wszystkich 18 doświadczeń różnica ta wynosiła 0,3% C-org. (0,52% MOG). Różne przyrosty zawartości C - org. odnotowane w poszczególnych miejscowościach pod wpływem optymalnego nawożenia należy wiązać ze stanem wyjściowym gleby przed rozpoczęciem doświadczeń. W warunkach wysokiej początkowej zasobności gleby w MOG przyrosty te były małe, zaś przy niskiej odpowiednio większe. Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy składem granulometrycznym gleby a akumulacją węgla organicznego uzyskaną pod wpływem nawożenia.

Oznacza to, że pod wpływem wieloletniego, systematycznego stosowania optymalnego nawożenia organiczno-mineralnego ilość C-org. w glebie wzrosła w poszczególnych miejscowościach od 4,9 do  $34,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , zaś średnio dla wszystkich miejscowości przyrost ten

wyniósł 14,4 t·ha<sup>-1</sup>, w porównaniu do obiektów bez nawożenia. Taki przyrost zawartości C-org.w glebie, to sekwestracja od 18 do 127 t·ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> z atmosfery.



Rys. 2. Zawartość C-org. (%) w glebie 18 trwałych doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich - gleby uszeregowano według zawartości frakcji koloidalnej. Źródło: Körschens i in., 2013.

Nawet stosunkowo małe zmiany w zawartości próchnicy w glebie powodują jednak znaczącą poprawę jej właściwości. W wieloletnim doświadczeniu prowadzonym na bardzo lekkiej glebie w Thyrow stosowanie przez okres 70 lat pełnego nawożenia organiczno-mineralnego połączonego z wapnowaniem zwiększyło zawartość węgla organicznego w glebie z 0,42 do 0,72% (tab. 2).

Tab. 2. Wpływ długotrwałego stosowania zróżnicowanego nawożenia na zawartość węgla organicznego i zdolność retencyjną gleby (dośw. w Thyrow założone w 1937 r.)

Nawożenie	Zawartość węgla organicznego (%)	Polowa pojemność wodna gleby (%)	Woda dostępna dla roślin (%)
Bez nawożenia	0,42 a	21,6 a	17,8 a
NPK+Ca	0,48 b	22,6 a	18,8 a
Obornik (10 t·ha <sup>-1</sup> ·rok)	0,57 b	23,5 a	19,3 b
Obornik(10t·ha <sup>-1</sup> ·rok) +NPK i Ca	0,72 c	25,5 b	20,5 b

\* wyniki oznaczone różnymi literami różnią się istotnie  
Źródło: Körschens, 2010.

Spowodowało to wyraźny wzrost polowej pojemności wodnej gleby oraz zawartości wody dostępnej dla roślin. Istotnie poprawiły się także właściwości sorpcyjne gleby. Na obiektach, gdzie stosowano tylko nawozy mineralne lub sam obornik przyrost zawartości węgla organicznego w glebie był mniejszy oraz słabsze oddziaływanie na właściwości retencyjne gleby. Należy dodatkowo podkreślić, że zwiększona zdolność retencyjna gleby ujawnia się po każdym większym opadach deszczu, czyli kilkakrotnie w okresie wegetacyjnym, co w sumie może wywierać znaczący wpływ na plonowanie roślin.

## PRAKTYKI ROLNICZE ZWIĘKSZAJĄCE ZAWARTOŚĆ MATERII ORGANICZNEJ W GLEBIE.

Racjonalna gospodarka glebową materią organiczną powinna zapewniać utrzymanie zrównoważonego jej bilansu w ramach zmianowania lub gospodarstwa. Zwiększona mineralizacja MOG wiąże się głównie z uprawą roślin okopowych oraz zwiększoną intensywnością zabiegów uprawowych, zaś jej akumulacji sprzyjają następujące praktyki rolnicze:

1. Uprawa motylkowatych wieloletnich oraz ich mieszanek z trawami lub samych traw.
2. Stosowanie nawozów naturalnych a w szczególności obornika.
3. Stosowanie nawozów organicznych (słoma, liście buraka, osad pofermentacyjny z biogazowni, nawozy zielone itp.).
4. Uprawa międzyplonów.
5. Stosowanie bezorkowej uprawy roli lub siewu bezpośredniego.

Celem łatwiejszego bilansowania glebowej materii organicznej dla poszczególnych praktyk rolniczych wyznacza się liczbowe współczynniki charakteryzujące ich oddziaływanie na degradację oraz reprodukcję MOG. Do ich wyznaczenia wykorzystuje się wyniki wieloletnich doświadczeń nawozowych – prowadzonych zwykle przez okres ponad 20-30 lat oraz modele matematyczne. Prace te są najbardziej zaawansowane w Niemczech, gdzie szczególnie liczna jest sieć trwałych doświadczeń nawozowych. Pierwsze wartości takich współczynników obejmujących w całościowy sposób bilansowanie glebowej materii organicznej opracowano w 1981 r. (Kundler i in.). W 2004 roku z inicjatywy VDLUFA (Stowarzyszenie Niemieckich Instytutów Naukowych i Badawczo-Wdrożeniowych) ukazało się poszerzone i zaktualizowane opracowanie na ten temat (Körschens i in., 2004). Kolejna aktualizacja tych współczynników, wydana również przez VDLUFA, została opublikowana 2014 r.

Konieczność modyfikacji współczynników wynika ze zmian w technologii produkcji roślinnej, takich jak: skrócenie żdźbła umożliwiające większe zagęszczenie łańców roślin zbożowych, kombajnowy zbiór zwiększający ilość resztek poźniwnych pozostających na polu, nowe generacje maszyn umożliwiające ograniczanie liczby zabiegów uprawowych oraz coraz powszechniejsze stosowanie uprawy bezorkowej, pozostawianie na polu liści buraka cukrowego, uprawa międzyplonów itp. Czynniki te wpływają na ilość pozostających resztek poźniwnych oraz tempo ich przemian w glebie, a w konsekwencji na bilans glebowej materii organicznej.

Wartości współczynników podane w tabelach 3 i 4 informują o ilości ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) glebowej materii organicznej (próchnicy), o którą zostanie gleba zubożona (mineralizacja) lub wzbogacona (reprodukcja) w okresie roku w następstwie uprawy różnych gatunków roślin. Z kolei w tabeli 5 podano wskaźniki reprodukcji MOG w następstwie zastosowania różnych nawozów naturalnych i organicznych. Wartość współczynnika informuje o ile kg przyrośnie ilość glebowej materii organicznej w następstwie zastosowania 1 tony świeżej masy wymienionych nawozów. Wartości tych współczynników wyraźnie zależą od zawartości suchej masy w stosowanym nawozie.

Tab. 3. Wartości współczynników ( $\text{kg ha}^{-1}\text{rok}$ ) degradacji glebowej materii organicznej dla poszczególnych gatunków roślin

Gatunek /grupa roślin	Degradacja glebowej materii organicznej - wartości		
	niskie <sup>1</sup>	średnie <sup>2</sup>	wysokie <sup>3</sup>
Burak cukrowy i pastewny	- 760	- 1 300	- 1 840
Ziemniak, warzywa kapustne, por, seler, ogórek, cukinia, pomidor itp.	- 760	- 1 000	- 1 240
Kukurydza na ziarno i kiszonkę, cykorja, papryka, czosnek, marchew itp.	- 560	- 800	- 1 040
Zboża, oleiste, fasola szparagowa, groszek zielony, cebula, pietruszka oraz zioła i rośliny przyprawowe	- 280	- 400	- 520

1/ gleby w dobrej kulturze o niedoborze wilgoci i ograniczonym nawożeniu azotowym;

2/ gleby w dobrej kulturze przy poprawnej gospodarce nawozowej;

3/ gleby w niskiej kulturze lub gospodarowanie ukierunkowane na duże wykorzystanie azotu glebowego (np. rolnictwo ekologiczne).

Źródło: VDLUFA, 2014.

Tab. 4. Wartości współczynników ( $\text{kg ha}^{-1}\text{rok}$ ) reprodukcji glebowej materii organicznej dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną

Gatunek /grupa roślin	Reprodukcja glebowej materii organicznej	
	niski poziom plonów <sup>1</sup>	wysoki poziom plonów <sup>2</sup>
Motylkowate wieloletnie, ich mieszanki z trawami i trawy w uprawie polowej :		
- każdy rok użytkowania	600	800
- rok wysiewu, jako:		
- wsiewka	200	300
- zasiew czysty wiosną	400	500
- zasiew czysty latem	100	150
Strączkowe na nasiona (łącznie ze słomą i resztkami poźniowymi)	160	
Międzyplony - ozime	140	
- ścierniskowe	100	
- wsiewki	250	

1/ plon poniżej  $50 \text{ t ha}^{-1}$

2/ plon powyżej  $50 \text{ t ha}^{-1}$  zielonej masy na rok użytkowania

Źródło: jak w tabeli 2.



Tab. 5. Reprodukacja glebowej materii organicznej w kg na 1 tonę świeżej masy różnych nawozów naturalnych i organicznych

Rodzaj nawozu	Zawartość suchej masy (%)	Współczynnik reprodukcji MOG* (kg t nawozu)
Słoma	86	100
Liście buraka, marchewki, nawozy zielone, trawa z innych użytków	10 20	8 16
Obornik świeży	20 30	28 40
Obornik przefermentowany	25 35	40 56
Gnojowica świńska	4 8	4 8
Gnojowica bydłęca	4 7 10	6 9 12
Pomiot od drobiu	15 25 35 45	12 22 30 38
Odpady organiczne świeże	20 40	30 62
Odpady organiczne przekompostowane	40 50 60	46 58 70
Osady ściekowe stabilizowane wapnem	20 25 35 45 55	16 20 36 46 56
Osady pofermentacyjny z biogazowi rolniczej - płynne	4 7 10	6 9 12
Osady pofermentacyjny z biogazowi rolniczej - odwodnione	25 35	36 50
Osady pofermentacyjny z biogazowi rolniczej - przekompostowane	30 60	40 70

\*/ glebowa materia organiczna

Źródło: jak w tabeli 2

W tabeli 6 podano przyjęte przez VDELFA w 2014 roku zalecenia w warunkach różnych wartości salda MOG. W przypadku gospodarowania z dużą ujemną wartością salda (grupa A - powyżej 200 kg.rok<sup>-1</sup>) następuje degradacja żyzności gleby i spadek plonów uprawianych roślin, a także zwiększona jest emisja CO<sub>2</sub> z gleby. Bardzo wysokie dodatnie saldo (grupa E) jest również niekorzystne, gdyż wówczas występuje nadmierna mineralizacja materii organicznej w glebie poza okresem wegetacji, czemu towarzyszy zwiększone uwalnianie składników nawozowych, których nie pobierają w tym okresie rośliny. Następstwem jest niebezpieczeństwo przemieszczania biogenów, głównie azotu i fosforu w okresie jesienno-zimowym do wód gruntowych i powierzchniowych. Ponadto w takich warunkach niska jest efektywność nawożenia mineralnego.

Tab. 6. Ocena wielkości salda glebowej materii organicznej – następstwa i zalecenia

Saldo MOG (kg ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> )	Grupa oceny wielkości salda	Następstwa i zalecenia
Poniżej - 200	A bardzo niskie	spadek żyzności gleby i plonów – konieczne zwiększenie dopływu do gleby materii organicznej
-200 do -76	B niskie	okresowo dopuszczalne na glebach próchnicznych, jednak wskazana korekta nawożenia organicznego
-75 do 100	C optymalne	stan optymalny – nie wymaga korekt
101 do 300	D wysokie	okresowo uzasadnione na glebach ubogich w próchnicę – w dłuższym okresie wskazana korekta nawożenia
Powyżej 300	E bardzo wysokie	nadmierna mineralizacja materii organicznej, możliwe duże straty azotu i ewentualnie fosforu oraz niska efektywność nawożenia mineralnego

Źródło: jak w tabeli 2

Wartości liczbowe opisujące wpływ roślin wieloletnich (motylkowate i trawy), nawozów naturalnych i organicznych oraz uprawy międzyplonów na reprodukcję glebowej materii organicznej podano w tabelach 3 i 4. Pewnego komentarza wymaga natomiast znaczenie bezorkowej uprawy roli, której praktyczne znaczenie szybko wzrasta, szczególnie w większych gospodarstwach. Można szacować, że w warunkach stosowania uprawy bezorkowej (konserwująca uprawa roli) mineralizacja glebowej materii organicznej jest mniejsza o około 150-200 kg. ha<sup>-1</sup>. rok<sup>-1</sup>, w porównaniu do tradycyjnej uprawy płuźnej. Jej akumulacja następuje głównie w powierzchniowej warstwie gleby 0-5 cm i jest szczególnie szybka w pierwszych latach po wprowadzeniu takiej uprawy. Dodatkowe korzyści ze wzbogacenia powierzchniowej warstwy gleby w materię organiczną, to poprawa jej struktury, lepsza wsiąkalność wód opadowych a w konsekwencji ograniczenie erozji. Pozostawienie na powierzchni pola resztek roślinnych w formie mulczu ogranicza także parowanie wody bezpośrednio z powierzchni gleby, co ma szczególne znaczenie w okresie od wysiewu do zwarcia się łanów roślinnych.

**Bilans MOG w skali kraju, regionu i gospodarstwa.** Wykorzystując współczynniki podane w tabelach 3-5 można określić bilans glebowej materii organicznej dla kraju,

jednostek administracyjnych (województwo, gmina) lub gospodarstwa. Bilanse dla kraju lub gminy mają charakter informacyjny (poglądowy) i mogą być wykorzystywane do podejmowania działań rolno-środowiskowych, zaś analiza wykonana dla gospodarstwa służy rolnikowi do podejmowania konkretnych decyzji organizacyjnych i produkcyjnych.

W tabeli 7 przedstawiono bilans MOG dla Polski za lata 1980-2010. W okresie tym odnotowano duże zmiany w strukturze zasiewów, gdyż łącznie udział zbóż i rzepaku, czyli upraw o małym ujemnym wpływie na bilans próchnicy, wzrósł z 56 do prawie 78%. Z kolei udział upraw prowadzących do szybszej degradacji próchnicy (ziemniak, burak, kukurydza i warzywa), w tym samym okresie, zmniejszył się w strukturze zasiewów z 25,8 do 14,2%. Szczególnie silnie, bo aż 4-krotnie obniżył się udział ziemniaka w zasiewach i 2-krotnie buraka cukrowego. Znaczny wpływ na bilans próchnicy ma także ograniczenie udziału w strukturze zasiewów roślin wieloletnich z 11 do 4%.

Wpływ zmian w strukturze zasiewów na bilans MOG był jednak mały, gdyż w następstwie uprawy roślin w analizowanym okresie, średnio w kraju, uległo mineralizacji około 320 kg MOG w przeliczeniu na 1ha gruntów ornych (tab. 7).

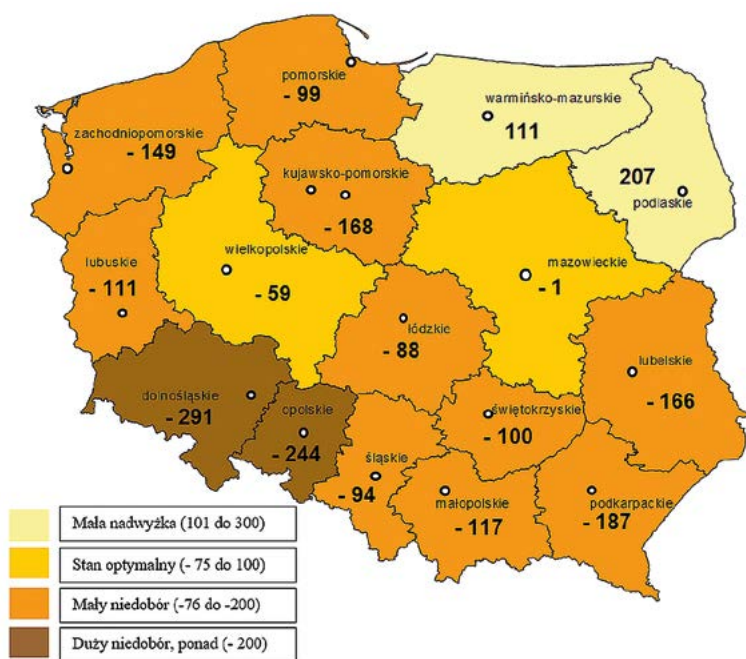
Tab. 7. Bilans glebowej materii organicznej na gruntach ornych ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ), średnio dla Polski w latach 1980-2010

Grupy upraw roślin	Współczynnik ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}$ )	Lata			
		1980	1990	2000	2010
Struktura zasiewów (%):					
Zboża bez kukurydzy	- 280	54,0	59,5	69,8	70,7
Rzepak	- 280	2,2	3,5	3,5	7,0
Kukurydza na ziarno i kiszonkę	- 800	4,7	2,7	2,5	6,8
Warzywa	- 1000	1,8	1,8	2,0	1,5
Ziemniak	- 1000	16,1	12,9	10,1	4,2
Burak cukrowy	- 1300	3,2	3,1	2,7	1,7
Strączkowe	160	2,3	1,7	1,8	1,1
Rośliny wieloletnie	800	11,4	9,7	4,8	4,4
Średnia degradacja MOG przez uprawę roślin ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ )		321	304	307	315
Średnia obsada zwierząt (DJP·ha <sup>-1</sup> ·UR)		0,75	0,68	0,41	0,42
Średnia dawka obornika na GO (t·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> )		9,4	8,5	5,1	5,2
Reprodukcja MOG z obornika ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )		376	340	204	208
Saldo bilansu MOG bez przyoranej słomy ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )		55	36	- 103	- 107

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS o strukturze zasiewów i obsadzie zwierząt oraz współczynników podanych w tabelach 2-4.

Większy wpływ na wielkość salda bilansu MOG miały zmiany w pogłowie zwierząt i możliwości reprodukcji ubytku próchnicy nawozami naturalnymi (tab. 7). W sumie w okresie 1980-2010 obsada zwierząt zmniejszyła się, średnio w kraju, z 0,75 do 0,42 DJP·ha<sup>-1</sup> użytków rolnych (Kuś i Kopiński 2012). W tej sytuacji średnia ich dawka w skali kraju zmniejszyła się w ocenianym 30-leciu z około 9 t·ha<sup>-1</sup> w latach 90-tych do około 5 t·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych w ostatnich latach. Dawka obornika wynosząca 9-10 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> (40 t·ha<sup>-1</sup> co 4 lata) praktycznie całkowicie kompensuje mineralizację glebowej materii organicznej powodowaną uprawą roślin przy średniej strukturze zasiewów występującej w kraju. Zmniejszenie jej natomiast do około 5 t·ha<sup>-1</sup>, czyli do stanu występującego w ostatnich latach, prowadzi już do ujemnego salda bilansu MOG wynoszącego około 100 kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Zgodnie z zaleceniami podanymi w tabeli 5, taka wartość salda może występować tylko okresowo na glebach próchnicznych. Utrzymanie natomiast takiego stanu w dłuższym okresie czasu prowadzi do spadku ich żyzności gleby, co jest szczególnie groźne na glebach o małej zawartości próchnicy jakie dominują w Polsce. W tej sytuacji w celu zrównoważenia bilansu glebowej materii organicznej na każdy hektar gruntów pod zasiewami powinno się na cele nawozowe przeznaczać około 1 t słomy.

Większe różnicowanie wielkości salda MOG występuje poszczególnych województwach, o czym decyduje różnice w struktura zasiewów, a przede wszystkim w obsadzie zwierząt (rys. 3).



Rys. 3. Saldo bilansu glebowej materii organicznej (kg·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych) w poszczególnych województwach w 2014 r.

Źródło: opracowanie własne.

Obsada zwierząt w roku 2014 wahała się od poniżej 0,2 DJP·ha<sup>-1</sup> UR w województwach zachodniopomorskim i dolnośląskim do około 0,8 DJP·ha<sup>-1</sup> w województwie podlaskim. Jeszcze większe zróżnicowanie obsady zwierząt występuje przy przeliczeniu jej na powierzchnię gruntów ornych, na które stosuje się głównie nawozy naturalne. Wynika to z różnego udziału TUZ w strukturze użytkowania gruntów, który waha się od 9-15% w 4 województwach (opolskie, wielkopolskie, kujawsko-pomorskie i śląskie) do 30-40% w kolejnych 4 województwach (warmińsko-mazurskie, podkarpackie, podlaskie i małopolskie). W sumie przeciętna dawka obornika w przeliczeniu na 1 ha gruntów ornych waha się od około 2 t (zachodnio-pomorskie, dolnośląskie do 8 t w warmińsko-mazurskim, wielkopolskim i mazowieckim) oraz aż 12 t w woj. podlaskim.

W 2014 r. w dwóch województwach (podlaskie i warmińsko-mazurskie) saldo bilansu glebowej materii organicznej było dodatnie (rys. 3), a w dalszych dwóch (mazowieckie i wielkopolskie) lekko ujemne, ale mieszczące się w przedziale wartości optymalnych (rys. 3). W pozostałych województwach saldo bilansu MOG jest już wyraźnie ujemne i konieczne jest nawożenie słomą w celu jego zrównoważenia. Szczególnie niekorzystna sytuacja występuje w woj. dolnośląskim i opolskim, co wynika z dużego udziału w strukturze zasiewów kukurydzy i buraka, czyli upraw nasilających mineralizację próchnicy i równocześnie bardzo małej obsady zwierząt. W tych województwach w celu zrównoważenia bilansu MOG konieczne jest nawożenie słomą w dawkach 2,5-2,9 t·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych. W pozostałych 10 województwach saldo bilansu MOG jest niskie i dawka słomy powinna się wahać od 0,9 w woj. łódzkim do 1,9 t·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych w woj. podkarpackim.

Należy podkreślić, że zaprezentowana analiza nie jest precyzyjna, gdyż brak jest informacji dotyczących ilości stosowanych nawozów organicznych (słoma, liście buraka), powierzchni uprawy międzyplonów itp. oraz ilości nawozów naturalnych, a głównie gnojowicy, które stosuje się na użytkach zielonych.

W dokładniejszy sposób bilans glebowej materii organicznej można określić dla gospodarstwa. W tabeli 8 przeanalizowano bilans MOG dla 4 przykładowych gospodarstw różniących się kierunkiem produkcji (wielokierunkowe, mleczne, trzodowe i roślinne), co decyduje o doborze uprawianych gatunków roślin i obsadzie zwierząt.

Tab. 8. Bilans glebowej materii organicznej w gospodarstwach o różnych kierunkach produkcji

Wyszczególnienie	Kierunek produkcji			
	mieszany	mleczny	trzodowy	roślinny
1. Powierzchnia UR	23,5	24,6	35,6	84,0
2. Powierzchnia TUZ w ha	8,2	8,0	2,3	0
3. Struktura zasiewów (%):				
- zboża	69	47	92	58
- pastewne wieloletnie	6	17	0	0
- kukurydza na kiszonkę lub ziarno	10	35	0	20
- rzepak	0	0	0	15

- burak cukrowy	7	0	0	0
- ziemniak	2	1	1	3
- strączkowe	4	0	7	3
- międzyplony ścierniskowe	0	0	10	15
4. Degradacja MOG przez uprawiane rośliny (kg·ha <sup>-1</sup> ·rok)	342	308	247	375
5. Obsada zwierząt DJP·ha <sup>-1</sup> UR	0,85	1,01	1,46	0
6. Produkcja obornika t·ha <sup>-1</sup> GO	11,5	15,0	15,5	0
7. Reprodukacja MOG z nawozów naturalnych (kg·ha <sup>-1</sup> ) GO	460	600	620	0
8. Saldo bilansu MOG (kg·ha <sup>-1</sup> GO)	118	292	373	- 375

Źródło: opracowanie własne.

W gospodarstwach o mieszanej (wielokierunkowej) produkcji mineralizacja glebowej materii organicznej w następstwie uprawy roślin wyliczona na podstawie podanych współczynników (tab. 3 i 4) wynosiła 371 kg·ha<sup>-1</sup>·rok (tab. 9 ). Obsada zwierząt w przeliczeniu na cały areal użytków rolnych wynosiła 0,85 DJP·ha<sup>-1</sup>, a produkcja obornika około 11,5 t·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych. Taka ilość obornika zapewniała utrzymanie optymalnej wartości salda MOG.

W gospodarstwie specjalizującym się w produkcji mleka, dzięki uprawie roślin wieloletnich degradacja MOG wskutek uprawy roślin była mniejsza, gdyż wynosiła średnio 308 kg·ha<sup>-1</sup>·rok. Przy obsadzie zwierząt 1,0 DJP·ha<sup>-1</sup> UR oraz 33% udziale TUZ produkcja obornika wynosiła 15 t·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych. Wartość dodatniego salda MOG 292 kg·ha<sup>-1</sup> gruntów ornych jest wartość wysoka - grupa D (tab. 6). Stan taki utrzymywany w dłuższym okresie czasu prowadzi do zwiększonego rozproszenia azotu i ewentualnie fosforu w środowisku, co zagraża czystości wód. W przypadku tego gospodarstwa dobrym rozwiązaniem jest stosowanie nawozów naturalnych również na trwałych użytkach zielonych.

W gospodarstwie specjalizującym się w tuczu trzody chlewnej bazującym na własnych paszach, gdzie obsada zwierząt wynosiła 1,46 DJP·ha<sup>-1</sup> UR występuje bardzo wysokie (grupa E – tab. 5) dodatnie saldo MOG (373 kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>1</sup> gruntów ornych). W przypadku tego gospodarstwa dobrym rozwiązaniem może być sprzedaż części nawozów naturalnych.

W gospodarstwie o roślinnym kierunku produkcji, w którym kukurydzą zbieraną na ziarno obsiewano 20% gruntów ornych, pomimo uprawy międzyplonów na powierzchni 15% GO, mineralizacja MOG wynosiła aż 375 kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>1</sup>. W celu zrównoważenia tego ubytku konieczne jest przeznaczanie na cele nawozowe około 4 t słomy na każdy hektar gruntów ornych. Należy dodatkowo podkreślić, że oddziaływanie nawożenia słomą na szeroko rozumianą żyzność gleby jest słabsze jak nawozów naturalnych, a szczególnie obornika, lub systemu korzeniowego wieloletnich roślin bobowatych.

W zaprezentowanej powyżej analizie uwzględniono jedynie bilans glebowej materii organicznej, a dla sformułowania pełniejszych zaleceń praktycznych konieczne jest wyliczenie również bilansu NPK i opracowanie planu nawozowego.



**Ekologiczne znaczenie MOG.** W skali globalnej najwięcej węgla jest zakumulowane w oceanach (około 38 000 mld t), a drugim jego rezerwuarem są gleby. Szacuje się, że glebo- wa materia organiczna zawiera około w sumie około 1600 mld t węgla organicznego, czyli ponad 2-krotnie więcej od całkowitej jego ilości występującej w atmosferze w formie CO<sub>2</sub>, którą szacuje się na 750 mld t ([www.global-greenhouse-warming.com/global-carbon-cycle](http://www.global-greenhouse-warming.com/global-carbon-cycle)). W związku z tym spadek zawartości materii organicznej w glebach zwiększa emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery i nasila efekt cieplarniany, natomiast wzrost jej ilości w glebach (sekwestracja) jest czynnikiem ograniczającym to niekorzystne zjawisko, gdyż węgiel związany w MOG jest na dłuższy okres czasu wyłączony z globalnego obiegu (Lal, 2000).

Należy również podkreślić, że zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej jest trudne i możliwe do osiągnięcia po kilku latach poprawnego gospodarowania z dodatnim jej saldem. Można szacować, że zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej tylko o 0,01% ( np. z 1,50 do 1,51%) oznacza przyrost jej masy w ornej warstwie gleby na powierzchni 1 ha o 480 kg, co odpowiada 278 kg węgla organicznego. Oznacza to również sekwestrację ponad 1 t CO<sub>2</sub> w przeliczeniu na 1 ha GO, a około 11 mln t CO<sub>2</sub> z całego areалу GO w Polsce, co stanowi ponad 3% całkowitej emisji gazów cieplarnianych z obszaru Polski (Kuś, 2015).

## WNIOSKI

Gleby będące w użytkowaniu rolniczym w Polsce charakteryzują się stosunkowo małą zawartością glebowej materii organicznej (próchnicy), wynoszącą średnio około 2%. Jest to spowodowane dominacją gleb lekkich, wytworzonych z różnego rodzaju piasków, w których następuje szybka mineralizacja próchnicy przy małych możliwościach jej akumulacji. Akumulacji próchnicy w naszych warunkach dodatkowo nie sprzyja również mała ilość opadów i niski poziom zalegania wód gruntowych na przeważającym obszarze kraju.

Podstawą racjonalnego gospodarowania glebową materią organiczną jest zrównoważony jej bilans w ramach gospodarstwa. Po stronie przychodowej bilansu występuje reprodukcja próchnicy z nawozów naturalnych i organicznych oraz uprawy roślin wieloletnich i międzyplonów, zaś po stronie rozchodowej jej mineralizacja (degradacja) powodowana przez uprawę roślin w kolejnych latach rotacji zmianowania, a szczególne znaczenie mają tu rośliny okopowe i kukurydza. W celu łatwiejszego bilansowania glebowej materii organicznej wyznacza się odpowiednie wskaźniki jej degradacji oraz reprodukcji.

W okresie ostatnich 30 lat stwierdza się w Polsce znaczne pogorszenie salda bilansu glebowej materii organicznej. Jest to spowodowane przede wszystkim spadkiem pogłowia zwierząt, gdyż ich obsada w latach 1980 – 2010 zmniejszyła się, średnio w kraju, z 0,75 do 0,43 DJP·ha<sup>-1</sup> UR.

Saldo bilansu glebowej materii organicznej jest również bardzo zróżnicowane regionalnie, co wynika głównie z różnej obsady zwierząt, która w ostatnich latach waha się od poniżej 0,2 w woj. zachodniopomorskim i dolnośląskim do 0,6-0,7 DJP·ha<sup>-1</sup> UR w województwach wielkopolskim i podlaskim.

Problemy w gospodarowaniu glebową materią organiczną pogłębia postępująca specjalizacja gospodarstw rolnych. W ostatnim okresie ponad 30% gruntów ornych użytkują gospodarstwa bezinwentarzowe, w których podstawowym nawozem organicznym jest słoma. Z kolei gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej posiadają zbyt dużą

obsadę zwierząt i produkują zbyt dużo nawozów naturalnych aby właściwie je zagospodarować, zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej.

Użytki rolne Polski, pomimo małej zawartości glebowej materii organicznej, zawierają w powierzchniowej warstwie gleby (0-30 cm) w sumie ponad 900 mln ton węgla organicznego. Szczególnie duże jego ilości zawierają gleby organiczne i organiczno-mineralne (wytworzone z torfów), zaś zdecydowanie mniej gleby mineralne. Racjonalna gospodarka tym zasobem ma decydujące znaczenie dla utrzymania żyzności i urodzajności gleb, ale wywiera także wpływ na emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery. Przyspieszona mineralizacja próchnicy zwiększa emisję tego gazu do atmosfery, zaś wiązanie w glebowej materii organicznej (sekwestracja) wyłącza go na dłuższy okres czasu z globalnego obiegu, co może ograniczać „efekt cieplarniany”.

Zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej jest możliwe do osiągnięcia po kilku latach poprawnego gospodarowania z dodatnim jej saldem. Można szacować, że zwiększenie jej zawartości tylko o 0,01% ( np. z 1,50 do 1,51%) oznacza przyrost jej masy w ornej warstwie gleby na powierzchni 1 ha o 480 kg , w tym 278 kg węgla organicznego.

## LITERATURA

- Czaplak I., Dembek W., 2000: Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 6: 61-71.
- Gonet S., 2007: Materia organiczna w tematycznej strategii ochrony gleb w Unii Europejskiej. Roczn. Glebozn., 58 (3/4):15 – 26.
- Faber A., Jarosz Z., Łopatka A., Siebielec G., 2015: Ocena zmian zawartości węgla organicznego w glebach na podstawie danych monitoringu chemizmu gleb ornych w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 46(20): 9-20.
- Humusbilanzierung, 2014: VDLUFA-Standpunkt.
- Körschens M. i in., 2004: Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt VDELUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten).
- Körschens M., 2010: Der organische Kohlenstoff im Boden (C-org) – Bedeutung, Bestimmung, Bewertung. Arch. Agron. Soil Sci., 56, 4:375-392.
- Körschens M. i in., 2013: Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances , as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long term field experiments of the twenty-first century. Archives of Agronomy and Soil Science, 59, 8, 1012-1040.
- Kundler P. i in., 1981: Regeln und Richtwerte zur Echoing der Bodenfruchtbarkeit. Akademie der Landwirtschaftswissenschaft der DDR, agrabuch, Markkleeberg,.
- Kuś J., Kopiński J., 2012: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. Zag. Doradz. Roln., 2(68): 5-26.
- Kuś J.: Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie. Studia i Raporty IUNG – PIB, 2015, 45(19): 27-53.
- Lal R.: Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, 6: 22-36.
- Mazur T.: Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1995, 422: 9-19.

- Miatkowski Z. i in.: Prognozy zmian aktywności w sektorze rolnictwa, zawierające informacje niezbędne do wyliczenia szacunkowej wielkości emisji gazów cieplarnianych. Raport dla MRiRW. Oprac. IT-P w Falentach, 2010.
- Pałosz T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. Wyd. Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska. 2009, 11:329-338.
- Stuczyński T. i in. Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, 7, 77–115.
- Terelak H. in.: Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytków rolniczych Polski. Wyd. IUNG Puławy, 2001.
- [www.global-greenhouse-warming.com/global-carbon-cycle](http://www.global-greenhouse-warming.com/global-carbon-cycle).

## THE INFLUENCE OF SOIL ORGANIC MATTER ON SOIL WATER MANAGEMENT

**Summary:** The paper discusses the impact of soil organic matter (SOM) on the properties of the soil, especially its water management. The contents of soil organic matter in Polish soils and the impact of various elements of agricultural technology on the SOM management were also assessed. VDLUFA, soil organic matter balance method, developed in 2014 for Germany, was used to determine the formation of the SOM balance in Poland during the last 30 years. It has been shown that in the last two decades of the twentieth century, the production of manure, average stocking density in the country, of about  $0.7 \text{ LSU} \cdot \text{ha}^{-1}$  AA allowed to maintain a sustainable balance of soil organic matter. Recently stocking density has declined, to about  $0.45 \text{ LSU} \cdot \text{ha}^{-1}$  AA and as a result of a negative balance of SOM due to fewer natural fertilizer, amounting annually about  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  AA. In order to improve the balance of SOM it is necessary to allocate about  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  of straw per 1ha of sown arable land as a fertilizer. increased acreage of catch crops as well as promoting of no-till and strip-till tillage systems.

**Key words:** Keywords: humus, soil organic matter, the balance of soil organic matter, soil structure, water retention of the soil, field water capacity,

# WYBRANE PROBLEMY GOSPODAROWANIA WODĄ W SIEDLISKACH MOKRADŁOWYCH

Wiesław Dembek<sup>1</sup>, Tomasz Okruszko<sup>2</sup>

**Streszczenie:** Rozdział ma po części charakter przeglądowny. Jego celem jest przedstawienie ważnych, lecz niekiedy mało znanych aspektów gospodarowania wodą na obszarach, na których decyduje ona o warunkach glebowych i charakterze szaty roślinnej. Przedstawiono w nim podstawowe definicje i systematykę siedlisk mokradłowych oraz związane z nimi dane liczbowe, powierzchniowe oraz układy przestrzenne. Zestawiono cenne siedliska mokradłowe będące przedmiotem zainteresowania Wspólnoty Europejskiej. Przytoczono dane dotyczące optymalnych i granicznych głębokości wód gruntowych pod trwałymi użytkami zielonymi, pokazując na tym tle potencjał możliwej do wykreowania retencji gruntowej. Wyeksponowano znaczenie naturalnej retencji w zestawieniu z retencją zbiornikową. Podkreślono znaczenie poprawy warunków wodnych w siedliskach mokradłowych dla zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. Przedstawiono bilans wodny w wybranych przekrojach dolin rzecznych, zestawiając wielkości dopływu gruntowego oraz parowania terenowego w różnych siedliskach. Na tle tych danych wyeksponowano znaczenie szaty roślinnej dolin rzecznych dla wielkości zasilania rzek. Przeanalizowano znaczenie zbiorników charakterystycznych dla sukcesji wtórnej oraz lasów w kształtowaniu retencji zlewni.

**Słowa kluczowe:** mokradła, bilans wodny siedlisk, retencja naturalna, łagodzenie skutków susz i powodzi.

## WPROWADZENIE

Celem artykułu jest przedstawienie ważnych, lecz niekiedy mało znanych szerszemu ogółowi Czytelników aspektów gospodarowania wodą na obszarach, których specyfika polega na tym, że woda decyduje na nich o warunkach glebowych i charakterze szaty roślinnej. Siedliska mokradłowe zajmują 13,9% powierzchni lądowej kraju. Wśród różnorodnych siedlisk, właściwych dla środowiska Polski, są one największymi depozytariuszami węgla organicznego, dysponują największą różnorodnością biologiczną i są najbardziej wrażliwe na zmiany warunków wodnych. W drugiej połowie XX wieku, w związku z rządowymi programami melioracji i uproduktywnienia mokradeł, pozyskano znaczną wiedzę na temat mechanizmów ich funkcjonowania. Ta wiedza może być z powodzeniem wykorzystana obecnie, gdy naczelną doktryną jest rozwój zrównoważony, maleje zainteresowanie paszą z łąk i pastwisk, natomiast nabiera znaczenia kwestia ochrony ekosystemów mokradłowych. Jednocześnie – w obliczu zmian klimatycznych – staje się coraz ważniejsza rola naturalnej retencji, która powinna odciążać budżetowo plany budowy bardzo kosztownych i ingerencyjnych środowiskowo dużych zbiorników retencyjnych.

<sup>1</sup> Wiesław Dembek - Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, e-mail: w.dembek@itp.edu.pl

<sup>2</sup> Tomasz Okruszko - Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW, e-mail: t.okruszko@levis.sggw.pl

## MATERIAŁ I METODY

Rozdział ma w dużej części charakter przeglądowy. Wykorzystano w nim pozycje literaturowe zestawione w wykazie. Do autorów należała interpretacja wyników zgodna z obecnymi trendami wykorzystania i ochrony ekosystemów mokradłowych. Przykładowe obliczenia bilansu wodnego przeprowadzono dla warunków klimatycznych Bagien Biebrzańskich. Opad średni z wielolecia wyznaczono na podstawie dobowych obserwacji wysokości opadów na stacji ZD MUZ w Biebrzy. Opady, mierzone na stacji deszczomierzem Hellmana, skorygowano w celu odniesienia ich do sytuacji przy powierzchni gruntu. Opady dobowe z sezonu wegetacyjnego korygowano za pomocą współczynnika ustalonego przez Szuniewicz i Radomskiego (1990), natomiast dla półrocza zimowego, za pomocą współczynnika zaproponowanego przez Chomicza (1976). W rezultacie opady zostały powiększone średnio o 20% w stosunku do wskazań deszczomierza. Średni roczny opad w wieloleciu 1960-1995 wyniósł 650 mm. Ze względu na uproszczony charakter obliczeń nie analizowano przestrzennej zmienności opadu na terenie doliny Biebrzy. Średnią z wielolecia ewapotranspirację potencjalną obliczano na podstawie danych meteorologicznych ze stacji Biebrza metodą Penmana w modyfikacji francuskiej (Roguski i in., 1987). Obliczenia przeprowadzono z krokiem dekadowym, przyjmując następujące dane meteorologiczne: temperaturę powietrza, prędkość wiatru, wilgotność powietrza oraz zachmurzenie ze stacji ZD MUZ Biebrza. Współczynniki roślinne dla zbiorowisk roślinnych przyjęto z danych literaturowych (Mioduszewski i in., 1996). Zasięgi zalewów rzecznych i objętości wody zostały obliczone na podstawie danych Świątek i in. (2008).

## WYNIKI

Pojęcie mokradła definiowane bywa w różny sposób. Pod tym pojęciem rozumie się obszary, na których występuje roślinność higrofilna lub utwory powierzchniowe akumulowane w efekcie oddziaływania wody (torfy, muły namuły) (Okruszko H., 1992; Dembek i in., 2000). Pojęcie mokradeł przyjęło się w środowiskach naukowych, natomiast nie występuje ono w języku oficjalnym, związanym z kształtowaniem lub ochroną środowiska, w którym obowiązują pojęcia wywodzące się z tzw. Konwencji Ramsarskiej (Konwencja o obszarach wodno-błotnych mających znaczenie międzynarodowe, zwłaszcza jako środowisko życiowe ptactwa wodnego) (Konwencja ..., 1971). Zgodnie z tą konwencją, obszarem wodno-błotnym określa się *tereny bagien, błot i torfowisk lub naturalne i sztuczne zbiorniki wodne, stałe i okresowe o wodach stojących lub płynących słodkich słonawych lub słonych, łącznie z wodami morskimi, których głębokość podczas odpływu nie przekracza 6 metrów*. Mimo, że przytoczoną definicję obszarów wodno-błotnych często stosuje się w formułowaniu polityki ochrony środowiska, to w opracowaniach naukowych lub aplikacyjnych jest mniej użyteczna. Nie ma ogólnie akceptowalnej definicji obszarów wodno-błotnych, ani ich ujednoliconej systematyki. W polskim piśmiennictwie nazwa „mokradła” funkcjonuje jako określenie: (1) siedliska hydrogenicznego (Okruszko H., 1992), w którym następuje akumulacja wody i organicznej masy glebowej, (2) terenów przejściowych między systemami wodnymi i lądowymi z płytkim zwierciadłem wody gruntowej lub pokrytych płytką warstwą wody – odpowiadających angielskiemu terminowi *wetlands* (Ilnicki, 2002) lub (3)

ekosystemów lądowych (Dembek i in., 2004), w których specyficzne warunki glebowo-wodne tworzą siedliska zasiedlane przez unikalne zbiorowiska roślinne i zwierzęce.

Uznając, że mokradło oznacza ekosystem lądowy w fazie akumulacji, a jednocześnie jest tłumaczeniem słowa *wetlands*, w niniejszej pracy przyjęto najbardziej ogólną, a jednocześnie dość jednoznaczną definicję mokradeł podaną przez Mitscha i Gosselinka (1993), zgodnie z którą są to obszary charakteryzujące się trzema cechami: (1) *długotrwałą obecnością wody na powierzchni gruntu lub w strefie korzeniowej*, (2) *odrębnością gleb, których cechy fizyczno-chemiczne odzwierciedlają specyficzne warunki wodne oraz* (3) *występowaniem specyficznej roślinności zaadaptowanej do szczególnych warunków glebowo-wodnych i brakiem roślin nie tolerujących podtopienia*. Traktując mokradła jako specyficzne ekosystemy, często przyjmuje się także, że dwa pierwsze czynniki kształtują siedlisko określane jako siedlisko bagienne. W niniejszej pracy przyjęto założenie, że obszary mokradłowe to wszystkie miejsca, w których obecnie lub w przeszłości występowały warunki glebowo-wodne sprzyjające rozwojowi mokradeł.

Mokradła są ekosystemami zagrożonymi. Szacuje się, że w środkowej i zachodniej części kontynentu europejskiego ponad 80% (Smits, Cals, Dorst, 2001; Borger, 1992), a na świecie ponad połowa (Strategia ..., 2006) terenów mokradłowych została osuszona lub przekształcona w takim stopniu, że przestała pełnić swoje pierwotne funkcje w krajobrazie, w tym miejsc bytowania specyficznych gatunków roślin i zwierząt. Tereny mokradłowe przestały także pełnić funkcję retencjonowania wód wezbraniowych, zasilania wód podziemnych, akumulacji zasobów węgla organicznego, jak również retencjonowania substancji biogennych, a więc funkcji, których znaczenie przekracza obszary mokradeł.

Uwzględniając oddziaływanie 2 czynników: zalewu i natlenienia H. Okruszko (1986, 1992) podzielił mokradła na 5 zasadniczych typów: podmokliska, torfowiska, mułowiska, namuliska i jeziorzyska (tab. 1). Jeziorzyska, zamykające tę klasyfikację, należą już do ekosystemów wodnych. Podział przedstawiony w tab. 1 dotyczy mokradeł nieodwodnionych, znajdujących się w fazie akumulacji utworów glebowych i opiera się na stwierdzeniu zależności, że im siedlisko cechuje się większym natlenieniem, tym mniej materii organicznej się w nim akumuluje.

Tab. 1. Rodzaje mokradeł na tle natlenienia i występowania zalewu wg H. Okruszko (1986, 1992)

Natlenienie	Zalew		
	brak	okresowy	stały
Silne (aerobioza)	Próchnicowiska – podmokliska okresowe	Namuliska	Jeziorzyska
Umiarkowane (aero-anaerobioza)	Podmokliska stałe	Mułowiska zalewane	Mułowiska zatopione
Słabe (anaerobioza)	Torfowiska wynurzone	Torfowiska zalewane	Torfowiska zatopione

Z treści tabeli 1 można wnioskować o usytuowaniu poszczególnych typów mokradeł w rzeźbie terenu (rys. 1). Najwyższe położenia zajmują podmokliska, dla których typowe lokalizacje to bardzo płytkie zagłębienia, płaskie wyniesienia (grądy) w dolinach rzecznych



oraz dolne części stoków dolin. Podobne, choć nieco niższe położenia charakteryzują podmokliska stałe, często również określane jako siedliska przytorfowe.

Kolejne, co do wysokości położenia w rzeźbie terenu, są torfowiska wynurzone, do których nie docierają zalewy rzeczne. Są to między innymi bardzo ubogie w składniki troficzne i zakwaszone torfowiska wysokie. Proces akumulacji torfu warunkowany jest tu brakiem odpływu.

Torfowiska zalewane, w porównaniu z torfowiskami wynurzonymi, zajmują niższe położenia, gdyż najczęściej spotykane są na tarasach zalewowych dolin rzecznych. Zalewy związane są z reguły z wodami rzecznyymi, choć znaczny udział mogą tu mieć także wody roztopowe (Okruszko T. i in. 2003).

Torfowiska zatopione to rzadki w warunkach Polski typ torfowisk, tworzących się w zastoiskowych odcinkach dolin, w miejscach, gdzie dochodzi do załamania spadku podłużnego doliny

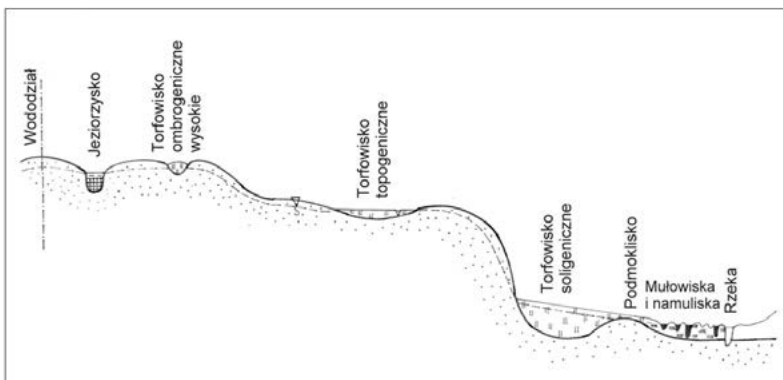
Mułowiska zajmują tarasy zalewowe dolin rzecznych tam, gdzie spadek podłużny i poprzeczny dna doliny umożliwia dłuższe utrzymywanie się zalewów, lecz poziom wód gruntowych nie jest na tyle wysoki, aby mógł się odłożyć torf. Typowym miejscem występowania mułowisk są niezalądowane starorzecza.

Namuliska zajmują położenia przyrzeczne, często w mozaice z mułowiskami.

W zależności od sposobu zasilania wodą wyróżnia się podstawowe cztery główne typy mokradel (Okruszko H., 1992), wymienione poniżej.

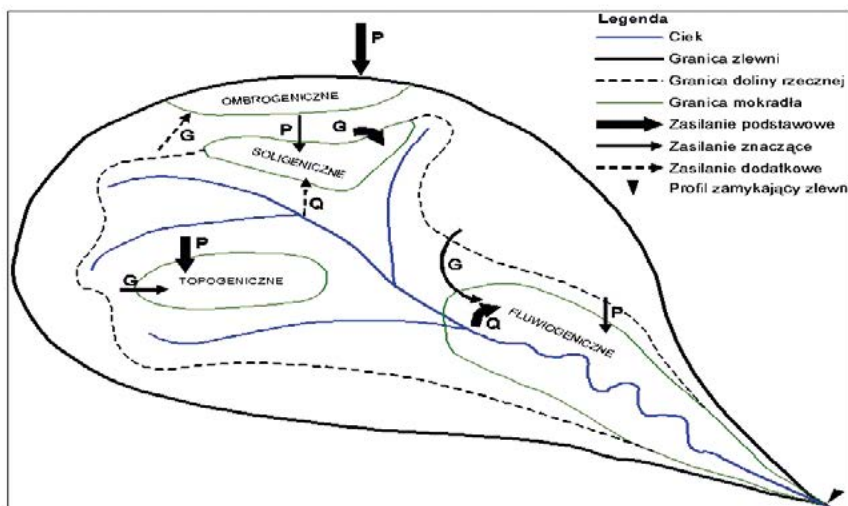
- Mokradła ombrogeniczne – zasilane przez wody opadowe bezpośrednio lub z niewielkiej zlewni własnej. Są to najczęściej torfowiska wysokie i przejściowe.
- Mokradła topogeniczne – zasilane przez wody tworzące podziemny zbiornik o płaskim lustrze, co wiąże się z niewielkim ruchem tych wód.
- Mokradła soligeniczne – zasilane przez ruchliwe wody podziemne, napływające do siedliska z warstw wodonośnych obszarów przyległych. Typową formacją są tutaj torfowiska niskie.
- Mokradła fluwiogeniczne – zasilane przez wody powierzchniowe, najczęściej rzeczne. Są to najczęściej mułowiska i namuliska.

Podstawowe znaczenie dla sposobu zasilania mokradła ma jego położenie na terenie zlewni, co schematycznie przedstawiono w przekroju zlewni na rys. 1, a w jej planie na rys. 2.



Rys. 1. Usytuowanie wybranych typów mokradel w przekroju zlewni rzecznej (Dembek i in., 2004)

We fluwiogenicznym typie zasilania mokradeł szczególną rolę odgrywają zalewy wód rzecznych. Powstają one w dolinach rzek, których zasoby wodne kształtuje odpowiednio duża zlewnia, a charakter geomorfologiczny doliny umożliwia gromadzenie wody podobnie jak w zbiorniku retencyjnym. Wezbrania powstające w zlewni (o charakterze roztopowym lub opadowym) rozlewają się na dnie doliny. Gromadząca się woda silnie nawadnia lub zatapia teren na okres od kilku do kilkudziesięciu tygodni w regularnych cyklach wieloletnich. Regularne występowanie i długotrwałość zalewu to podstawowe czynniki kształtujące warunki w siedliskach tworzonych przez ten typ zasilania. Rzeka nie jest oczywiście jedynym czynnikiem kształtującym stosunki wodne mokradeł tego typu. Pełne zasoby wodne doliny tworzą wody powierzchniowe i podziemne spływające z otaczających dolinę wysoczyzn, wody podpowierzchniowe i gruntowe, opad oraz ewentualnie dopływ wód podziemnych z niższych poziomów wodonośnych. Im dolina jest szersza, tym lokalnie poszczególne źródła wody, w sposób dla siebie specyficzny, kształtują warunki siedliskowe.



Rys. 2. Usytuowanie wybranych typów mokradeł w planie zlewni rzecznej

Wody podziemne, często pochodzące ze znacznie oddalonych obszarów zasilania kształtują soligeniczny typ zasilania mokradeł. Od lokalnego układu warstw geologicznych zależy prędkość i napór napływających wód gruntowych. Akumulująca się masa torfowa, o małej przewodności hydraulicznej, tamuje przepływ i zwiększa ilość gromadzonej wody. Im większa jest zlewnia podziemna zasilająca mokradło, tym bardziej stabilne stają się warunki zasilania. Oznacza to małą zmienność dopływu w ciągu roku lub nawet w skali wielolecia. Mokradła o soligenicznym typie zasilania występują w różnych układach geomorfologicznych. Często są usytuowane w przykrawędziowych częściach większych dolin, na lokalnych wychodniach wód gruntowych, tworząc rodzaj „korków” z torfów mechowskich (Dembek, 1992, 1993). Czasami tworzą małe torfowiska na zboczach wyniesień morenowych. W obu układach omawiane mokradła mogą współtworzyć obszary źródłiskowe. Największy spójny obszar zajmują mokradła soligeniczne, kiedy występują w górnych częściach dorzecza (w zlewniach 1 do 3 rzędu), zajmują cały przekrój doliny a rzeka, która

je drekuje, jest zawieszona w utworach organicznych. W takich dolinach zalewy wezbraniowe ograniczają się do najbliższego sąsiedztwa koryta rzecznege.

Na obszarach wododziałowych, na dnie szerokich kotlin lub niecek pojeziornych, rozwijają się mokradła o topogenicznym typie zasilania. Ich cechą charakterystyczną jest silne uwodnienie wodami gruntowymi o bardzo małej ruchliwości. Zwierciadło wód gruntowych układa się prawie poziomo albo z niewielkim spadkiem, równoległe do powierzchni terenu. Niewielki dopływ wód gruntowych, w sezonie wegetacyjnym nie jest w stanie rekompensować ubytków wody na skutek ewapotranspiracji, będącej podstawową drogą odpływu wody z siedliska w warunkach naturalnych. Obecnie wiele mokradeł tego typu zostało częściowo odwodnionych przez budowę kanałów lub wydłużenie cieków, co nasila przesuszanie siedliska.

W warunkach przewagi opadu nad ewapotranspiracją, w miejscach o utrudnionym odpływie wody powstają mokradła o zasilaniu ombrogenicznym. Mają one bardzo ograniczoną zlewnię własną, a w skrajnych przypadkach (bałtyckie torfowiska kopułowe) niemal ona nie występuje i jedynym źródłem wody są opady. W warunkach klimatu Polski taka sytuacja występuje w górach i na Pomorzu, w innych rejonach warunki zasilania tak zwanych torfowisk przejściowych są mieszane: opadowo-gruntowe.

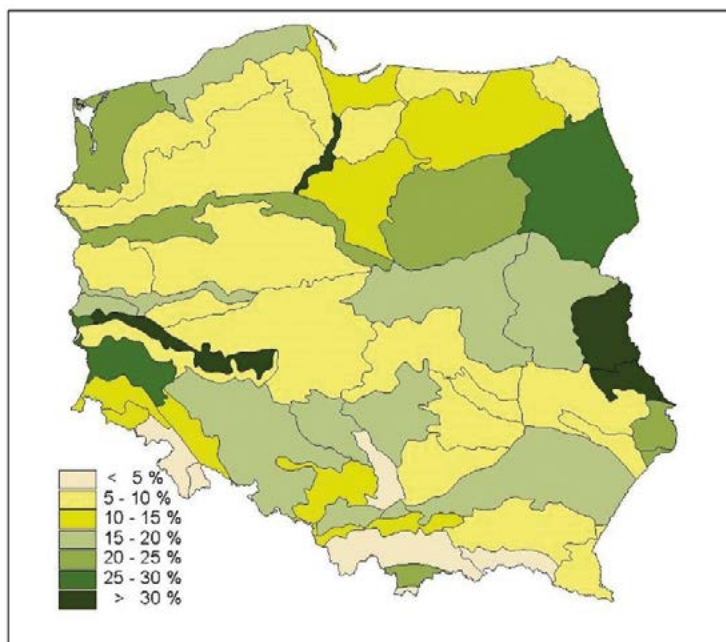
Główne cechy identyfikacyjne tak usystematyzowanych mokradeł opisali Dembek i Oświt (1992).

Wybrane dane liczbowe, dotyczące siedlisk mokradłowych w Polsce, zamieszczono w tab. 2. Należy zwrócić uwagę, że torfowiska zajmują jedynie 28% powierzchni wszystkich siedlisk mokradłowych. Ponad połowa złóż torfu występuje na gytii, co świadczy o ich genezie pojeziornej.

Tab. 2. Siedliska mokradłowe Polski w liczbach (dane ITP)

Typ siedliska	Liczba	Powierzchnia ha
Torfowiska o powierzchni >1 ha, w tym:	50 200	1 211 000
– torfowiska wysokie	4 230	38 000
– torfowiska na gytii	26 370	626 700
– pozostałe	19 600	546 300
Podmokliska okresowe i stałe, namuliska, mułowiska, gytiiwiska	–	3 135 000
<b>Ogółem</b>	–	<b>4 346 000</b>

Przeciętne polskie torfowisko ma powierzchnię 24 ha i miąższość torfu 1,6 m. Rozmieszczenie siedlisk mokradłowych na terenie Polski jest nierównomierne – rys. 3. Najwyższymi udziałami siedlisk hydrogenicznych w powierzchniach makroregionów (powyżej 30%) charakteryzują się: Polesie Zachodnie, Polesie Wołyńskie, Obniżenie Milicko-Głogowskie oraz Dolina Dolnej Wisły. Bardzo duży udział siedlisk hydrogenicznych (25-30%) cechuje także Nizinę Północnopodlaską oraz Nizinę Śląsko-Łużycką. Najmniejszym udziałem siedlisk mokradłowych charakteryzują się regiony o charakterze górskim i wyżynnym.



Rys. 3. Udział (%) siedlisk mokradłowych w powierzchniach makroregionów fizycznogeograficznych Polski (Dembek i in. 2004)

Niektóre rodzaje mokradeł są objęte ochroną na mocy Dyrektywy Siedliskowej (Dyrektywa ..., 1992). Ukazano je w tab. 3. Jak widać w tabeli, wśród mokradłowych siedlisk przyrodniczych chronionych Dyrektywą Siedliskową nie ma takich, które mają istotne znaczenie rolnicze. Ekstensywna gospodarka łąkowa lub pastwiskowa o charakterze zachowawczym jest im natomiast niezbędna dla ochrony przed ekspansją gatunków światłolubnych i szybko rosnących, w tym drzew i krzewów. Lasy łąkowe w znacznym stopniu kształtowane są przez warunki zalewu i stopnia zdrenowania doliny (Grzegorzczak i inni, 2011; Pusłowska i inni, 2014). Dyrektywa Siedliskowa w znaczący sposób zmieniła status ochrony polskich torfowisk. Blisko połowa powierzchni torfowisk (571 tys. ha) znalazła się w obrębie sieci Natura 2000, co bardzo poprawiło szanse ich ochrony.

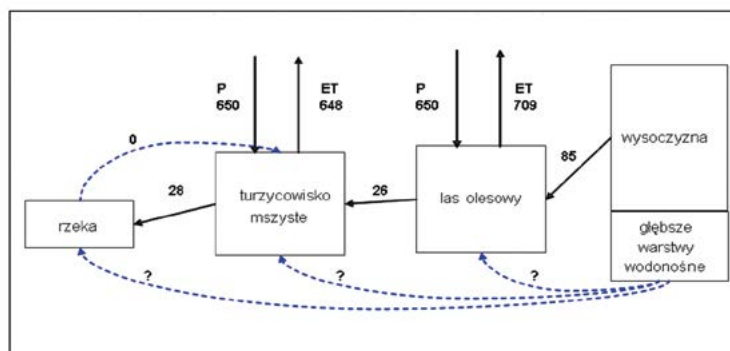
Tab. 3. Siedliska przyrodnicze na terenach mokradłowych, do ochrony których Polska jest zobowiązana na mocy Dyrektywy Siedliskowej (wykaz uproszczony)

Wykaz siedlisk	Wykaz siedlisk cd.
Śródlądowe błotniste solniska z solirodkiem	Obniżenia na podłożu torfowym
Śródlądowe halofilne łąki	Torfowiska nakredowe
Zalewane muliste brzegi rzek	Źródlika wapienne
Zmiennowilgotne łąki trzęślicowe	Torfowiska zasadowe

Łąki selernicowe	Bory i lasy bagienne
Torfowiska wysokie	Łęgowe lasy dębowo-wiązowo-jesionowe
Torfowiska przejściowe i trzęsawiska	Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe

Dla potrzeb analizy roli obszarów mokradłowych w gospodarce wodnej w zlewni cezurą jest ich stopień odwodnienia. W przypadku mokradeł o niezaburzonych stosunkach wodnych kluczowe znaczenie ma ich typ zasilania. Przykładem (Okruszko T., 2005) może być uproszczony bilans wodny dwóch skrajnych typów zasilania.

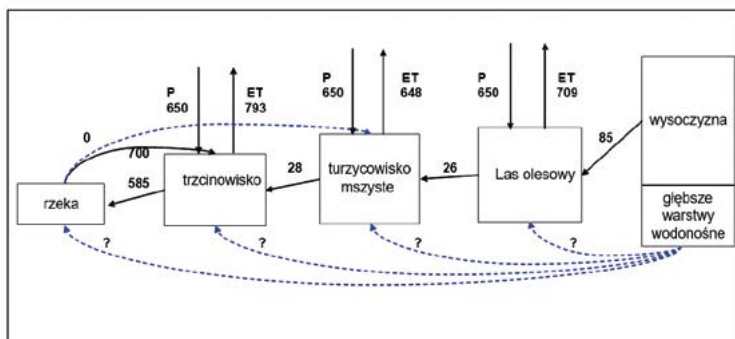
Dla mokradeł o soligenicznym typie zasilania przyjęto charakterystyczny dla północnowschodniej części górnego basenu Biebrzy układ siedlisk (rys. 4), w którym przykrawędziowe torfowisko wyciekowe zasilane wodami gruntowymi jest oddzielone od rzeki torfowiskiem niezależnym, bazuje na przepływowych wodach gruntowych i opadzie; sporadycznie zwłaszcza w strefie przybrzeżnej zalewane jest wodami rzeczными, nie mającymi wpływu na bilans wodny siedliska. Na torfowisku wyciekowym dominuje ols, natomiast na torfowisku niezależnym zbiorowiska turzycowo-mszyste. Przyjmując typowe zasilanie takiego układu siedlisk wodami gruntowymi na poziomie 85 mm/rok (Szuniewicz i in., 1992) oraz obliczając wysokość ewapotranspiracji (odpowiednio dla olszyny bagiennej i zbiorowisk turzycowo-mszystych na poziomie 709 i 648 mm), można ustalić, że zasilenie rzeki z bezpośrednio przylegających torfowisk jest niewielkie (ok. 28 mm rocznie). Dodatkowo zasilanie rzeki wodami podziemnymi może być realizowane przez podściełające warstwy wodonośne, w przypadku ich przecięcia przez koryto cieku.



Rys. 4. Bilans wodny dla typowych mokradeł o soligenicznym typie zasilania.  
P – opad (mm), ET – ewapotranspiracja rzeczywista (mm) (za Okruszko T, 2005)

Dla mokradeł o fluwio genicznym typie zasilania przyjęto układ siedlisk typowy dla doliny bagiennej (rys. 5) reprezentowany przez południowo-zachodnią część dolnego basenu rzeki Biebrzy (Okruszko T. i in., 2003; Okruszko T., Kiczko, 2008). Występują w niej kolejno przykrawędziowe torfowiska wyciekowe zasilane wodami gruntowymi, torfowiska niezależne o mieszanym typie zasilania oraz torfowisko zalewane lub mułowisko podlegające częstym zalewom rzeczonym. Dominującymi zbiorowiskami roślinnymi są kolejno: ols, zbiorowiska turzycowo-mszyste oraz szuwary wielkoturzycowe lub szuwary wysokich traw. Dane dotyczące zasilania gruntowego przyjęto ponownie na podstawie literatury,

a następnie obliczono średnią roczną ewapotranspirację dla poszczególnych zespołów roślinnych. Średnie w wieloleciu zasilanie wodami zalewowymi obliczono na podstawie analizy wielkości zalewów w basenie dolnym Biebrzy przy stanie zwyczajnej wielkiej wody, dzieląc objętość fali wezbraniowej, wynoszącej 68,4 mln m<sup>3</sup>, przez powierzchnię terenu zalewowego (97,3 km<sup>2</sup>). W rezultacie, wielkość zasilania wodami wezbraniowymi przyjęto na poziomie 700 mm rocznie. Dopływ do cieków obliczono jako różnicę między wodą zalewową 700 mm i bilansem wód w torfowisku zalewanym. Ponieważ opad i dopływ wód gruntowych nie pokrywa strat na ewapotranspirację, brakująca ilość wody, w wysokości średnio rocznie 115 mm, musi być pokryta z dopływu wód powierzchniowych w trakcie zalewu. Dopływ do rzeki, wynoszący średni w wieloleciu 585 mm, można traktować jako zasilanie przepływów niżówkowych z wody zgromadzonej w dolinie po okresie wezbraniowym. Ta ostatnia wartość (podobnie jak i zasilanie z wód wezbraniowych) jest oczywiście silnie uzależniona od warunków fizjograficznych poszczególnych dolin rzecznych. Istota procesu wymiany wody między ciekami a mokradłami o fluwiogenicznym typie zasilania pozostanie jednak niezmienną.



Rys. 5. Bilans wodny dla typowych siedlisk bagiennych o fluwiogenicznym typie zasilania.  
P – opad (mm), ET – ewapotranspiracja rzeczywista (mm)

Wyniki uproszczonych bilansów wodnych wskazują, że mokradła w zlewni należy traktować przede wszystkim jako użytkowników wody. Mokradła soligeniczne (i topogeniczne) to użytkownicy wód gruntowych, natomiast mokradła fluwiogeniczne to użytkownicy wód powierzchniowych i do pewnego stopnia podziemnych. Rozmija się to z potocznym rozumieniem bagien jako źródła wody lub pewnego typu zbiorników retencyjnych. W większości naturalne mokradła zasilane wodami podziemnymi można porównać do zbiorników retencyjnych o określonej pojemności całkowitej i zerowej pojemności użytecznej, gdyż woda zgromadzona w takim zbiorniku jest zużywana w procesie ewapotranspiracji (Grygoruk i inni, 2011). Ich dodatkową rolą jest opóźnianie odpływu wód z terenów wysoczyznowych, co prowadzi do zwiększonego zasilania wód podziemnych. W przypadku mokradł fluwiogenicznych do tego uproszczonego schematu należy dodać rezerwę powodziową o pojemności równej retencji doliny (porównaj obliczenia dla doliny Narwi wykonanej przez Szporak i współautorów (2015). Co oznacza, że mokradła tego typu można wykorzystać jako element zmniejszania ryzyka powodziowego (Okruszko, Querner, 2005). Wartość usługi ekosystemowej związanej z retencjonowaniem wód w basenie dolnym Biebrzy obliczyli Grygoruk i współautorzy (2016) przez porównanie w kosztami budowy zbiorników małej retencji na Podlasiu i oszacowali ją na około 5,49 mln EUR/rok.



W przypadku odwodnionych obszarów mokradłowych, istotne znaczenie ma określenie możliwego zakresu zalegania wód gruntowych, ponieważ jest to zmienna kształtowana przez działania techniczne. Wieloletnie prace badawcze nad warunkami wodno-glebowymi mokradeł, ukierunkowane na ich rolnicze wykorzystanie, prowadzone były w latach 1960-1990 w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy). Jednymi z najważniejszych wyników, będących zsyntetyzowanym rezultatem tych prac, było ustalenie optymalnych i ekstremalnych dla gospodarki łąkarskiej poziomów wody gruntowej w zależności od rodzajów gleb. Dane te ukazano w tab. 4.

Tab. 4. Optymalne i graniczne dla traw uprawnych poziomy wody gruntowej w glebach pod trwałymi użytkami zielonymi na niżu (Szuniewicz i in. 1992)

Warunki glebowe	Optymalne (i graniczne) głębokości do wody gruntowej, w cm
Torfy słabo rozłożone	0,80 (0,35-1,10)
Torfy średnio rozłożone	0,65 (0,35-0,95)
Torfy średnio i silnie rozłożone	0,55 (0,30-0,85)
Torfy silnie rozłożone	0,35 (0,25-0,60)
Płytkie gleby nietorfowe	0,35 (0,25-0,50)

Dane zawarte w tab. 4 oznaczają, że dla większości siedlisk użytków zielonych w Polsce optymalny poziom wody gruntowej to ok. 0,5-0,6 m od powierzchni terenu. W ostatnich dekadach woda gruntowa w tych siedliskach opadała w pełni sezonu wegetacyjnego do jednego i więcej metra, co miało szczególnie niekorzystne skutki dla łąk położonych na płytkich glebach nietorfowych. Oznacza to, że siedliska mokradłowe dysponują ogromnym potencjałem retencji gruntowej, który mógłby być wykorzystany pod warunkiem istnienia i prawidłowego funkcjonowania urządzeń piętrzących na rowach melioracyjnych. Ma to duże znaczenie przeciwpowodziowe zważywszy, że wezbrania nie generują się w rzekach, ale na obszarze zlewni, a więc tam gdzie funkcjonują systemy melioracyjne. Ochronie przeciwpowodziowej sprzyja zwiększenie retencyjności zlewni, a zwiększeniu retencyjności zlewni sprzyjają właściwe melioracje – nie tylko wodne. Aby uświadomić sobie rozmiar retencji gruntowej, można posłużyć się bardzo uproszczonym obliczeniem: - w ambitnych planach hydrotechnicznych do roku 2050 postuluje się budowę zbiorników retencyjnych zdolnych do zgromadzenia 15% rocznego odpływu powierzchniowego z obszaru Polski (64 km<sup>3</sup>), a więc 9 600 000 000 m<sup>3</sup>. Taką ilość wody można zgromadzić na obszarze 3 840 000 ha siedlisk mokradłowych, gdyby założyć średnie podniesienie wody gruntowej na ich obszarze o 50 cm przy średniej porowatości gruntu = 50% obj. W świetle danych z tab. 4, działanie takie wyszłoby na dobre użytkom zielonym, bowiem zapobiegłoby ich przesuszaniu. Oczywiście, należy brać pod uwagę, że retencja gruntowa jest mniej dyspozycyjna niż zbiornikowa (Kowalewski, 2003) oraz że jej utworzenie wymagałoby zlokalizowania tysięcy małych piętrzeń na istniejących rowach melioracyjnych. Nie jest to jednak w niezgodzie z obecnymi trendami w sferze doskonalenia gospodarki wodnej dla potrzeb rolnictwa i głoszeniem potrzeby pomocy rolnikom w tym zakresie. Co więcej, takie zabiegi pozwoliłyby w sposób znaczący ograniczyć emisję dwutlenku węgla do atmosfery, pochodzącą z utleniania się węgla organicznego w przesuszonych glebach. Intensywność

wydzielania się dwutlenku węgla na łąkach torfowiskowych pozbawionych nawodnień jest o 22% większa niż na łąkach produkcyjnych, prawidłowo uwodnionych (Czaplak, Dembek, 2000).

Należy zwrócić uwagę, że będące w obiegu pojęcie „małej retencji” w coraz mniejszym stopniu oznacza małe zbiorniki wodne (Mioduszewski, 2003), ewoluując w stronę znaczenia retencji naturalnej zlewni (Mioduszewski W., Okruszko T., 2016; Kardel i in., 2011). W tym ujęciu określenie „mała retencja” zaczyna być całkowicie mylące, biorąc pod uwagę jej ogromny rozmiar i znaczenie w porównaniu z „dużą retencją” związaną z dużymi zbiornikami wodnymi.

## WNIOSKI

1. Możliwości retencji wód i alimentacji cieków zależą od typu zasilania mokradeł. W analizach zmierzających do poprawy bilansu wodnego zlewni należy rozróżnić mokradła w stanie naturalnym od obszarów mokradłowych, które zostały wcześniej odwodnione.
2. Jednym z kluczowych czynników dla bilansu wodnego mokradła jest jego szata roślinna kształtująca ewapotranspirację.
3. Wszystkie mokradła akumulują wodę, jednak oddają ją ciekom przede wszystkim mokradła fluwiogeniczne. Ich możliwości złagodzenia wielkości przepływów wezbrańniowych oraz alimentacji niżówek zależą w głównej mierze od wielkości terenów zalewowych, pozostających w łączności hydraulicznej z rzeką. Potencjał terenów naturalnych w zakresie gospodarki wodnej można łączyć z programami ochrony środowiska, np. w ramach sieci Natura 2000.
4. Zmeliorowane obszary mokradłowe mogą stanowić tereny retencji wodnej przy odpowiednim projektowaniu (dostosowaniu) i eksploatacji urządzeń piętrzących. Potencjał tych terenów jest znaczący, wymaga jednak tworzenia programów wspierających nieprodukcyjne świadczenia obszarów wiejskich.
5. Zwiększanie buforowych właściwości krajobrazu jest szczególnie ważne w programach przeciwdziałania skutkom suszy.

## LITERATURA

- Borger G. J., 1992: Draining-digging-dredging; the creation of a new landscape in the peat areas of the low countries. (W:) Fens and bogs in The Netherlands. Verhoeven J.T.A. (ed.), Kluwer, Dordrecht, s. 131-172.
- Chomicz K., 1976: Opady rzeczywiste w Polsce (1931 – 1980). Prz.. Geofiz. 21(29), 1.
- Czaplak, Dembek, 2000: Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. (W:) Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody. Zesz. edukacyjne, Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Dembek W., 1992: Soligenous peatlands in Poland and the main problems with their production and utilization. Proceedings of the 9th International Peat Congress. IPS, Upsala Sweden, s. 278–293.
- Dembek W., 1993: Rodzaje torfowisk soligenicznych oraz ich znaczenie przyrodnicze i rolnicze. Wiad. IMUZ, T. XVII, z. 3, s. 11-36.

- Dembek W., Oświt J., 1992: Rozpoznawanie warunków hydrologicznego zasilania siedlisk mokradłowych. (W:) Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe. Biblioteczka Wiadomości IMUZ 79, Falenty, s. 15-38.
- Dembek W., Pawlaczyk P., Sienkiewicz J., Dzierża P., 2004: Obszary wodno-błotne w Polsce. Wydawnictwo IMUZ Falenty, s. 76.
- Dembek W., Piórkowski H., Rycharski M., 2000: Mokradła na tle regionalizacji fizycznogeograficznej Polski. Bibl. Wiad. IMUZ 97, Falenty, s. 135.
- Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. o ochronie naturalnych siedlisk oraz dziko żyjącej fauny i flory (Dyrektywa Siedliskowa): <http://www.ecnc.nl/doc/europe/legislat/habidire.html>
- Grygoruk M., Mirosław-Świątek D., Okruszko T., Batelaan O., Szatyłowicz J.: 2011: Szacowanie ewapotranspiracji rzeczywistej zakrzaceń brzoźowych na torfowisku niskim na podstawie dobowych zmian stanów wód podziemnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, T. 11 z. 4 (36), s. 121-136.
- Grygoruk, M., Mirosław-Świątek, D., Chrzanowska, W., Ignar, S., 2013. How much for water? Economic assessment and mapping of floodplain water storage as a catchment scale ecosystem service of wetlands. *Water* 5 (4), 1760-1779. doi: 10.3390/w5041760.
- Grzegorzczak M., Jaroszewicz B., Okruszko T., Ignar S. 2011: Wpływ wielkości zalewów na zachowanie lasów łęgowych. *Postępy Nauk Rolniczych*, R. 63, nr 1, s. 99-107.
- Ilnicki P., 2002: Torfowiska i torf. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, Poznań, s. 606.
- Kardel I., Kupczyk P., Mioduszewski W., Mitraszewska-Ostapowicz A., Okruszko T., Pchałek M., 2011: Mała retencja, Planowanie, Realizacja, Eksploatacja. Warszawa.
- Konwencja o obszarach wodno-błotnych mających znaczenie międzynarodowe, zwłaszcza jako środowisko życiowe ptactwa wodnego. 1971. [www.gdos.gov.pl/konwencja-ramsarska](http://www.gdos.gov.pl/konwencja-ramsarska)
- Kowalewski Z., 2003: Wpływ retencjonowania wód powierzchniowych na bilans wodny małych zlewni rolniczych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie 6, Wyd. IMUZ Falenty.
- Mioduszewski W. 2003. Mała retencja. Ochrona zasobów wodnych i środowiska naturalnego. Poradnik. Wydaw. IMUZ Falenty, s. 49.
- Mioduszewski W., Szuniewicz J., Kowalewski Z., Chrzanowki S., Ślesicka A., Borowski J., 1996: Gospodarka wodna na torfowisku w basenie środkowym Biebrzy. Bibl. Wiad. IMUZ 90: 1-84.
- Mioduszewski W., Okruszko T., 2016 (red.): Metoda łagodzenia skutków suszy, ograniczania ryzyka powodziowego i ochrona różnorodności biologicznej. Podstawy Metodyczne. Globalne Partnerstwo dla Wody, Polska, 2016. ISBN 978-83-944813-0-8, str. 58.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2000. *Wetlands*. Third edition. Wiley.
- Okruszko H., 1986: Zasady określania rodzaju oraz potencjału produkcyjnego hydrogenicznych gleb łąkowych. IMUZ, Materiały instruktażowe 51, Falenty, s. 52.
- Okruszko H., 1992: Siedliska hydrogeniczne, ich specyfika i zróżnicowanie. (W:) Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe. Biblioteczka Wiadomości IMUZ 79, Falenty, s. 5-14.
- Okruszko T., Kiczko A., 2008: Assessment of water requirements of swamp communities: the river Narew case study. *Publications of the Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences* 2008, Vol. E-9 (405), Warszawa, s. 27-39.

- Okruszko T., Mioduszewski W., 2004: Problemy gospodarki wodnej na obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego. Zeszyty Naukowe PAN nr 38, s. 215-223.
- Okruszko T., Querner E., 2006: Natural flood defences can contribute to flood risk management. (W:) How to use floodplains for flood risk reduction, Ecoflood Guidelines, European Commission, s. 41-47.
- Okruszko T., Wasilewicz M., Dembek W., Rycharski M., Matuszkiewicz A., 2003: Analiza Zmian warunków wodnych, szaty roślinnej i gleb bagna Ławki w Dolinie Biebrzy. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. IMUZ, Falenty, t. 3 z. 1 (7), s. 107-128.
- Pusłowska-Tyszewska D., Jaroszewicz B., Chormański J., Pirożnikow E., Okruszko T., 2014: Stosunki wodne w siedliskach łągowych małych rzek nizinnych na przykładzie doliny Narewki. SYLWAN 158 (2), s. 132-142.
- Roguski W., Sarnacka S., Drupka S., 1987: Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych. IMUZ, Falenty.
- Smits A.J.M., Cals M.J.R., Dorst H.J., 2001: Evolution of European river basin management. (W:) River restoration in Europe. Practical Approaches. Nijland H.J., Cals M.J.R. (eds.). Conference on River Restoration, Wageningen, The Netherlands 2000. Proceedings. RIZA report 2001.023. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment RIZA, Arnhem, Lelystad.
- Strategia ochrony obszarów wodno-błotnych w Polsce wraz z planem działań (na lata 2006-2013). Ministerstwo Środowiska, 2006, s. 60.
- Szporak-Wasilewska S., Piniewski M., Okruszko T., Kubrak J., 2015: What we can learn from a wetland water balance? Narew National Park case study. Ecohydrology & Hydrobiology 03/2015.
- Szuniewicz J., Churska Cz., Churski T., 1992: Potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe i ich zróżnicowanie pod względem dyspozycyjnych zapasów wody użytecznej. (W:) Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe. Biblioteczka Wiadomości IMUZ 79, Falenty, s. 69-93.
- Szuniewicz J., Radomski L., 1990: Niedobory opadów dla zmeliorowanych łąk trzykośnych w rejonie Zakładu Doświadczalnego Biebrza. Wiad. Melior. i Łąk 9 – 10.
- Świątek D., Szporak S., Chormański J., Okruszko T., 2008: Hydrodynamic model of the lower Biebrza river flow - a tool for assessing the hydrologic vulnerability of a floodplain to management practices. Ecohydrology & Hydrobiology, 8,2-4, s. 24-32.
- Turner K. R., van den Bergh J., Söderqvist T., Barendregt A., van der Straaten J., Maltby E., van Ierland E., 2000: Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. (W:) The values of wetlands: Landscape and institutional perspectives, Elsevier Science, Ecological Economics, 35, s. 7-23.

## SELECTED PROBLEMS OF WATER MANAGEMENT ON WETLAND AREAS

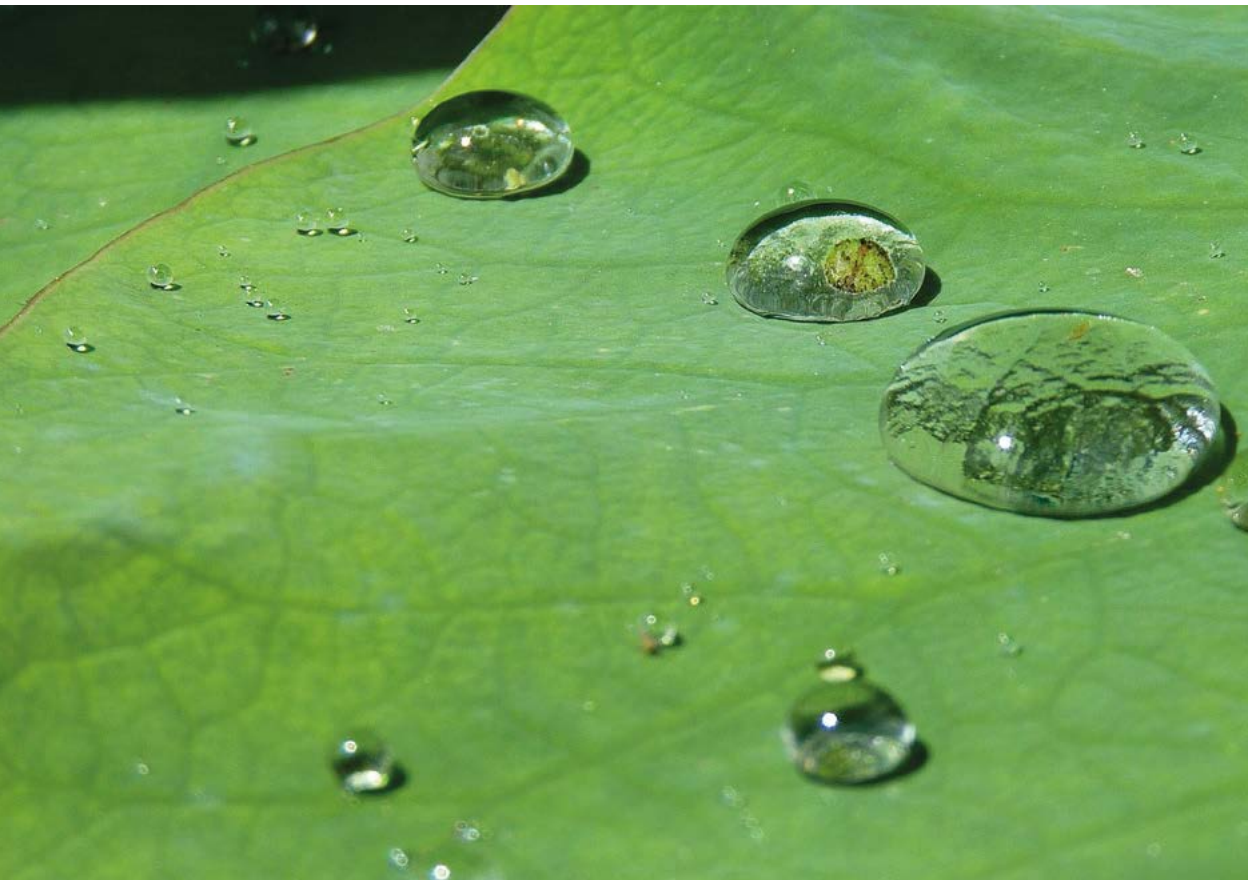
**Summary:** Chapter presents an overview of water management problem in wetlands. It focusses on role of water in wetland habitat status and functions. The scientific and legal definitions of wetlands in Poland are given including ordination, location in provinces and main characteristics. Additional attention is paid to EU wetlands habitats as described in Habitat Directive. Information on optimum water level for different ecosystems including grasslands gives an opportunity for assessment of retention potential of natural and

reclaimed wetlands compared to volume of water reservoirs. Issue of CO<sub>2</sub> emission is raised as an additional component of regulatory ecosystem services of wetlands. Proper water management may lead to decrease of the emission together with increasing water retention capacity. As an example the water balance of ground water (soligenic) and surface water (fluviogenic) habitats are calculated. The meteorological and hydrological data are given for Biebrza Wetlands. The role of vegetation is stressed as a main factor in water balance due to highly varied evapotranspiration. The process of shrub encroachment gives a good example of water balance changes due to change of plant cover.

**Key words:** wetlands, water balance of habitats, natural retention, droughts and flood mitigation

# ROZDZIAŁ III

## GOSPODARKA WODNA – PRODUKCJA ROŚLINNA



- POSZUKIWANIE FORM ROŚLIN WIELOLETNIICH O PODWYŻSZONEJ ODPORNOŚCI NA SUSZĘ NA PRZYKŁADZIE TRAW
- DEFICYTY WODY I POTRZEBY NAWODNIEŃ ROŚLIN UPRAWNYCH W POLSCE
- OKRESOWE NIEDOBORY WODY A POSTĘP BIOLOGICZNY W HODOWLI ZBÓŻ
- RACJONALNE I OSZCZĘDNE GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI W PRODUKCJI ZIEMNIAKÓW
- REAKCJA RZEPAKU NA WARUNKI WILGOTNOŚCIOWE ORAZ ZNACZENIE ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH I PRAC HODOWLANYCH W PRZECIWDZIAŁANIU EFEKTOM NIEDOBORU OPADÓW





# POSZUKIWANIE FORM ROŚLIN WIELOLETNICH O PODWYŻSZONEJ ODPORNOŚCI NA SUSZĘ NA PRZYKŁADZIE TRAW

Grzegorz Żurek<sup>1</sup>, Kamil Prokopiuk<sup>1</sup>

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań nad zróżnicowaniem ekspresji wybranych cech związanych z odpornością na suszę w kilku gatunkach traw wieloletnich. Stwierdzono iż głównym mechanizmem odporności na suszę u badanych form traw gazonowych było unikanie suszy, najczęściej za pomocą przystosowań części nadziemnych jak np. więdnienie, zwijanie i zasychanie liści. Stwierdzono również znaczne zróżnicowanie w obrębie badanych cech, związanych pośrednio bądź bezpośrednio z reakcją traw na warunki suszy. Zaprezentowane zmienności i zakresy cech wskazują kierunki zależności i wzajemnych interakcji, którymi można podążać w poszukiwaniu najefektywniejszych rozwiązań hodowlanych dla roślin wieloletnich, a zwłaszcza traw. W odniesieniu do większości jednorocznych roślin uprawnych relacje te mogą być odmienne bądź wręcz przeciwstawne.

**Słowa kluczowe:** trawy, gazony, trawniki, kostrzewa czerwona, kostrzewa trzcinowa, życica trwała

## WPROWADZENIE

Rośliny rosnące w warunkach naturalnych narażone są na działanie wielu niekorzystnych czynników środowiska, określanych jako czynniki stresowe, które mogą zakłócać procesy życiowe wpływając na obniżenie cech jakościowych roślin. Jednym z tego typu czynników jest niedobór wody, który wywiera wpływ na rośliny, objawiając się silnym zahamowaniem wzrostu oraz zaburzeniami w rozwoju. Przedłużający się deficyt wody może prowadzić do śmierci rośliny. Aby ograniczyć utratę wody roślina ogranicza transpirację przymykając aparaty szparkowe. To z kolei ogranicza pobieranie dwutlenku węgla, i tym samym obniża intensywność fotosyntezy netto. Spadek turgoru komórek ogranicza ich wzrost i wydłużanie się. W zależności od długości trwania suszy może dojść do ograniczenia produktywności rośliny oraz do uszkodzeń chloroplastów poprzez m.in. fotoinhibicję. W zależności od fazy rozwojowej w jakiej roślina poddana została działaniu suszy, zredukowany jest efekt końcowy tej fazy (np. opóźnienie faz fenologicznych, opadanie kwiatów, zawiązków owoców, liści, zamieranie darni itp.). Reakcja roślin na deficyt wody jest zatem zjawiskiem wieloetapowym i złożonym, które może być warunkowane przez: redukcję potencjału wody i aktywności wody komórkowej; zwiększenie stężenia związków nisko- i wielkocząsteczkowych poprzez zmniejszenie objętości komórek po utracie turgoru; zwiększenie stężenia soli i jonów; obniżenie ciśnienia turgorowego; zmianę stosunków przestrzennych między plazmalemą, tonoplastem i błonami organelli w wyniku zmiany objętości komórek; zmianę oddziaływań między ścianą komórkową a plazmalemą; zmianę struktury makromolekuł pod wpływem usunięcia wody hydratacyjnej lub jako efekt

<sup>1</sup> Grzegorz Żurek - Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB Radzików, g.zurek@ihar.edu.pl

<sup>1</sup> Kamil Prokopiuk - Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB Radzików, k.prokopiuk@ihar.edu.pl

modyfikacji oddziaływań pozostałych cząsteczek wody z makromolekułami (Kacperska, 2002). W warunkach polowych reakcje te mogą być synergistyczne bądź antagonistyczne i podlegają interakcji z innymi czynnikami stresowymi. Strategie roślin związane z przeciwdziałaniem suszy są właściwe poszczególnym genotypom i stanowią najczęściej kompleks reakcji unikania lub tolerowania suszy (Chaves i wsp., 2002).

Zjawisko odporności na suszę jest procesem wieloczynnikowym i wielogenowym, wyrażającym się zmianami morfologicznymi, anatomicznymi i metabolicznymi, dzięki którym rośliny zdolne są przetrwać okresy niedoborów wody, upałów itp. (Zagdańska, 1997). Definiuje się następujące mechanizmy odporności roślin na suszę: unikanie suszy, tolerancja odwodnienia, unikanie odwodnienia (Levitt, 1972; Kacperska, 2002). Ten ostatni mechanizm obecny jest we większości roślin lądowych.

**Unikanie suszy** zwane również „ucieczką przed suszą” to zdolność roślin do zakończenia cyklu życiowego przed okresem poważnych deficytów wodnych (Beard, 1989). Zjawisko to dotyczy najczęściej gatunków naturalnie przystosowanych do warunków np. pustynnych (Bray, 2001; Chaves i wsp., 2002). Wśród traw można tu wymienić np. wiechlinę cebulkowatą - *Poa bulbosa* (Volaire i Lelièvre, 2001). Reakcję ucieczki przed suszą, polegającą na bardzo wczesnym kwitnieniu i zawiązywaniu nasion przed okresem największego nasilenia suszy stwierdzono np. w uznawanych za odporne na suszę śródziemnomorskich odmianach kupkówki pospolitej (Volaire i Lelièvre, 2005).

**Tolerancja na odwodnienie** to zdolność roślin do przetrwania okresu deficytu wody (czasem nawet kilku lat) przy zachowaniu zdolności do całkowitej regeneracji po ponownym nawodnieniu (Scott, 2000; Hoekstra i wsp. 2001). Rośliny są w stanie chronić się przed powstaniem uszkodzeń oraz niwelować lub naprawiać uszkodzenia powstałe w wyniku działania deficytu wody (Zagdańska, 1997). W odniesieniu do całych roślin ten rodzaj tolerancji dotyczy głównie gatunków tzw. poikilohydrycznych (tzw. rośliny zmartwychwstające, ang. resurrection plants). Wśród traw do grupy tej należą gatunki pustynne, bez znaczenia użytkowego, np. *Sporobolus stapfianus*, *S. atrovirens*, *Eragrostis nidensis* (Scott, 2000). Formami poikilohydrycznymi są również nasiona i ziarna pyłku u większości roślin uprawnych klimatu umiarkowanego jak również grzyby, porosty, glony i sinice. Zdolność do tolerowania odwodnienia może dotyczyć np. kiełkowania nasion. Nasiona niektórych gatunków czy odmian są bowiem w stanie wykiełkować w środowisku o znikomej zawartości wody. Zjawisko to uważane jest również za element zdolności do tolerowania suszy (Zagdańska, 1997).

Główne mechanizmy związane z **unikaniem odwodnienia** polegają na dostosowaniu gospodarki wodnej rośliny do wzrastającego deficytu wody w środowisku (Zagdańska, 1997). Roślina dokonuje tego za pomocą: ograniczenia transpiracji (zamykanie szparek pod wpływem kwasu abscysynowego – ABA, zwiększenie grubości kutykuli, pokrycie liści kutnerem, ograniczenie rozmiarów lub redukcja liści, odwracalne pofałdowanie lub zwinięcie liści, zrzucanie liści); sprawnego pobierania wody na drodze dostosowań osmotycznych oraz dobrze rozwiniętego systemu korzeniowego; wydajnego przewodzenia wody (zwiększenie powierzchni przekroju naczyń, gęste użytkowanie liści, zmniejszenie odległości transportowych – krótsze międzywęzła); magazynowania wody (Kacperska, 2002).

W grupie traw wieloletnich klimatu umiarkowanego najistotniejszą rolę w unikaniu odwodnienia odgrywają dwa pierwsze z opisanych powyżej zjawisk. Głównymi cechami morfologicznymi związanymi z ograniczeniem transpiracji runi są: zadarnienie, ilość liści oraz ich poziome ustawienie w runi. Cechy te ograniczają ruch powietrza wewnątrz runi,



tworząc warstwy ochronne wokół liści. Inne cechy traw, związane z redukcją transpiracji poprzez ograniczenie powierzchni liści to: wolne tempo przyrostu liści oraz wąskie i krótkie liście. Ograniczenie przyjmowanego promieniowania słonecznego zależne jest bezpośrednio od powierzchni roślin. Cecha ta charakteryzuje się niewielką zmiennością pomiędzy gatunkami traw (Hull, 1997).

Utrzymanie i zwiększanie pobierania wody zależy bezpośrednio od systemu korzeniowego, tzn. od jego długości i szerokości, gęstości korzeni, rozwoju włókników korzeniowych oraz zwiększonej przepuszczalności wodnej tkanek (Beard, 1989). System korzeniowy u traw składa się z bardzo licznych korzeni przybyszowych, opatrzonych licznymi odgałęzieniami, tworzącymi gęstą wiązkę. System taki przystosowany jest do pobierania dużej ilości wody z niewielkiej objętości lub z głębszych warstw podłoża co świadczy o jego dużej efektywności.

U większości gatunków traw klimatu umiarkowanego przeważająca część systemu korzeniowego zlokalizowana jest w górnych warstwach gleby (Beard, 1989; Falkowski, 1982; Stuczyńska i Stuczyński, 1993). Na jego długość mają wpływ warunki edaficzne, zabiegi pielęgnacyjne oraz głębokość lustra wody gruntowej. Częste koszenie skraca długość oraz obniża ogólną masę korzeni (Stuczyńska i Jakubowski 1980; Stuczyńska i Stuczyński, 1993). W stanowiskach suchych, z głębokim poziomem wody gruntowej trawy wytwarzają głębszy system korzeniowy (np. poniżej 60 cm), a w stanowiskach z płytkim lustrem wody – do ok. 30 cm (Bieńkiewicz i wsp., 1983). Silnie rozwinięty system korzeniowy u np. kostrzewy trzcinowej jest uważany za jeden z głównych czynników decydujących o dobrej odporności tego gatunku na suszę (Beard 1989; Stuczyńska i Stuczyński, 1993; Carrow i Duncan, 2003). Deficyt wody doprowadza do zaniku części korzeni z górnych warstw gleby, dlatego istotna jest również możliwość głębszej penetracji korzeni oraz regeneracji systemu korzeniowego po ponownym nawodnieniu (Huang i wsp., 1997; Huang i Gao, 2000). Wiąże się to ze zdolnością do utrzymania wyższych wartości ET podczas suszy (Ebdon i Kopp, 2004). Różnice w reakcji niektórych odmian np. kupkówki pospolitej na deficyt wody wynikają właśnie ze zróżnicowanej zdolności do pobierania wody z większych głębokości pod koniec suszy za pomocą silniej rozwiniętego systemu korzeniowego (Volaire i Lelièvre, 2001).

Rozwój systemu korzeniowego traw klimatu umiarkowanego wykazuje określoną rytmikę wzrostu: silny wzrost i wytwarzanie nowych korzeni na wiosnę, letnie ograniczenie wzrostu i zamieranie jako efekt suszy oraz powolna regeneracja i odrost na jesień (Petrovic, 1995; Stetson i Sullivan, 1997). Zmiany te są efektem sezonowej rytmiki uwodnienia gleb w klimacie umiarkowanym.

Niektórzy autorzy wymieniają jeszcze jeden komponent odporności na suszę, odnoszący się głównie do roślin łąk, pastwisk oraz trawników, jakim ma być odrost po odwodnieniu. Zjawisko to polega na zdolności roślin do przejścia ze stanu spoczynku wywołanego suszą w fazę wzrostu po ponownym nawodnieniu siedliska. Odrost po suszy ma szczególne znaczenie, gdyż wtedy właśnie najbardziej uwidaczniają się różnice pomiędzy badanymi populacjami (Thomas, 1990). Zawiązki liści inicjujące późniejszy odrost są kluczowymi organami decydującymi o przetrwaniu okresów niedoboru wody u większości gatunków traw klimatu umiarkowanego (Volaire, 2003). Badania przeprowadzone na trawach wykazały, iż zawiązki nowych liści tolerują znacznie niższe wartości potencjału osmotycznego (np. kupkówka: -3,8 MPa, pszenica - 4.0 MPa) niż w pełni wykształcona blaszka liściowa. U roślin zazwyczaj dominuje jeden z rodzajów odporności na suszę, drugi działa jedynie uzupełniająco. Dla przykładu Grudkowska i współautorzy (2003) stwierdzili, iż o wielkości

plonu rolniczego współcześnie uprawianych odmian pszenicy jarej decyduje zdolność do tolerowania odwodnienia, natomiast zdolność do unikania odwodnienia nie ma praktycznego znaczenia. Zdolność do unikania odwodnienia nabiera znaczenia w wypadku pszenicy jarej w warunkach niewielkich lub krótkotrwałych deficytów wody (Grudkowska i wsp., 2003).

Większość traw, z wyjątkiem gatunków kserotermicznych i psammofitów, wykazuje dużą wrażliwość na niedobór wody w podłożu i wymaga siedlisk wilgotnych. Decyduje o tym również higromorficzna budowa traw oraz związana z tym ograniczona zdolność do zmniejszania transpiracji (Falkowski, 1982). Gatunki traw wieloletnich różnią się znacznie w reakcji na suszę. Przyjmuje się, iż gatunki i odmiany o małej wartości współczynnika ewapotranspiracji i o rozwiniętym systemie korzeniowym charakteryzują się dobrym „unikaniem odwodnienia” (Beard, 1989). Stwierdzono również zmienność międzyodmianową w obrębie gatunków odnośnie zamierania liści i odrostu pędów (Minner, Butler, 1985; Thomas i wsp., 1996). Te genotypy, które szybciej zasychają charakteryzują się również gorszym odrostem po okresie suszy - innymi słowy mają gorszą zdolność do tolerowania odwodnienia, a tym samym mniejszą odporność na suszę (Minner, Butler, 1985; Beard, 1989). Różnicowanie jakościowe pomiędzy odmiennymi genetycznie formami roślin uprawnych jest podstawą ich ukierunkowanego doskonalenia tj. hodowli nowych odmian.

Celem prezentowanych poniżej badań jest przedstawienie różnicowania pomiędzy odmianami traw wieloletnich w zakresie cech mających wpływ na reakcję roślin na okresowe deficyty wody.

## MATERIAŁ I METODY

Niniejsze opracowanie jest podsumowaniem badań prowadzonych w latach 2008-2014 a związanych z oceną zmienności międzyodmianowej traw w zakresie ekspresji cech warunkujących reakcję roślin na deficyty wody. Do badań wykorzystano 60 odmian traw wieloletnich, w tym 27 odmian życicy trwałej (*Lolium perenne* L.), 22 odmiany kostrzewy czerwonej (k. czerwonej kępowej – *Festuca rubra* ssp. *commutata* L., k.c. rozłogowej – *F.r.* ssp. *rubra*), 7 odmian kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.) oraz 5 odmian wiechliny łąkowej (*Poa pratensis* L.). Oceniano następujące cechy:

1. tempo wysychania gleby pod roślinami poprzez określanie liczby dni od momentu zaprzestania podlewania do spadku wilgotności podłoża do wartości tzw. punktu trwałego więdnięcia, tj.  $pF=4.2$ );
2. kondycję roślin w trakcie zasychania, w skali bonitacyjnej 1-9, gdzie 1 to rośliny całkowicie suche, 9 – wszystkie rośliny zielone; w obliczeniach uwzględniano średnią wartość tej cechy z okresu zasychania;
3. intensywność transpiracji (pośrednio, poprzez pomiar różnicy temperatury liścia i otaczającego go powietrza w warunkach komfortu wodnego roślin);
4. system korzeniowy (suchą masę korzeni do 15 cm, objętość, długość), próby pobierano w czerwcu, w 3 kolejnych sezonach wegetacyjnych.

Badane w punktach 1, 2 i 3 rośliny rosły w warunkach najbardziej zbliżonych do normalnych warunków ich wegetacji. Były to zasiewy zwarte w wazonach ( $\varnothing$  20 cm, h = 16 cm, odpływ wody w dnie, wypełnione mieszanką 1:1:1 torfu, piasku rzecznoego oraz gleby szklarniowej). Wilgotność gleby mierzono za pomocą sondy ThetaProbe (typ ThetaMeter HH2, prod. Ejklepkamp) o długości części roboczej 67 cm.



Różnicę pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą liści mierzono za pomocą pirometru LaserSight, przy poziomie emisyjności  $\epsilon = 0,950$ . Pomiarów dokonano w 4 seriach pomiarowych na partii kontrolnej (nawadnianej). Mierzono temperaturę liści oraz temperaturę otoczenia (po 2 pomiary na wazon w jednej serii). Pomiary wykonywano tylko przy bezchmurnej pogodzie. Wyniki wyrażano w stopniach Celsjusza, jako różnicę ( $\Delta T$ ) pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą liści. Pomiarów temperatury dokonywano pod kątem ok.  $30^\circ$  do podłoża, z odległości ok. 20 cm od roślin, z jednoczesnym automatycznym pomiarem temperatury otoczenia.

Masę systemu korzeniowego (punkt 4) mierzono, wycinając z darni trawnikowej (zasiew na pow.  $1 \text{ m}^2$ ) cylindry o średnicy 5 cm i długości 15 cm. Otrzymane rdzenie wypłukiwano ręcznie na sitach. Wypłukane korzenie oddzielano od części nadziemnych, suszono w temperaturze ok.  $25^\circ\text{C}$  i ważono, wynik podając z dokładnością do 0,01 grama.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą pakietu STATISTICA® 12.5 PL. O istotności zróżnicowania pod względem badanych cech wnioskowano na podstawie analizy wariancji, z prawdopodobieństwem 95%.

## WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Tempo wysychania gleby jest wypadkową parowania z powierzchni oraz transpiracji parostających glebę roślin. W wypadku traw darniowych i pełnego zadarnienia powierzchni występującego w niniejszym doświadczeniu, udział parowania z powierzchni gleby w ogólnej ewapotransporacji jest stosunkowo niewielki. Dlatego też uzyskane w niniejszym doświadczeniu wyniki można traktować jako dobre wskaźniki zróżnicowania genotypowego tej cechy pomiędzy badanymi odmianami.

Najszybciej ubywało wody w glebie takich odmian jak „Pixie” kostrzewy trzcinowej (23 dni), „Adio” kostrzewy rozłogowej (19 dni) oraz „Nira” życicy trwałej (26 dni). Proces wysychania podłoża do poziomu wilgotności punktu trwałego wędnięcia przebiegał z kolei najdłużej dla odmian „Arid” i „Asterix” kostrzewy trzcinowej (27 dni), „Raisa” kostrzewy czerwonej kępowej (26 dni) oraz „Gllius” i „Goalkeeper” życicy trwałej (31 dni). Stwierdzone zróżnicowanie w obrębie badanych odmian (tab.1) wskazuje na istniejące możliwości w zakresie kształtowania tej cechy w pracach hodowlanych.

Tab.1. Porównanie zróżnicowania badanych odmian traw darniowych pod względem tempa wysychania podłoża do poziomu  $pF=4.2$  (wilgotności gleby do poziomu tzw. punktu trwałego wędnięcia)

Rodzaj, gatunek	n=	V %	Rozpiętość cechy (dni)
<i>Festuca arundinacea</i>	7	6,1	3,9
<i>Festuca rubra ssp. commutata</i>	8	7,8	5,2
<i>Festuca rubra ssp. rubra</i>	9	10,0	6,9
<i>Lolium perenne</i>	22	4,4	5,6

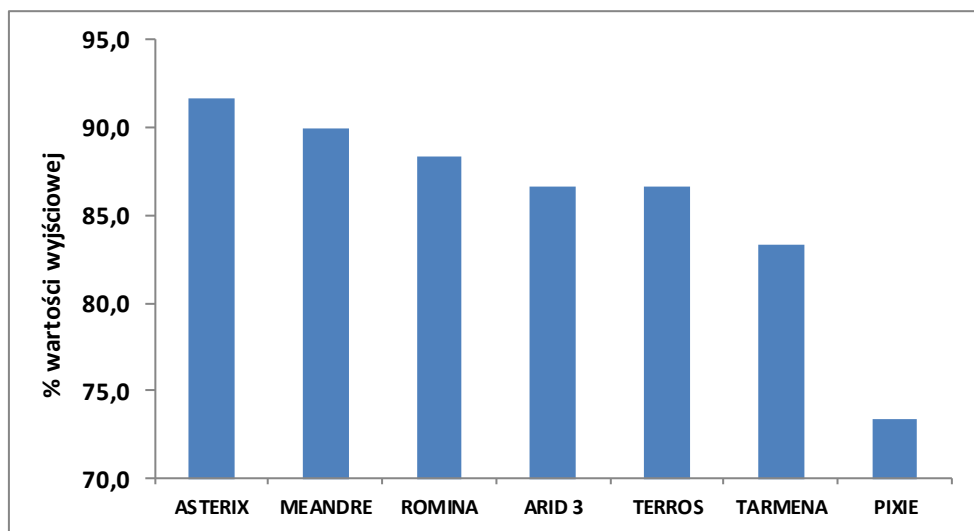


Rośliny w trakcie zasychania różnią się również stopniem odwodnienia liści, co wiąże się z ich ogólnym wyglądem, określanym jako kondycja roślin. W doświadczeniach wazonowych bardzo często dochodzi do sytuacji gdy w sąsiadujących ze sobą wazonach tego samego gatunku widoczne są diametralnie różne stopnie zaschnięcia darni. W niniejszym doświadczeniu obserwowano zróżnicowanie średniej wartości kondycji z okresu zasychania dla odmian: życicy trwałej (od 5,6 dla odmiany „Accent” po 3,1 dla odmiany „Nira”), kostrzewy czerwonej kępowej (od 6,8 dla „Nimba” po 4,9 dla „Lifalla”) oraz kostrzewy czerwonej rozłogowej (od 6,6 dla „Seabreeze” po 4,5 dla „Adio”).

Tab. 2. Zróżnicowanie średniej wartości kondycji w trakcie zasychania

Rodzaj, gatunek	n =	średnia	min	max	V%
<i>Lolium perenne</i>	22	4,7	3,1	5,6	11,2
<i>F.r. commutata</i>	8	5,7	4,9	6,8	11,8
<i>F.r. rubra</i>	9	5,6	4,5	6,6	11,8

Najbardziej istotnym elementem interakcji roślin ze środowiskiem w warunkach deficytu wody jest zdolność do odbudowy zniszczonych suszą części roślin. Trawy są grupą roślin, które w toku ewolucji wykształciły znakomite zdolności regeneracyjne i potrafią w ciągu kilkunastu dni całkowicie odtworzyć zaschnięte pędy i liście. Jednakże również i w tym wypadku występuje zmienność warunkowana predyspozycjami genetycznymi. Na przykładzie odmian kostrzewy trzcinowej (rys. 1) stwierdzono iż istnieją odmiany regenerujące częściowo (od „Pixie” – 73,3% wartości początkowej) oraz takie, które są w stanie odtworzyć porost prawie całkowicie (odmiany „Asterix” i „Meandre” – ponad 90% wartości wyjściowej).



Rys. 1. Regeneracja po okresie suszy – odmiany kostrzewy trzcinowej.



Tempo wysychania gleby uzależnione jest od wielu czynników, w tym od intensywności transpiracji rosnących w niej roślin. Intensywność transpiracji znajduje swoje odzwierciedlenie np. w temperaturze łąnu – im transpiracja jest intensywniejsza, tym większa jest różnica pomiędzy temperaturą łąnu a temperaturą otoczenia ( $\Delta T$ ) (Pallas i wsp. 1967, Ayeneh i wsp. 2002, Blonquist i wsp. 2009, Reynolds i wsp. 2007). Parująca woda obniża bowiem temperaturę liści. Istotne jest określenie charakteru tego zjawiska, zwłaszcza dla roślin znajdujących się w stanie komfortu wodnego, tj. nie podlegających stresowi suszy. Wykorzystanie tej prostej zależności fizycznej może objaśnić niektóre procesy determinujące np. reakcję roślin na deficyty wody.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów wskazały na znaczne zróżnicowanie tego parametru pomiędzy badanymi odmianami życicy trwałej oraz kostrzew czerwonych. Wśród odmian życicy trwałej stwierdzono np. takie, które miały znacznie niższą temperaturę liści od otoczenia (od 2,20° do 3,85°C), jak również wyższą (od 0,33° do 3,15°C) od otoczenia. Dla większości odmian kostrzew czerwonych stwierdzono temperaturę liści niższą od otoczenia (od 2,01° do 3,54°C dla k.c.z. kępowej oraz od 2,01° do 3,82°C dla k.c.z. rozłogowej). Pozostałe odmiany tych gatunków miały temperaturę liścia jedynie nieznacznie niższą od otoczenia (poniżej 2°C). Cecha ta charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością, co może wskazywać zarówno na jej zmienność mogącą wynikać z warunków przeprowadzania pomiaru. To z kolei wiąże się z koniecznością realizacji wielu serii pomiarowych.

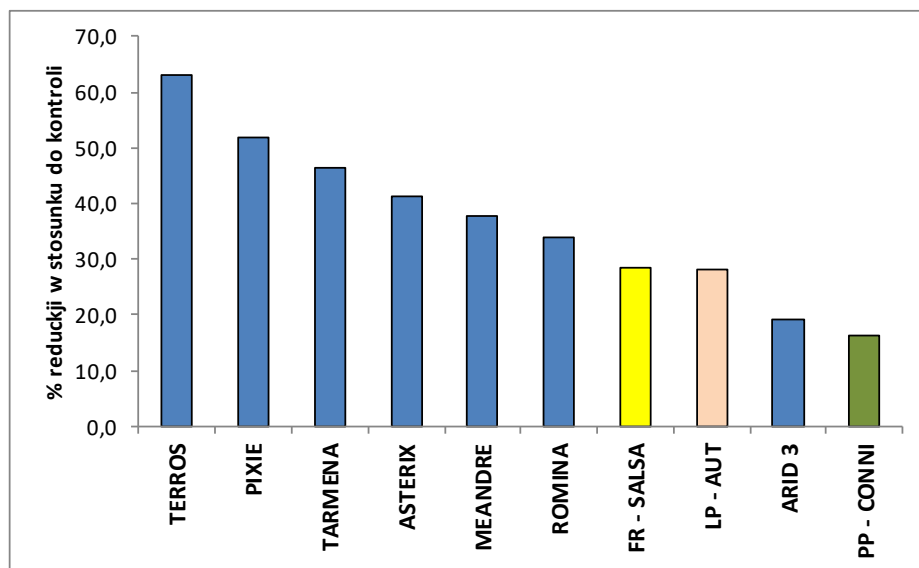
Tab.3. Zmienność różnicy pomiędzy temperaturą łąnu a temperaturą otoczenia ( $\Delta T$ )

Rodzaj, gatunek	n =	średnia	min	max	V%
<i>Lolium perenne</i>	22	2,84	-3,15	3,85	109,6
<i>F.r. commutata</i>	8	2,39	1,48	3,54	27,6
<i>F.r. rubra</i>	9	2,52	1,5	3,82	28,8

Cecha powyższa jest silnie związana z kondycją roślin podczas zasychania. Dla odmian życicy trwałej współczynnik korelacji tych cech wyniósł -0,48 ( $p > 0,00$ ) a dla odmian kostrzewy czerwonej rozłogowej -0,76 ( $p > 0,00$ ). Dla odmian kostrzewy czerwonej kępowej takiej relacji nie potwierdzono.

Stosunkowo mało badań poświęconych jest zagadnieniom rozwoju systemu korzeniowego, a zwłaszcza jego interakcji z warunkami deficytu wody, mimo iż odgrywa on kluczową rolę w zaopatrzeniu w wodę. W ramach realizowanych prac stwierdziliśmy iż w warunkach okresowego deficytu wody system korzeniowy traw wieloletnich ulega redukcji. Sucha masa systemu korzeniowego w warstwie 0-20 cm odmian kostrzewy trzcinowej rozwijających się w suszy była zredukowana od 53% (odm. „Pixie”) do 19,2% (odm. „Arid”) w stosunku do analogicznych odmian rosnących w warunkach komfortu wodnego (rys 2). Co ciekawe, redukcja masy systemu korzeniowego odmian kostrzewy trzcinowej była silniejsza niż dla ujętych w celu porównania odmian kostrzewy czerwonej, życicy trwałej i wiechliny łąkowej. Możliwe, iż strategia rozwojowa tego gatunku (k. trzcinowej) w warunkach suszy polega na wzmożonym rozwoju korzeni w głąb, kosztem strefy przypowierzchniowej. Kostrzewa trzcinowa ma najniższe zapotrzebowanie na wodę w grupie traw trawnikowych z klimatu umiarkowanego (Anonim, 2004). Dzięki temu należy do gatunków najlepiej tolerujących warunki deficytu wody i pod tym względem niekiedy dorównuje

tropikalnym gatunkom o fotosyntezie typu  $C_4$  (Beard, 1989; Carrow, 1996). Gatunek ten wytwarza głęboki i silnie rozwinięty system korzeniowy a zwijaniem liści ogranicza straty wody i zabezpiecza się przed suszą (Gibson i Newman, 2001; Karsten i MacAdam, 2001). W porównaniu do innych kostrzew system korzeniowy kostrzewy trzcinowej jest najsilniej rozwinięty na głębokości 50 – 100 cm (Wilman i wsp., 1998). Odmiany tego gatunku różnią się zarówno pod względem cech związanych z unikaniem suszy (długość korzeni), jak i cech tolerancji na suszę (np. niski potencjał osmotyczny liści) (Huang i Gao, 1999; White i wsp. 1992).



Rys.2. Redukcja suchej masy systemu korzeniowego odmian kostrzewy trzcinowej w warunkach stresu suszy (% redukcji w stosunku do kontroli), w porównaniu z odmianami kostrzewy czerwonej (FR), życicy trwałej (LP) oraz wiechliny łąkowej (PP).

Poszukiwanie form traw o pożądanych parametrach systemu korzeniowego możliwe jest w obrębie badanych gatunków. Cechą najbardziej zmienną okazuje być sucha masa systemu korzeniowego w warstwie 0-10 cm, zwłaszcza u życicy trwałej i kostrzewy czerwonej (tab.4). Z kolei najmniej zmienną cechą jest długość korzeni, pomimo znacznych różnic w wartościach bezwzględnych tej cechy pomiędzy gatunkami jak i w obrębie gatunków.

Tab.4. Zróżnicowanie badanych parametrów systemu korzeniowego 16 odmian traw darniowych.

Gatunek, nazwa zmiennej	Wartości cech:			V(%)
	średnia	min.	maks.	
<b><i>Poa pratensis</i> (n=5)</b>				
sucha masa 0 - 5 cm (g)	6,3	1,9	11,6	41,1
sucha masa 5 - 10 cm (g)	0,4	0,1	0,8	40,2
sucha masa łącznie (g)	6,7	2,4	11,8	39,2

długość (cm)	16,9	10,0	25,0	18,6
objętość (cm <sup>3</sup> )	5,9	3,0	9,0	25,1
<b><i>Lolium perenne</i> (n=5)</b>				
sucha masa 0 - 5 cm (g)	2,9	1,0	5,3	48,5
sucha masa 5 - 10 cm (g)	0,3	0,2	0,5	23,4
sucha masa łącznie (g)	3,3	1,3	5,7	44,6
długość (cm)	21,1	15,0	30,0	18,0
objętość (cm <sup>3</sup> )	3,8	2,0	6,0	27,5
<b><i>Festuca rubra</i> (n=6)</b>				
sucha masa 0 - 5 cm (g)	5,1	1,8	11,1	47,2
sucha masa 5 - 10 cm (g)	0,5	0,2	1,0	41,4
sucha masa łącznie (g)	5,6	2,2	11,7	43,4
długość (cm)	19,5	13,0	31,0	17,0
objętość (cm <sup>3</sup> )	5,5	2,0	12,0	36,2

## PODSUMOWANIE

Większość przebadanych w niniejszej pracy krajowych odmian traw trawnikowych była w stanie przetrwać okresy suszy bez nawadniania wspomagającego. Jednakże obserwowany spadek jakości darni podczas suszy, pomimo niewielkiego wpływu na ogólną kondycję bezpośrednio po suszy, jest z punktu widzenia użytkownika niepożądany.

Istnieje znaczne zróżnicowanie w obrębie badanych cech, zawiązanych pośrednio bądź bezpośrednio z reakcją traw na warunki suszy. Jednakże zastosowanie prostych metod selekcji i wyboru form o najkorzystniejszym zestawie pożądanych cech jest nierealne w konfrontacji z tak złożonym zjawiskiem jakim jest deficyt wody. Zaprezentowane zmienności i zakresy cech wskazują jednak kierunki zależności i wzajemnych interakcji, którymi można podążać w poszukiwaniu najefektywniejszych rozwiązań hodowlanych dla roślin wieloletnich, a zwłaszcza traw. W odniesieniu do większości jednorocznych roślin uprawnych relacje te mogą być odmienne bądź wręcz przeciwstawne.

## LITERATURA

- Anonim 2004: Trawy gazonowe. Katalog innowacji. Barenbrug Polska, Tarnowo Podgórne, ss. 23.
- Ayeneh A., Ginkel, van M., Reynolds M.P., Ammar K., 2002: Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, 79: 173 – 184.
- Beard J. B., 1989: Turfgrass water stress: drought resistance components, physiological mechanisms and species - genotype diversity. *Procc. 6th Int. Turfgrass Res. Conf. Tokyo*, July 31 - August 5; 23 - 28.

- Bieńkiewicz P., Roguski W., Łabędzki L., 1983: Wilgotność krytyczna dla traw w profilach gleb hydrogenicznych. *Wiad. Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych*, t.15, z. 1: 59 – 73.
- Blonquist J.M., Norman J.M., Bugbee B., 2009: Automated measurement of canopy stomatal conductance based on infrared temperature. *Agric. Forest Meteorol.*, 149: 2183 – 2197.
- Bray E. A., 2001: Plant response to water-deficit stress. *Encyclopedia of Life Sciences*, Nature Publishing Group, 1 – 5 ([www.els.net](http://www.els.net))
- Carrow R. N. 1996 a. Drought avoidance characteristic of diverse tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 36: 371 – 377.
- Carrow R. N., Duncan R. R., 2003: Improving drought resistance and persistence in turf-type tall fescue. *Crop Sci.* 43: 978 – 984.
- Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. P., Osorio M. L., Carvalho I., Faria T., Pinheiro C., 2002: How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.* 89: 907 – 916.
- Ebdon J.S., Kopp K.L., 2004: Relationships between water use efficiency, carbon isotope discrimination, and turf performance of genotypes of kentucky bluegrass during drought. *Crop Sci.* 44: 1754 – 1762.
- Falkowski M., 1982: *Trawy polskie*. PWRiL, Warszawa, ss. 564.
- Gibson D. J., Newman J. A., 2001: Biological Flora of the British Isles: *Festuca arundinacea* Schreber (*F. elatior* L. ssp. *arundinacea* (Schreber) Hackel). *J Ecol*, 89: 304 – 324.
- Grudkowska M., Zagdańska B., Rybka Z., 2003: Odporność pszenicy jarej na suszę glebową w fazie kłoszenia. *Biul. IHAR*, 228: 51 – 59.
- Hoekstra F. A., Golovina E. A., Buitink J., 2001: Mechanisms of plant desiccation tolerance. *TIPS*, vol. 6, no. 9: 431 – 438.
- Huang B., Duncan R. R., Carrow R. N., 1997b: Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: II. Root aspects. *Crop Sci.* 37: 1863 – 1869.
- Huang B, Gao H., 1999: Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. *HortScience* 34 (5): 897 – 901.
- Huang B, Gao H., 2000: Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 40: 196 – 203.
- Hull R. J., 1997: Managing turf for minimum water use. *Turf News*, vol. 21, no. 2; 24 - 28.
- Kacperska A., 2002: Reakcje roślin na abiotyczne czynniki stresowe. W: Kopcewicz J., Lewak S. (red.) *Fizjologia roślin*, PWN, Warszawa, 612 – 678.
- Karsten H. D., MacAdam J. W., 2001: Effect of drought on growth, carbohydrates, and soil water use by perennial ryegrass, tall fescue, and white clover. *Crop Sci.* 41: 156 – 166.
- Levitt J., 1972: *Responses of Plants to Environmental Stress*. Academic Press. New York, pp: 697.
- Minner D. D., J. D. Butler, 1985: Drought tolerance of cool season turfgrasses. *Proc. Fifth Int. Turfgrass Res. Conf.*, Avignon, France, 1 - 15.07.1985, INRA; 199 - 212.
- Pallas J.E., Michel B.E., Jr., Harris D.G., 1967 : Photosynthesis, transpiration, leaf temperature and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiol.* 42, 76 – 88.
- Reynolds M.P., Saint Pierre C., Saad A.S.I, Vargas M., Condon A.G., 2007: Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. *Crop Sci.* 47: 172 – 189.
- Scott P., 2000: Resurrection plants and the secrets of eternal leaf. *Ann. of Bot.*, 85: 159 – 200.



- Stuczyńska J., Jakubowski S., 1980: Wpływ częstotliwości koszenia na ilość i jakość masy korzeni niektórych traw po dwuletnim użytkowaniu. *Biul. IHAR*, 140: 3 – 15.
- Stuczyńska J., Stuczyński M., 1993: Porównanie systemów korzeniowych oraz masy nadziemnej kostrzewy trzcinowej, kupkówki pospolitej i stokłosa uniolowatej przy różnej częstotliwości koszenia. *Biul. IHAR*, 188: 139 – 141.
- Thomas H., 1990: Osmotic adjustment in *Lolium perenne*; its heritability and the nature of solute accumulation. *Ann Bot.*, 66: 512 – 530.
- Thomas H., Dalton S. J., Evans C., Chorlton K. H., Thomas I. D., 1996: Evaluating drought resistance in germplasm of meadow fescue. *Euphytica* 92: 401 – 411.
- Volaire F., 2003: Seedling survival under drought differs between an annual (*Hordeum vulgare*) and a perennial grass (*Dactylis glomerata*). *New Phytol*, 160: 501 – 510.
- Volaire F., Lelièvre F., 2001: Drought survival in *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* under similar rooting conditions in tubes. *Plant Soil*, 229: 225 – 234.
- Volaire F., Lelièvre F., 2005: How can resistant genotypes of *Dactylis glomerata* L. survive severe Mediterranean summer drought ? (<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/c62/04600148.pdf>); 145 - 148
- White R. H., Engelke M. C., Morton S. J., Ruemmelle B. A., 1992: Competitive turgor maintenance in tall fescue. *Crop Sci.* 32: 251 – 256.
- Wilman D., Gao Y., Leitch M. H., 1998: Some differences between eight grasses within the *Lolium-Festuca* complex when grown in conditions of severe water shortage. *Grass Forage Sci*, 53: 57 – 65.
- Zagdańska B., 1997: Mechanizmy odporności zbóż na suszę glebową: metabolizm energetyczny pszenicy jarej w nabywaniu odporności. *Biul. IHAR*, 203: 41 – 55.

## **SERCHING FOR PERENNIAL PLANTS OF INCREASED DROUGHT RESISTANCE WITH GRASSES AS AN EXAMPLE**

**Summary:** The paper presents results of research on diversity in terms of expression of selected characteristics associated with resistance to drought in several species of perennial grasses. It was found that the major mechanism of resistance to drought in lawn grasses was drought avoidance, usually by means of adjustments of aerial parts as wilting, rolling and drying of leaves. Significant differences between tested varieties were found in case of studied traits, related directly or indirectly with the reaction of grass on drought conditions. Presented variation ranges and features indicate the directions of relationships and interactions that can go in search of the most effective solutions for breeding perennial plants, especially grasses. For most annual crops, these relations may be different or even contradictory.

**Key words:** grasses, lawns, red fescue, tall fescue, perennial ryegrass.





# DEFICYTY WODY I POTRZEBY NAWODNIEŃ ROŚLIN UPRAWNYCH W POLSCE

Leszek Łabędzki<sup>1</sup>, Ewa Kanecka-Geszke<sup>2</sup>

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono charakterystykę zmienności przestrzennej i glebowej deficytów wody (niedoborów wodnych) głównych upraw rolniczych w Polsce. Niedobory obliczono na podstawie danych meteorologicznych z 14 stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej i Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego z lat 1970-2004, dla czterech kategorii gleb. Stacje te są reprezentatywne dla 14 wyselekcjonowanych regionów Polski. Niedobory wodne określono z prawdopodobieństwem przewyższenia 20% i 50%. Spośród wszystkich analizowanych roślin uprawnych, największe niedobory o prawdopodobieństwie 20% i 50% stwierdzono dla ziemniaków późnych.

**Słowa kluczowe:** niedobory wodne, potrzeby wodne, rośliny uprawne, nawadnianie, ziemniaki późne

## WPROWADZENIE

Znaczny obszar Polski leży w strefie małych opadów atmosferycznych i dużej ich zmienności w czasie i przestrzeni. Występują tu okresy z dużymi opadami, powodującymi powodzie, oraz okresy bezopadowe, powodujące susze glebowe i zmniejszenie plonowania roślin uprawnych, a na glebach piaszczystych – całkowite ich zasychanie i brak użytecznego plonu. Warunkiem rozwoju każdej uprawy rolniczej i uzyskania wysokiego plonu o dobrej jakości jest zapewnienie poboru wody przez system korzeniowy z gleby. Wraz z wodą roślina pobiera z gleby niezbędne składniki pokarmowe. W przypadku niedostatecznego uwilgotnienia gleb, możliwość pobierania wody i składników pokarmowych jest ograniczona, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia plonowania.

Plony roślin uprawnych zależą od wielu czynników środowiskowych, a także stosowanych technologii uprawy oraz cech genetycznych roślin. Dwa z tych czynników o decydującym znaczeniu (ciepło i woda) są związane ze zmiennością pogody w okresie wegetacyjnym. Limitują one skuteczność kształtowania plonów przez zabiegi uprawowe i osobnicze cechy roślin.

Woda pobierana przez rośliny z gleby pochodzi głównie z opadów atmosferycznych. W warunkach klimatycznych Polski opady nie zawsze występują w takich okresach i ilościach, aby w optymalny sposób zasilic retencję glebową. W wyniku dłuższych okresów bezopadowych (powyżej 15 dni), występuje zjawisko suszy rolniczej, wyrażającej się deficytem wody w stosunku do bieżącego zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę. Zapotrzebowanie to jest różne u poszczególnych roślin i zmienne w ciągu okresu wegetacji. Zapotrzebowa-

<sup>1</sup> Leszek Łabędzki – Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy, e-mail: l.labedzki@itp.edu.pl

<sup>2</sup> Ewa Kanecka-Geszke – Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy, e-mail: e.kanecka-geszke@itp.edu.pl

nie roślin uprawnych na wodę zależy od wielkości biomasy, warunkującej uzyskiwany plon. Im jest on większy, tym więcej wody zużywają rośliny na jego wyprodukowanie. Niezaspokojenie tego zapotrzebowania powoduje występowanie deficytów wodnych roślin uprawnych. Trafne prognozowanie tych deficytów i ich ograniczanie jest niezbędne do przewidywania wielkości plonów lub stabilizacji ich poziomu.

Nierównomierność zasilania gleby wodą z opadów atmosferycznych łagodzi częściowo zdolność retencyjną gleby, która jest różna w poszczególnych rodzajach gleb. Po wyczerpaniu się zapasów dostępnej dla roślin zretencjonowanej wody w glebie, następuje stres wodny wynikający z niedoboru wody.

Występowanie deficytów wody dla roślin uprawnych jest nieregularne, zarówno w czasie jak i przestrzeni. Zależy ono zarówno od warunków meteorologicznych (głównie opadów), jak i od zdolności retencyjnych gleby. Występujące w ostatnich dziesięcioleciach na terenie Polski anomalie pogodowe są przyczyną susz w rolnictwie, które w znacznym stopniu obniżają plony. Podniesienie efektywności upraw można uzyskać poprzez nawodnienia.

Celem pracy jest charakterystyka zmienności przestrzennej i glebowej deficytów wody roślin uprawnych, zwanych dalej również niedoborami wodnymi roślin uprawnych.

## MATERIAŁ I METODY

Niedobory wody obliczono metodą bilansowania zapasu wody użytecznej ZWU w warstwie korzeniowej gleby, przy użyciu modelu CROPBALANCE (Łabędzki, 2006; Łabędzki i in., 2008), zastosowanego przez Ostrowskiego i Łabędzkiego (2008) do wyznaczenia niedoborów wodnych roślin uprawnych w Polsce. Model ten opiera się na metodycie opracowanej przez Allena i in. (1998), Doorenbosa i Pruitta (1977), Łabędzkiego (1996, 1997, 2006), Roguskiego, Sarnacką i Drupkę (1988) oraz Smitha (1992 a, b). Metodycę tę pozytywnie zweryfikował Łabędzki (1988, 1992 a, b, 1997).

Niedobory wodne dla wybranych roślin rolniczych na glebach przydatnych do ich uprawy obliczono dla prawdopodobieństwa 20%, czyli występujących co 5 lat (rok suchy) i 50%, czyli występujących co 2 lat (rok średni), wykorzystując wieloletnie (1970–2004) dekadowe wartości temperatury i wilgotności powietrza, usłonecznienia, prędkości wiatru oraz opadów z 14 stacji meteorologicznych IMGW i IMUZ (obecnie ITP). Stacje te są reprezentatywne dla 14 wyselekcjonowanych regionów Polski. Wybrane regiony i stacje (rys. 1, tab. 1) reprezentują zróżnicowane warunki wodne (opadowe), cieplne i przychodu energii słonecznej (Bac, Koźmiński i Rojek, 1993). Według warunków wilgotnościowych autorzy ci wyróżnili następujące regiony agroklimatu: A – suchy, B – umiarkowanie wilgotny, C – wilgotny, D – mokry.

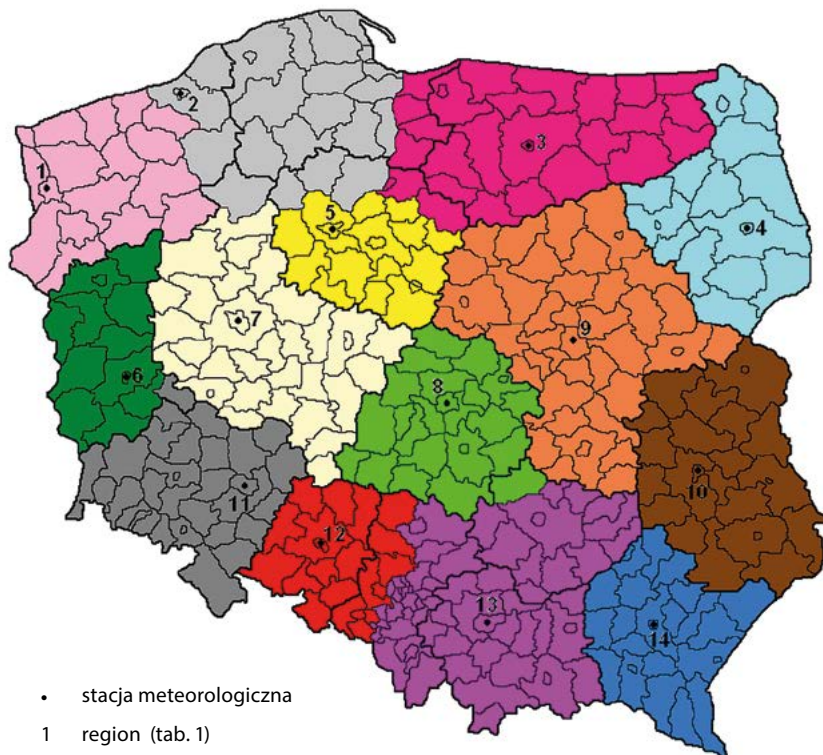
Region suchy A charakteryzuje się ujemnym klimatycznym bilansem wodnym (różnica między opadem i parowaniem wskaźnikowym), wynoszącym –100 mm w okresie wegetacyjnym (IV–IX). W regionie umiarkowanie wilgotnym B bilans ten wynosi od –100 do –39 mm, w regionie wilgotnym C od –40 do 60 mm, a w mokrym D powyżej 60 mm.

Niedobory obliczono dla wybranych grup użytkowych i gatunków roślin w uprawie polowej na gruntach ornych, charakteryzujących się największą powierzchnią upraw w Polsce, dla których są dostępne wartości współczynników roślinnych  $k_c$  korygujących



wielkość ewapotranspiracji wskaźnikowej wg Penmana-Montheita w obliczeniach ewapotranspiracji rzeczywistej. Są to następujące uprawy polowe:

- zboża ozime: żyto, pszenica,
- zboża jare: jęczmień, pszenica, kukurydza na ziarno;
- okopowe: ziemniak późny, burak cukrowy;
- przemysłowe: rzepak ozimy;
- pastewne na zielonkę: lucerna, kukurydza;
- pastwiska polowe.



Rys. 1. Położenie geograficzne analizowanych stacji meteorologicznych i regionów  
Źródło: opracowanie własne

Tab. 1. Regiony, reprezentatywne stacje meteorologiczne i agroklimatyczne regiony wilgotnościowe. Agroklimatyczny region wilgotnościowy: A – suchy, B – umiarkowanie wilgotny, C – wilgotny, D – mokry

L.p.	Region	Stacja	Wysokość, m n.p.m.	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Region wilgotnościowy
1	Zachodniopomorski	Szczecin	1	53°24'	14°37'	A
2	Pomorze	Koszalin	33	54°12'	16°09'	C
3	Warmińsko-mazurski	Olsztyn	133	53°46'	20°25'	B
4	Podlasie	Białystok	139	53°13'	23°10'	B
5	Kujawy	Bydgoszcz	46	53°08'	18°01'	A
6	Ziemia Lubuska	Zielona Góra	182	51°56'	15°30'	A
7	Wielkopolska	Poznań	86	52°25'	16°50'	A
8	Województwo łódzkie	Łódź	184	51°44'	19°24'	A
9	Mazowsze	Warszawa	106	52°09'	20°59'	A
10	Polesie Lubelskie	Lublin	171	51°14'	22°34'	B
11	Dolny Śląsk	Wrocław	116	51°06'	17°05'	B
12	Opolszczyzna	Opole	176	50°40'	17°58'	B
13	Małopolska	Kraków	209	50°04'	19°57'	D
14	Podkarpacie	Rzeszów	200	50°06'	22°03'	C

Źródło: opracowanie własne

Gleby predestynowane do uprawy powyższych roślin wytypowano na podstawie kompleksów rolniczej przydatności gleb oraz typów, podtypów i rodzajów gleb ornych, a także na podstawie określonej i opublikowanej przez IUNG (Witek, 1973) przydatności pod uprawę roślin gleb należących do tych kompleksów. Analizę przeprowadzono dla czterech typów gleb o różnej agronomicznej kategorii ciężkości: gleby bardzo lekkie, lekkie, średnie i ciężkie, o zróżnicowanych zapasach wody użytecznej ZWU. Wartości ZWU w 100 cm warstwie gleby wyliczono w odniesieniu do zgeneralizowanych jednostek glebowych, zawartych w bazie danych glebowo-kartograficznych IMUZ, na podstawie hydrofizycznych charakterystyk tych jednostek opracowanych przez IA PAN i IMUZ (Walczak i in., 2002). ZWU w 100 cm profilu gleb wynoszą:

- gleby bardzo lekkie – 120-130 mm,
- gleby lekkie – 140-160 mm,
- gleby średnie – 185-200 mm,
- gleby ciężkie – 220-270 mm.

Niedobory wodne upraw rolniczych powstają wówczas, gdy zapotrzebowanie na wodę nie jest w pełni pokryte przez opady i zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w glebie. Zapotrzebowanie upraw rolniczych na wodę (potrzeby wodne) jest to ilość wody potrzebna



do osiągnięcia określonego efektu produkcyjnego (uzyskania określonego plonu końcowego). Niedobory wskazują na zapotrzebowanie na wodę do nawodnień netto, które należało by stosować w celu osiągnięcia wysokich plonów.

Szczegółowa metodyka obliczania niedoborów wody, którą zastosowano w niniejszym artykule została opisana w „Atlasie niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce” (Ostrowski i Łabędzki, 2008).

## WYNIKI BADAŃ

Największe niedobory wodne, średnie w 14 regionach, występują na glebach bardzo lekkich dla wszystkich analizowanych roślin uprawnych (tab. 2). Wynika to z najmniejszej retencji wodnej tych gleb w porównaniu z pozostałymi kategoriami ciężkości gleb i w związku z tym najmniejszymi możliwościami pokrywania potrzeb wodnych roślin ze zgromadzonej w glebie wody. Niedobory te, średnio w Polsce, wynoszą w okresie wegetacji w roku suchym (prawdopodobieństwo 20%) od 40 mm dla rzepaku do 180 mm dla buraka cukrowego. Na glebach ciężkich jedynie ziemniak późny doświadcza niedoborów wody rzędu 100 mm, natomiast pozostałe rośliny wykazują pomijalnie małe niedobory. W roku średnim (prawdopodobieństwo 50%) relacje między niedoborami a zdolnością retencyjną gleb są takie same jak w roku suchym, a niedobory są około dwa razy mniejsze.

Tab. 2. Niedobory wodne (mm) w okresie wegetacji roślin uprawnych o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p = 20\%$  i  $p = 50\%$  na 4 kategoriach gleb, uśrednione dla 14 regionów

Roślina	$p = 20\%$				$p = 50\%$			
	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
Burak cukrowy	179	125	77	25	111	68	32	4
Ziemniak późny	170	127	109	99	111	74	59	51
Rzepak	37	14	2	0	15	2	0	0
Pszemica ozima	98	59	28	5	58	27	8	0
Pszemica jara	84	46	19	2	44	18	4	0
Jęczmień jary	82	43	15	1	42	16	3	0
Kukurydza na zielonkę	101	55	24	3	51	19	4	0
Kukurydza na ziarno	114	62	24	3	59	24	4	0
Lucerna	140	86	35	9	80	38	12	0
Żyto ozime	56	30	11	7	26	10	1	0
Pastwisko polowe	148	105	75	36	92	57	34	10

Źródło: opracowanie własne



Analiza rozkładu przestrzennego niedoborów wodnych analizowanych roślin uprawnych (tab. 3–6) pokazuje, że największe niedobory występują w pasie środkowym Polski, poczynając od Pomorza Zachodniego, poprzez Wielkopolskę, Ziemię Lubuską, Kujawy i Mazowsze po Polesie Lubelskie. Również Dolny Śląsk i Opolszczyzna wykazują podobne niedobory. Znacznie mniejsze niedobory występują w regionie warmińsko-mazurskim oraz na południu Polski w Małopolsce i na Podkarpaciu.

Spośród analizowanych roślin uprawy polowej o największej powierzchni upraw w Polsce, największe niedobory wodne, średnie w 14 regionach, stwierdzono dla ziemniaka późnego. Średnio w Polsce wynoszą one (tab. 2) w okresie wegetacji, w roku średnim o prawdopodobieństwie 50%, 50–60 mm na glebach ciężkich i średnich, 75 mm na glebach lekkich i 110 mm na glebach bardzo lekkich. W roku suchym o prawdopodobieństwie 20% niedobory wodne wynoszą 100–110 mm na glebach ciężkich i średnich, natomiast na lekkich i bardzo lekkich odpowiednio 130 mm i 170 mm.

Wartości niedoborów wodnych ziemniaka późnego, charakteryzującego się największymi niedoborami, w poszczególnych dekadach i miesiącach oraz w całym okresie wegetacji w 14 regionach, dla dwóch skrajnych kategorii ciężkości gleb (gleby ciężkiej i bardzo lekkiej) przedstawiono w tabelach 7–10.

Niedobory wodne zestawione w tabelach niedoborów są wielkością zapotrzebowania wody do nawodnień netto. Przyjmując, że najbardziej rozpowszechnioną technologią nawadniania upraw polowych są nawodnienia deszczowniane, można na podstawie tych wartości obliczyć zapotrzebowanie do nawodnień brutto. Uwzględniając efektywność tego rodzaju nawodnień równą 0,75, zapotrzebowanie wody do nawodnień brutto jest o 33% większe od niedoborów przedstawionych w tabelach 7-10. W przeliczeniu na  $\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ , będą to średnie dobowe w okresie dekady, miesiąca i w całym okresie wegetacji wielkości poboru wody brutto niezbędnego do nawodnień ziemniaków późnych, uprawy o największych niedoborach wody, występujących z prawdopodobieństwem 20% i 50%.



Tab. 3. Niedobory wodne (mm) w okresie wegetacji roślin uprawnych, o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p = 20\%$  i  $p = 50\%$  na 4 kategoriach gleb

Roślina	Region	p = 20%				p = 50%			
		b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
Burak cukrowy	Zachodniopomorski	219	162	107	41	158	104	53	8
	Pomorze	163	111	62	13	101	60	25	0
	Warmińsko-mazurski	117	75	37	11	55	26	6	0
	Podlasie	120	75	41	10	57	27	9	0
	Kujawy	211	153	98	35	138	87	42	6
	Ziemia Lubuska	232	173	116	47	155	108	62	14
	Wielkopolska	250	190	130	52	166	117	69	17
	Województwo łódzkie	212	153	100	37	134	83	41	4
	Mazowsze	220	163	109	39	150	97	55	10
	Polesie Lubelskie	163	107	62	18	104	55	19	0
	Dolny Śląsk	192	137	84	22	116	73	33	0
	Opolszczyzna	167	114	66	13	102	60	26	0
	Małopolska	101	56	23	6	50	18	0	0
	Podkarpacie	136	85	47	10	76	37	12	0
Ziemniak późny	Zachodniopomorski	205	161	141	130	152	107	88	78
	Pomorze	160	117	99	89	105	68	53	46
	Warmińsko-mazurski	126	90	77	70	69	39	30	26
	Podlasie	126	88	72	65	71	38	28	23
	Kujawy	194	148	129	117	130	88	72	63
	Ziemia Lubuska	212	166	146	134	145	106	90	81
	Wielkopolska	227	181	161	149	155	116	99	90
	Województwo łódzkie	194	148	128	117	126	83	67	58
	Mazowsze	199	154	135	124	139	98	80	71
	Polesie Lubelskie	157	111	93	83	104	63	46	38
	Dolny Śląsk	172	127	108	97	112	73	57	49
	Opolszczyzna	157	114	96	86	105	66	51	45
	Małopolska	116	79	63	54	70	38	26	20
	Podkarpacie	131	92	76	69	79	46	34	29

Rzepak	Zachodniopomorski	50	19	5	0	23	3	0	0
	Pomorze	39	11	0	0	16	2	0	0
	Warmińsko-mazurski	28	7	1	0	10	0	0	0
	Podlasie	21	11	5	0	0	0	0	0
	Kujawy	53	21	2	0	25	6	0	0
	Ziemia Lubuska	47	17	2	0	22	5	0	0
	Wielkopolska	58	26	5	0	28	8	0	0
	Województwo łódzkie	45	15	2	0	22	3	0	0
	Mazowsze	57	24	6	0	25	5	0	0
	Polesie Lubelskie	30	10	2	0	9	0	0	0
	Dolny Śląsk	39	13	2	0	16	1	0	0
	Opolszczyzna	32	11	1	0	10	1	0	0
	Małopolska	11	3	0	0	1	0	0	0
	Podkarpacie	12	2	0	0	1	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tab. 4. Niedobory wodne (mm) w okresie wegetacji roślin uprawnych, o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p = 20\%$  i  $p = 50\%$  na 4 kategoriach gleb

Roślina	Region	$p = 20\%$				$p = 50\%$			
		b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
Pszemica ozima	Zachodniopomorski	121	77	37	10	80	41	10	0
	Pomorze	97	59	25	2	57	28	8	0
	Warmińsko-mazurski	82	45	19	3	45	18	3	0
	Podlasie	72	33	17	8	35	6	0	0
	Kujawy	122	78	37	5	74	41	14	0
	Ziemia Lubuska	117	74	34	4	74	38	11	0
	Wielkopolska	134	88	47	9	83	46	17	0
	Województwo łódzkie	115	74	36	6	74	40	15	0
	Mazowsze	132	88	48	16	80	44	15	1
	Polesie Lubelskie	88	50	20	4	51	21	3	0
	Dolny Śląsk	97	60	28	4	54	27	8	0
	Opolszczyzna	88	53	25	3	47	21	6	0
	Małopolska	48	21	7	0	21	4	0	0
	Podkarpacie	56	26	8	0	30	8	0	0



Pszenica jara	Zachodniopomorski	110	65	28	6	65	29	6	0
	Pomorze	81	44	13	1	43	17	1	0
	Warmińsko-mazurski	60	28	11	2	23	5	0	0
	Podlasie	65	30	9	1	28	7	0	0
	Kujawy	108	67	34	3	62	32	11	0
	Ziemia Lubuska	106	60	21	4	64	28	3	0
	Wielkopolska	120	73	33	5	71	34	9	0
	Województwo łódzkie	100	60	25	1	55	27	7	0
	Mazowsze	114	71	33	7	67	33	9	0
	Polesie Lubelskie	73	37	13	0	38	11	1	0
	Dolny Śląsk	79	45	15	1	39	16	2	0
	Opolszczyzna	71	39	15	0	34	14	3	0
	Małopolska	38	13	4	0	11	0	0	0
	Podkarpacie	46	14	4	0	19	1	0	0
Jęcz- mień jary	Zachodniopomorski	108	58	20	4	65	24	2	0
	Pomorze	79	40	10	0	43	15	0	0
	Warmińsko-mazurski	57	26	9	0	21	3	0	0
	Podlasie	57	26	7	0	21	4	0	0
	Kujawy	109	63	22	0	61	29	7	0
	Ziemia Lubuska	106	57	16	3	63	26	1	0
	Wielkopolska	121	70	28	4	71	31	6	0
	Województwo łódzkie	98	56	22	1	52	24	6	0
	Mazowsze	113	70	32	3	66	33	10	0
	Polesie Lubelskie	69	33	12	0	34	8	0	0
	Dolny Śląsk	78	43	15	2	38	14	2	0
	Opolszczyzna	71	38	13	0	33	12	2	0
	Małopolska	32	12	2	0	8	0	0	0
	Podkarpacie	44	11	2	0	17	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tab. 5. Niedobory wodne (mm) w okresie wegetacji roślin uprawnych, o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p = 20\%$  i  $p = 50\%$  na 4 kategoriach gleb

Roślina	Region	$p = 20\%$				$p = 50\%$			
		b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
Kukurydza na zielonkę	Zachodniopomorski	135	80	34	6	81	35	7	0
	Pomorze	89	44	14	3	46	16	0	0
	Warmińsko-mazurski	72	31	13	2	25	3	0	0
	Podlasie	76	38	12	0	28	7	0	0
	Kujawy	122	71	31	1	64	28	7	0
	Ziemia Lubuska	137	84	33	5	84	42	8	0
	Wielkopolska	152	94	38	6	92	46	11	0
	Województwo łódzkie	120	69	33	9	59	22	3	0
	Mazowsze	128	75	35	4	71	32	7	0
	Polesie Lubelskie	84	42	46	4	38	9	12	0
	Dolny Śląsk	100	51	17	3	48	15	0	0
	Opolszczyzna	86	42	14	2	42	12	0	0
	Małopolska	49	20	8	0	14	0	0	0
Podkarpacie	64	33	8	0	22	6	0	0	
Kukurydza na ziarno	Zachodniopomorski	145	83	35	6	90	37	7	0
	Pomorze	94	47	14	3	48	17	0	0
	Warmińsko-mazurski	77	33	13	2	28	3	0	0
	Podlasie	81	39	12	0	32	9	0	0
	Kujawy	136	78	33	1	73	32	8	0
	Ziemia Lubuska	154	93	37	5	93	47	11	0
	Wielkopolska	169	106	43	6	100	51	11	0
	Województwo łódzkie	133	78	34	9	68	27	3	0
	Mazowsze	139	83	38	4	78	37	9	0
	Polesie Lubelskie	93	46	18	4	45	12	0	0
	Dolny Śląsk	113	59	18	3	55	20	0	0
	Opolszczyzna	97	48	14	2	50	17	0	0
	Małopolska	94	47	14	3	48	17	0	0
Podkarpacie	69	34	8	0	26	7	0	0	



Jęczmień jary	Zachodniopomorski	108	58	20	4	65	24	2	0
	Pomorze	79	40	10	0	43	15	0	0
	Warmińsko-mazurski	57	26	9	0	21	3	0	0
	Podlasie	57	26	7	0	21	4	0	0
	Kujawy	109	63	22	0	61	29	7	0
	Ziemia Lubuska	106	57	16	3	63	26	1	0
	Wielkopolska	121	70	28	4	71	31	6	0
	Województwo łódzkie	98	56	22	1	52	24	6	0
	Mazowsze	113	70	32	3	66	33	10	0
	Polesie Lubelskie	69	33	12	0	34	8	0	0
	Dolny Śląsk	78	43	15	2	38	14	2	0
	Opolszczyzna	71	38	13	0	33	12	2	0
	Małopolska	32	12	2	0	8	0	0	0
	Podkarpacie	44	11	2	0	17	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tab. 6. Niedobory wodne (mm) w okresie wegetacji roślin uprawnych, o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p = 20\%$  i  $p = 50\%$  na 4 kategoriach gleb

Roślina	Region	$p = 20\%$				$p = 50\%$			
		b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
Lucerna	Zachodniopomorski	177	117	15	-	119	65	0	-
	Pomorze	112	64	3	-	61	26	0	-
	Warmińsko-mazurski	101	51	6	-	45	11	0	-
	Podlasie	99	58	2	-	45	17	0	-
	Kujawy	166	107	14	-	96	50	0	-
	Ziemia Lubuska	182	123	10	-	116	70	0	-
	Wielkopolska	203	140	12	-	127	78	0	-
	Województwo łódzkie	158	99	15	-	90	41	0	-
	Mazowsze	172	112	15	-	106	56	0	-
	Polesie Lubelskie	120	66	5	-	69	27	0	-
	Dolny Śląsk	141	89	12	-	73	34	0	-
	Opolszczyzna	122	67	8	-	64	24	0	-
	Małopolska	120	66	5	-	69	27	0	-
	Podkarpacie	84	44	0	-	36	11	0	-



Żyto ozime	Zachodniopomorski	76	41	16	11	42	16	1	0
	Pomorze	57	28	7	3	27	9	0	0
	Warmińsko-mazurski	44	20	6	4	19	4	0	0
	Podlasie	37	17	11	9	9	0	0	0
	Kujawy	78	43	15	9	41	19	3	1
	Ziemia Lubuska	58	32	9	6	27	11	0	0
	Wielkopolska	86	50	22	13	44	20	4	1
	Województwo łódzkie	71	39	14	8	38	17	2	0
	Mazowsze	84	50	25	18	42	19	4	1
	Polesie Lubelskie	50	23	9	6	22	5	0	0
	Dolny Śląsk	58	32	9	6	27	11	0	0
	Opolszczyzna	49	27	9	7	19	8	0	0
	Małopolska	18	7	2	1	4	0	0	0
	Podkarpacie	24	8	2	1	8	0	0	0
Pastwi- ska polowe	Zachodniopomorski	180	133	101	52	130	85	54	18
	Pomorze	134	93	65	28	83	49	29	7
	Warmińsko-mazurski	114	76	48	20	59	31	13	0
	Podlasie	119	80	54	24	64	35	18	4
	Kujawy	176	130	98	50	112	75	48	17
	Ziemia Lubuska	191	142	108	56	129	90	63	24
	Wielkopolska	205	156	122	64	135	95	67	28
	Województwo łódzkie	169	122	88	46	106	65	39	11
	Mazowsze	178	131	98	52	118	78	50	20
	Polesie Lubelskie	133	90	60	27	84	47	24	4
	Dolny Śląsk	153	106	75	28	93	56	33	6
	Opolszczyzna	132	88	59	22	81	47	26	4
	Małopolska	86	51	28	11	42	16	3	0
	Podkarpacie	100	64	42	18	55	27	12	3

Źródło: opracowanie własne



Tab. 7. Niedobory wodne (mm) występujące w okresie wegetacji w uprawie ziemniaków późnych z prawdopodobieństwem przewyższenia  $p = 20\%$  na glebie ciężkiej

Region	Kwiecień			Maj			Czerwiec			Lipiec			Sierpień			Wrzesień			Okres wegetacji						
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II		III	M				
Zachodniopomorski	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6	16	26	26	35	79	33	1	0	0	1	130				
Pomorze	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	11	18	18	19	22	53	12	5	7	21	1	0	1	89	
Warmińsko-mazurski	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	5	11	6	10	21	34	21	6	6	29	0	0	0	70	
Podlasie	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	2	8	4	7	23	31	17	6	6	27	0	1	0	1	65
Kujawy	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	19	30	22	19	31	66	13	9	8	26	1	1	0	2	117
Ziemia Lubuska	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	19	26	26	23	39	78	20	16	6	37	3	2	0	4	134
Wielkopolska	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	19	34	23	27	40	81	20	15	9	38	3	1	0	4	149
Województwo łódzkie	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6	16	29	21	18	32	64	16	12	8	30	2	1	0	3	117
Mazowsze	0	0	0	0	0	0	0	0	13	8	15	31	26	22	35	74	16	12	6	29	3	1	0	4	124
Polesie Lubelskie	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	10	17	14	16	28	50	9	8	7	23	1	1	0	2	83
Dolny Śląsk	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	10	19	14	15	30	53	15	11	6	29	2	1	1	3	97
Opolszczyzna	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	11	18	17	13	32	53	6	10	6	20	1	1	0	2	86
Małopolska	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	6	11	12	22	39	7	7	4	17	0	0	0	1	54
Podkarpacie	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	6	12	15	25	47	8	9	5	20	0	0	0	0	69

Objaśnienia: I, II, III – dekady, M - miesiąc

Źródło: opracowanie własne

Tab. 8. Niedobory wodne (mm) występujące w okresie wegetacji w uprawie ziemniaków późnych z prawdopodobieństwem przewyższenia  $p = 20\%$  na glebie bardzo lekkiej

Region	Kwiecień			Maj			Czerwiec			Lipiec			Sierpień			Wrzesień			Okres wegetacji						
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II		III	M				
Zachodniopomorski	0	0	0	0	2	8	18	24	17	16	27	51	39	38	43	105	30	22	15	55	6	3	1	8	205
Pomorze	0	0	0	0	1	6	15	20	14	14	21	41	28	28	31	78	21	14	15	41	2	2	1	4	160
Warmińsko-mazurski	0	0	0	0	1	5	5	5	16	5	13	29	13	19	30	58	27	16	13	47	1	2	0	4	126
Podlasie	0	0	0	0	0	0	5	5	15	5	11	25	11	16	33	56	25	14	16	49	4	3	1	7	126
Kujawy	0	0	0	0	1	8	18	24	18	14	28	54	33	28	38	88	25	19	16	52	6	4	1	11	194
Ziemia Lubuska	0	0	0	0	2	9	14	22	16	13	30	52	37	34	47	103	30	22	12	57	6	4	2	12	212
Wielkopolska	0	0	0	0	2	9	15	23	18	18	31	59	35	35	46	107	28	24	16	60	7	4	2	12	227
Województwo łódzkie	0	0	0	0	2	7	12	18	20	13	26	52	31	28	41	88	27	21	17	54	7	5	1	11	194
Mazowsze	0	0	0	0	3	7	14	20	22	16	24	54	38	32	42	99	27	21	18	53	7	3	1	10	199
Polesie Lubelskie	0	0	0	0	1	6	11	16	16	10	19	39	28	26	37	78	19	18	14	47	6	3	0	9	157
Dolny Śląsk	0	0	0	0	1	8	11	19	15	11	20	41	26	27	40	81	24	21	13	51	7	4	2	12	172
Opolszczyzna	0	0	0	0	1	6	8	14	15	7	19	38	29	23	41	81	16	19	14	41	4	4	1	9	157
Małopolska	0	0	0	0	1	3	5	8	9	4	13	23	25	25	32	67	15	13	10	34	3	3	0	5	116
Podkarpacie	0	0	0	0	1	4	5	8	9	4	14	24	26	24	35	73	17	15	13	40	3	3	1	6	131

Objaśnienia: I, II, III – dekady, M - miesiąc

Źródło: opracowanie własne

Tab. 9. Niedobory wodne (mm) występujące w okresie wegetacji w uprawie ziemniaków późnych z prawdopodobieństwem przewyższenia  $p = 50\%$  na glebie ciężkiej

Region	Kwiecień			Maj			Czerwiec			Lipiec			Sierpień			Wrzesień			Okres wegetacji				
	I	II	III	M	II	III	M	II	III	M	II	III	M	II	III	M	II	III		M			
Zachodniopomorski	0	0	0	0	0	0	3	1	1	5	10	11	14	16	43	9	4	1	18	0	0	0	78
Pomorze	0	0	0	0	0	1	1	0	2	4	4	7	7	7	21	3	0	1	6	0	0	0	46
Warmińsko-mazurski	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	5	7	7	1	0	11	0	0	0	26
Podlasie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	4	4	1	1	9	0	0	0	23
Kujawy	0	0	0	0	0	3	3	1	7	13	7	7	7	13	30	4	2	2	12	0	0	0	63
Ziemia Lubuska	0	0	0	0	0	1	2	1	0	7	9	9	9	17	41	8	5	1	18	0	0	0	81
Wielkopolska	0	0	0	0	0	2	2	2	2	7	13	8	14	19	44	8	6	3	21	0	0	0	90
Województwo łódzkie	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5	11	6	5	13	27	5	4	2	14	0	0	0	58
Mazowsze	0	0	0	0	0	0	0	4	2	5	14	9	7	14	34	5	4	1	14	0	0	0	71
Polesie Lubelskie	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5	4	4	10	20	1	2	0	6	0	0	0	38
Dolny Śląsk	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	5	3	4	11	20	5	3	1	11	0	0	0	49
Opolszczyzna	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5	4	3	13	23	0	3	1	8	0	0	0	45
Małopolska	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	6	16	1	1	0	2	0	0	0	20
Podkarpackie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	8	19	1	2	0	3	0	0	0	29

Objaśnienia: I, II, III – dekady, M – miesiąc

Źródło: opracowanie własne

Tab. 10. Niedobory wodne (mm) występujące w okresie wegetacji w uprawie ziemniaków późnych z prawdopodobieństwem przewyższenia  $p = 50\%$  na glebie bardzo lekkiej

Region	Kwiecień			Maj			Czerwiec			Lipiec			Sierpień			Wrzesień			Okres wegetacji						
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II		III	M				
Zachodniopomorski	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	13	30	22	21	23	66	16	11	6	36	1	0	0	2	152
Pomorze	0	0	0	0	0	1	6	9	4	5	8	19	12	11	13	40	9	5	6	22	0	0	0	0	105
Warmińsko-mazurski	0	0	0	0	0	0	1	1	6	1	4	13	3	5	13	24	12	7	3	26	0	0	0	0	69
Podlasie	0	0	0	0	0	0	1	1	5	1	3	12	2	3	14	21	11	5	7	26	0	0	0	1	71
Kujawy	0	0	0	0	0	3	8	13	8	7	14	31	15	14	18	49	13	9	7	32	2	1	0	3	130
Ziemia Lubuska	0	0	0	0	0	3	6	11	8	4	14	28	18	17	24	64	15	9	4	32	1	0	0	3	145
Wielkopolska	0	0	0	0	0	3	7	12	8	7	15	32	18	20	24	65	15	13	6	36	2	0	0	3	155
Województwo łódzkie	0	0	0	0	0	3	4	9	10	5	10	27	14	12	20	49	14	10	7	34	2	1	0	4	126
Mazowsze	0	0	0	0	0	3	5	10	9	7	10	29	19	14	20	57	13	10	8	35	2	0	0	3	139
Polesie Lubelskie	0	0	0	0	0	1	4	6	6	3	7	19	14	12	18	45	7	8	5	22	1	0	0	2	104
Dolny Śląsk	0	0	0	0	0	3	4	8	6	3	6	18	10	13	20	45	11	9	5	28	1	1	0	3	112
Opolszczyzna	0	0	0	0	0	1	3	5	6	1	6	17	13	11	19	46	6	8	5	24	0	0	0	2	105
Małopolska	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	3	8	13	13	14	43	5	4	3	12	0	0	0	1	70
Podkarpacie	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	3	10	11	10	16	42	6	6	4	16	0	0	0	1	79

Objaśnienia: I, II, III – dekady, M – miesiąc

Źródło: opracowanie własne

## PODSUMOWANIE

W latach przeciętnych pod względem opadów (o prawdopodobieństwie przewyższenia 50%) oraz w latach suchych (o prawdopodobieństwie przewyższenia 20%) niedobory wodne analizowanych upraw roślin wykazują zróżnicowanie zarówno przestrzenne jak i glebowe. Niedobór ten w Polsce średnio ocenia się na 130–180 mm w roku suchym dla upraw o największych potrzebach wodnych (ziemniak późny i burak cukrowy). Największe niedobory wodne roślin uprawnych w latach suchych i przeciętnych występują w Wielkopolsce.

W warunkach klimatycznych Polski uzyskanie stabilnych w czasie i wysokich plonów roślin wymaga stosowania nawodnień uzupełniających niedobory wodne. Potrzeby nawodnień roślin uprawnych są zróżnicowane w czasie i przestrzeni i zależą od wielkości opadów, rodzaju gleb (zdolności retencjonowania wody) itp.

Ilość opadów w okresie letnim jest niewystarczająca do zaspokojenia bieżących potrzeb wodnych roślin. Istnieje jednak dodatkowe źródło wody – jest to woda retencjonowana w profilu glebowym. Pomimo tego niezbędne są nawodnienia, tj. uzupełnianie niedoboru wody, zwłaszcza na glebach bardzo lekkich i lekkich.

Pełne zaspokojenie teoretycznych potrzeb wodnych wszystkich uprawnych roślin w okresie wegetacyjnym nie jest możliwe z bieżących przepływów w rzekach. Również niemożliwe jest zretencjonowanie tak dużych objętości wody w zbiornikach. Dlatego też należy się liczyć w przyszłości z ograniczeniami w produkcji rolniczej wynikającymi z braku odpowiedniej ilości wody. W przyszłości o rozmiarze nawodnień nie będą decydowały rzeczywiste potrzeby rolnictwa, lecz ilość dostępnej do nawodnień wody. W Polsce dalszy rozwój nawodnień może być w znacznym stopniu uwarunkowany i ograniczony, obok niekorzystnych uwarunkowań ekonomicznych, wielkością źródeł wody do nawodnień, a w przypadku mikronawodnień – również jej jakością. Już obecnie w regionach (np. na Kujawach), wyposażonych w urządzenia nawadniające, w suchych latach nie można prowadzić nawodnień z powodu zbyt niskich stanów wody w ciekach, jeziorach i małych zbiornikach sztucznych, będących źródłem wody do nawodnień.

Dla oszczędnego zużycia wody wskazane jest stosowanie wodooszczędnych technologii i urządzeń nawadniania, a więc nawodnień umiejscowionych (minizraszanie, nawodnienia kropłowe itp.). Również należy stosować metody dynamicznego sterowania nawodnieniami, które pozwalają na precyzyjne określanie terminów prowadzenia nawodnień i potrzebnej ilości wody. Prowadzi to do oszczędnego gospodarowania wodą pobieraną do nawodnień i ograniczania bezużytecznych strat wody, głównie na odpływ powierzchniowy i podziemny niewykorzystanej przez rośliny.

Efekty nawodnień będą w znacznej mierze zależeć od jakości eksploatacji systemów nawodnień oraz zarządzania i administrowania nimi, a rozwój nawodnień - przede wszystkim od warunków ekonomicznych rolnictwa i dostępności źródeł wody. Należy stworzyć korzystne warunki ekonomiczne w rolnictwie dla inwestowania i eksploatacji systemów nawodnień, wdrożyć nowoczesne energo- i wodo-oszczędne metody i techniki nawadniania zwiększające efektywności nawodnień, wdrożyć optymalizację rozrządu i gospodarowania wodą w systemach nawodnieniowych. Niezbędne jest podjęcie działań i wdrożenie metod mających na celu zwiększenie lokalnych zasobów wody o dobrej jakości i ich dostępności dla nawodnień.



## LITERATURA

- Allen R.G., Pereira L.S, Raes D., Smith M., 1998: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper, nr 56 ss. 300.
- Bac S., Kozmiński C., Rojek M., 1993: Agrometeorologia. Warszawa: PWN, ss. 250.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper, nr 52 ss. 156.
- Łabędzki L., 1988: Model matematyczny krótkoterminowej prognozy zapotrzebowania wody do nawodnień. Falenty: IMUZ pr. dokt. maszyn., ss. 138.
- Łabędzki L., 1992a: Krótkoterminowe prognozowanie potrzeb nawadniania roślin polowych na przykładzie badań w Polanowicach. Roczn. AR Pozn., nr 234 s. 91–99.
- Łabędzki L., 1992b: Progностyczno- optymalizacyjny model sterowania nawodnieniami podsiągowymi i deszczownicami – wstępne wyniki weryfikacji. W: Gospodarowanie wodą w krajobrazie rolniczym jako element zrównoważonego rozwoju. Mater. Konf. Warszawa, 19–20.11.1992. Warszawa: SGGW, s. 347–353.
- Łabędzki L., 1996: Niedobory wodne upraw rolniczych jako wskaźnik potrzeb małej retencji. W: Potrzeby i możliwości zwiększenia retencji wodnej na obszarach wiejskich. Mater. Semin. nr 37 Falenty: Wydaw. IMUZ, s. 34–63.
- Łabędzki L., 1997: Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. habil. Falenty: Wydaw. IMUZ, ss. 120.
- Łabędzki L., 2006: Susze rolnicze – zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. Nauk. Monogr., nr 17, ss. 107.
- Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., 2008: Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie, nr 25, ss. 137.
- Ostrowski J., Łabędzki L. (red.), 2008: Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Falenty: Wydaw. IMUZ, ss. 19 + 32 mapy.
- Roguski W., Sarnacka S., Drupka S., 1988: Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. Mater. Instr. nr 66. Falenty: IMUZ, ss. 43 + zał.
- Smith M., 1992a: CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrig. Drain. Paper, nr 46, ss. 132.
- Smith M., 1992 b: Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Land Water Dev. Div. Rome: FAO, ss. 54.
- Walczak R., Ostrowski J. Witkowska-Walczak B., Stawiński C., 2002: Hydrofizyczne charakterystyki mineralnych gleb ornych Polski. Acta Agrophys. Monogr., nr 79, ss. 64.
- Witek T., 1973: Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania. Ser. P (18). Puławy: IUNG, s. 51–53.

## WATER DEFICITS AND IRRIGATION NEEDS FOR CROPS IN POLAND

**Summary:** The article presents the characteristics of spatial and soil variability of water deficits of main agricultural crops in Poland. Calculation of water deficits was carried out for 14 meteorological stations of the Institute of Meteorology and Water Management

and the Institute of Technology and Life Sciences, using meteorological data from the years 1970-2004 for four soil categories. These stations are representative of the 14 selected regions in Poland. Water deficits were determined for a probability of exceedance of 20% and 50%. Of all the analyzed cultivated plants the biggest deficits with the probability of 20% and 50% were recorded for late potatoes.

**Key words:** water deficits, water needs, crops, irrigation, late potatoes.





# OKRESOWE NIEDOBORY WODY A POSTĘP BIOLOGICZNY W HODOWLI ZBÓŻ

Krystyna Rybka<sup>1</sup>, Tadeusz Oleksiak<sup>1</sup>

**Streszczenie:** W niniejszym artykule przeglądowym zarysowano fizjologiczne, biochemiczne i genetyczne uwarunkowania tolerancji roślin na suszę. Na przykładzie mechanistycznego modelu Sirius, opracowanego w ośrodku badawczo-hodowlanym w Rothamsted (UK), rozszerzonego o algorytm ewolucyjny (GA-SA) i prognozy klimatyczne (HadCM3) do roku 2050, przedstawiono ideotypy zbóż dla obszarów zagrożonych suszą. Hodowla nowych odmian z uwzględnieniem cech wytypowanych w oparciu o przewidywania statystyczne powinna umożliwić dalszy wzrost plonowania zbóż, pomimo malejących zasobów wodnych. Przedstawiono również postęp hodowlany dla pszenicy, jęczmienia, owsa, żyta i pszenżyta, zarówno form ozimych, jak i jarych, w oparciu o wyniki doświadczeń COBORU jak i wyniki produkcji. Wykazano, iż postęp ten można zauważyć również analizując dane zestawione jedynie dla lat charakteryzujących się suszami w maju bądź w czerwcu. Wystąpienie na konferencji jak i niniejszy artykuł opracowano w oparciu o pracę przeglądową Rybka i Nita (2015).

**Słowa kluczowe:** fenomika, plon, pszenica, jęczmień, owies, żyto, pszenżyto,

## WPROWADZENIE

Rosnące zapotrzebowanie na żywność jak również uwarunkowania ekonomiczne stawiają przed hodowlą wymagania ciągłego podnoszenia produktywności odmian wprowadzanych do uprawy. Zielona rewolucja zaowocowała wprowadzeniem form karłowatych i na półwiecze zdeterminowała mechanizmy podnoszenia plonowania przez zwiększanie indeksu plonowania (HI), które wraz z wysoką kulturą rolną pozwoliły na osiągnięcie plonów pszenicy wyższych niż 10 t/ha. Osiągnięto optymalną wielkość HI (dla pszenicy  $\approx 0,64$ ), tak więc potencjał plonowania związany z tym parametrem został wyczerpany i w związku z tym pojawiło się pytanie jakie fenotypy zbóż zagwarantują dalszy wzrost plonów w nadchodzących dekadach, dla których prognozowane jest zjawisko pogłębiającej się suszy glebowej. Utrzymanie tempa wzrostu produkcji żywności proporcjonalnego do wzrostu liczby ludzi na świecie, w zmieniającym się klimacie, jest wielkim zadaniem i wyzwaniem dla hodowli. Oczekuje się, iż połączenie osiągnięć w zakresie fizjologii, biochemii i genetyki molekularnej roślin z wiedzą praktyków-hodowców wraz z uwzględnieniem fenotypów wygenerowanych w oparciu o modelowanie statystyczne, powinno przynieść oczekiwane rezultaty (Anioł 2010; Rybka, Nita 2014 i 2015).

<sup>1</sup> Krystyna Rybka – Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB Radzików, k.rybka@ihar.edu.pl

<sup>1</sup> Tadeusz Oleksiak – Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB Radzików, t.oleksiak@ihar.edu.pl

## FIZJOLOGICZNE UWARUNKOWANIA TOLERANCJI ROŚLIN NA SUSZĘ

Deficyt wody w komórkach i tkankach powoduje zaburzenia funkcji życiowych roślin, prowadząc do zahamowania wzrostu i rozwoju, a w przypadku długotrwałego braku wody do zamierania tkanek. Rośliny w trakcie ewolucji wykształciły liczne mechanizmy indukujące w tkankach roślinnych:

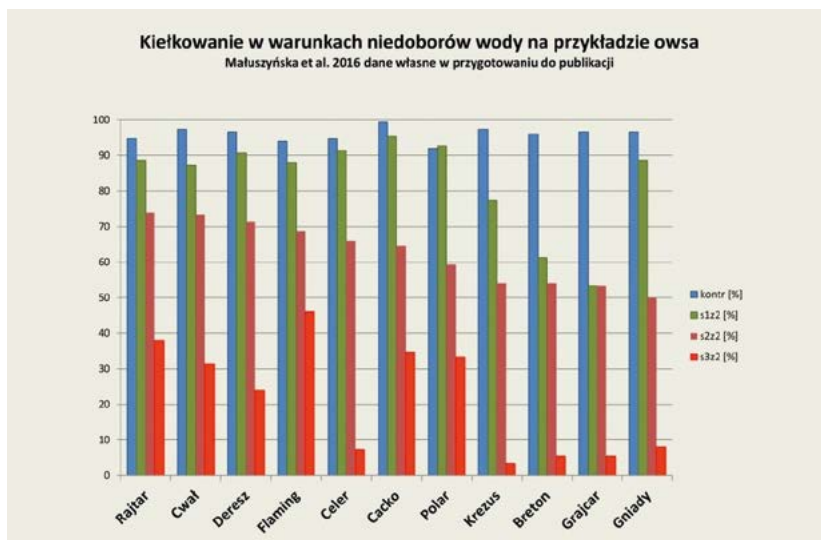
1. redukcję potencjału wody i aktywności komórkowej;
2. spadek turgoru i zmniejszenie objętości komórek oraz zwiększenie stężenia osmoprotektantów;
3. zmiany struktury makromolekuł oraz stosunków przestrzennych między kompartmentami komórkowymi;
4. spowolnienie wzrostu.

Zmianom tym towarzyszy ograniczenie transpiracji i tym samym ograniczenie fotosyntezy prowadząc najczęściej do redukcji plonu, co z ekonomicznego punktu widzenia jest nieakceptowane. Z punktu widzenia uprawy roślin ważne są formy dobrze plonujące w warunkach ograniczonego dostępu wody, a nie jedynie przeżywające w warunkach suszy. Dlatego też wiele nowoczesnych odmian o podwyższonej, w porównaniu do starszych odmian, odporności na suszę charakteryzuje się wzmożoną transpiracją, pozwalającą na utrzymanie turgoru, co przeciwdziała zahamowaniu wzrostu i spadkowi plonu w krótkotrwałych okresach suszy. Transpiracji towarzyszy lepsze pobieranie oraz przewodzenie wody przez rozwinięty system korzeniowy i naczynia przewodzące o szerszym przekroju. Usprawnienie pobierania i przewodzenia wody przez rośliny prowadzi co prawda do wydłużenia życia roślin w warunkach suszy, jednakże przyczynia się również do wzrostu całkowitej ilości wody transpirowanej przez roślinę i może wpływać na pogłębienie suszy glebowej.

Równoległe z mechanizmami adaptacyjnymi, jako skutek selekcji naturalnej bądź hodowlanej, rośliny wykształciły mechanizmy unikania stresu suszy, wśród których istotną rolę odgrywają:

1. koordynacja czasowa dostępności wody i zapotrzebowania na nią (w Polsce: wczesność, kiełkowanie w warunkach suszy glebowej (Rys. 1));
2. szybkie kiełkowanie i krzewienie w celu zacielenia gleby;
3. krótki okres wegetacji (rośliny kończą wegetację zanim nastąpi susza), bądź przeciwnie: długi okres wegetacji (rośliny te zazwyczaj mają dłuższy system korzeniowy);
4. zabezpieczenia antytranspiracyjne ograniczające transpirację kutykularną np. pokrycie woskami blaszki liściowej;
5. zasychanie lub zrzucanie liści i tym samym zmniejszenie zapotrzebowania na wodę;
6. inną formę czasowego unikania skutków suszy posiadają fenotypy kumulujące biomasę w tkankach wegetatywnych i alokujące asymilaty głównie do ziarna w fazie jego wypełniania, pomimo braków wody w glebie (Rybka, Nita 2014 i cytowana tam literatura).



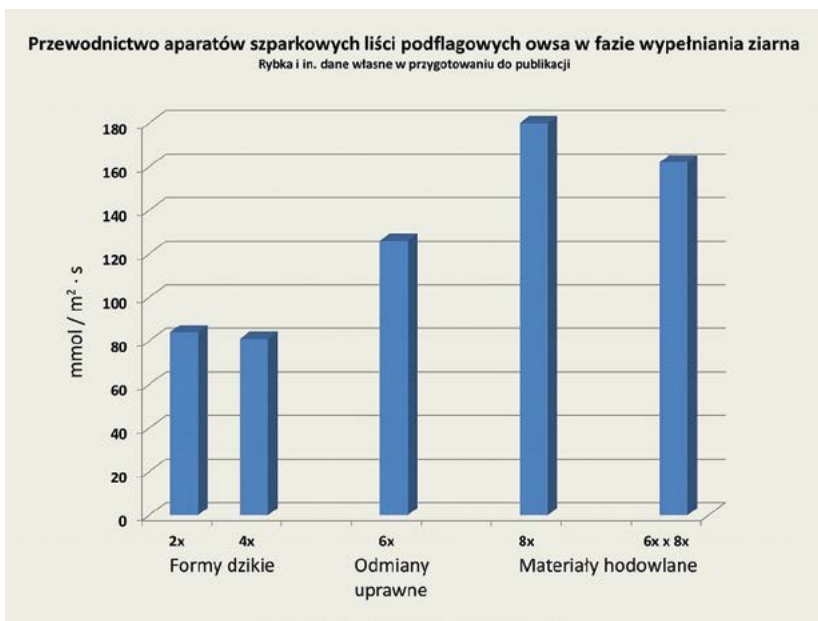


Rys. 1. Kiełkowanie w warunkach niedoborów wody na przykładzie owsa (Małuszyńska i in. 2017, w przygotowaniu)

Wzrost efektywności wykorzystania wody przez rośliny uprawne jest kluczowy dla utrzymania poziomu plonowania oraz do jego dalszego podnoszenia w warunkach prognozowanej suszy. Poprawa pobierania wody pod koniec cyklu wegetacyjnego i minimalizacja transpiracji poza szparkowej jest sposobem podejścia do tego problemu, wdrażanym już do programów hodowlanych na terenach półpustynnych. Istnieje możliwość prowadzenia selekcji w kierunku obniżenia transpiracji przy jednoczesnym utrzymaniu odpowiedniej wysokości plonu, gdyż w materiałach hodowlanych musi występować wysoka zmienność tej cechy związana z faktem, że transpiracja nie była dotychczas wykorzystywana jako kryterium selekcyjne. Rzeczywiście, teza ta znajduje potwierdzenie w danych literaturowych, zgodnie z którymi współczynnik zmienności transpiracji u różnych gatunków wynosi 30% dla bawełny, 41%- orzeszki ziemne; 25%- sorgo, 32% oraz 17%- pszenica; 18%- soja; 11%- groch. Przegląd danych literaturowych wskazuje na prawie dwukrotną rozpiętość TE (transpiration efficiency) u odmian jęczmienia i trzykrotną u odmian pszenicy. Również dane własne wskazują, iż przewodnictwo aparatów szparkowych liści podflagowych owsa, w fazie wypełniania ziarna jest u form dzikich dwukrotnie niższe niż w materiałach hodowlanych (Rys. 2 oraz Rybka, Nita 2014 i cytowana tam literatura).

Ponieważ metody pomiaru przewodnictwa aparatów szparkowych nie spełniają wymogów stawianych metodom przeznaczonym do masowej selekcji, to dopóki nie zostaną wprowadzone nowe metody eksperymentalne, pomiary za pomocą zmodernizowanych metod lizymetrycznych wydają się być skuteczne w badaniach efektywnego wykorzystania wody przez rośliny uprawne i w selekcji roślin lepiej tolerujących suszę. Sprawa konieczności wprowadzenia takiego parametru jako kryterium hodowlanego jest otwarta.





Rys. 2. Przewodnictwo aparatów szparkowych liści podflagowych owsa w fazie wypełniania ziarna (Rybka i in. 2017, w przygotowaniu)

## BIOCHEMICZNE REAKCJE ROŚLIN W ODPOWIEDZI NA SUSZĘ

Na poziomie biochemicznym rośliny o podwyższonej odporności na suszę charakteryzują się:

1. sprawniejszym rozpoznawaniem i długodystansowym przekazywaniem sygnałów (w tym ABA);
2. wydajniejszym systemem naprawy lub/i proteolizy uszkodzonych białek;
3. lepszą ochroną błon komórkowych przez osmoprotektanty;
4. występowaniem białek LEA (ang. *Late Embryogenesis Abundant*), oddziałujących głównie z trehalozą;
5. stabilniejszą fotosyntezą;
6. stabilniejszym metabolizmem mitochondriów oraz;
7. stabilniejszym potencjałem oksydacyjno-redukcyjnym tkanek, utrzymywanym dzięki mechanizmom hamującym powstawanie wolnych rodników oraz ich wydajną inaktywację (Rybka, Nita 2014 i cytowana tam literatura).

## MOLEKULARNE PODSTAWY ODPOWIEDZI ROŚLIN NA SUSZĘ

Na poziomie molekularnym w tkankach roślin o podwyższonej odporności na suszę zidentyfikowano: geny kodujące białka ochronne LEA, Hsp (ang. *Heat shock proteins*), białka warunkujące prawidłową strukturę błon komórkowych: np. desaturaza  $\omega$ -3 i  $\Delta$ -6; geny

enzymów modyfikujących białka: proteinazy i proteazy a także fosfatazy; geny enzymów degradujących cząsteczki ROS (ang. *Reactive Oxygen Species*) i warunkujących prawidłowy potencjał oksydacyjno-redukcyjny w komórce: dysmutazy, katalazy, peroksydazy, reduktazy; czy wreszcie geny kodujące akwaporyny, integralne białka błonowe tworzące kanały do transportu wody, a także do transportowania niskocząsteczkowych rozpuszczalników pozbawionych ładunku, takich jak glicerol (akwagliceroporyny), a także białka regulujące szybkość syntezy wielu metabolitów pełniących funkcje osmoprotekcyjną takich jak prolina, betaina glicynowa czy cukry takie jak mannitol i trehaloza.

Wśród genów kodujących przekaźniki sygnałów są geny kinaz oraz czynników transkrypcyjnych kodujących białka z rodzin: DREB (ang. *Dehydration Response Elements Binding*), ERF (ang. *Ethylene Responsive Transcription Factor*), WRKY (czynniki transkrypcyjne o konserwatywnej sekwencji aminokwasów: WRKYGQK), MYB (ang. MYeloBlastosis), bHLH (ang. *basic Helix Loop Helix*), bZIP (ang. *basic Leucine Zipper Domain*), NAC (czynniki transkrypcyjne o domenie wspólnej dla genów białek Nam, Ataf1 oraz Cuc2), geny kodujące rodzinę białek palca cynkowego. Jako zaangażowane w regulację odporności na stresy zostały również zidentyfikowane geny kodujące białka związane ze szlakami syntezy oraz przekazywania sygnałów zależnych od fitohormonów: ABA i giberelin, kwasu jasmonowego, brasinosteroidów (Rybka, Nita 2014 i cytowana tam literatura).

## MODELOWANIE STATYSTYCZNE WSPOMAGAJĄCE HODOWLĘ

Złożone uwarunkowania genetyczne/biochemiczne odporności na suszę i określone scenariusze pogodowe warunkują wysokość plonowania. Rosnące zapotrzebowanie na żywność zmusza do poszukiwania nowych rozwiązań metodycznych w hodowli roślin. Jedną z metod wspomagających decyzje, nie tylko w hodowli, jest prognozowanie oparte na modelach statystycznych: empirycznych bądź mechanistycznych. Dla celów hodowli, algorytmy empiryczne konstruowane są w oparciu o statystyczne dopasowanie wielkości plonu do danych meteorologicznych, natomiast w modelach mechanistycznych wykorzystywane są mierzalne parametry istotne dla opisu faz rozwojowych roślin: rozwoju wegetatywnego i generatywnego, w konkretnych warunkach polowych. Coraz powszechniej uważa się, że modelowanie statystyczne umożliwi sprzężenie danych fenotypowych z danymi genowanymi przy użyciu platform genomicznych i metabolomicznych, w sposób rentowny dla hodowli.

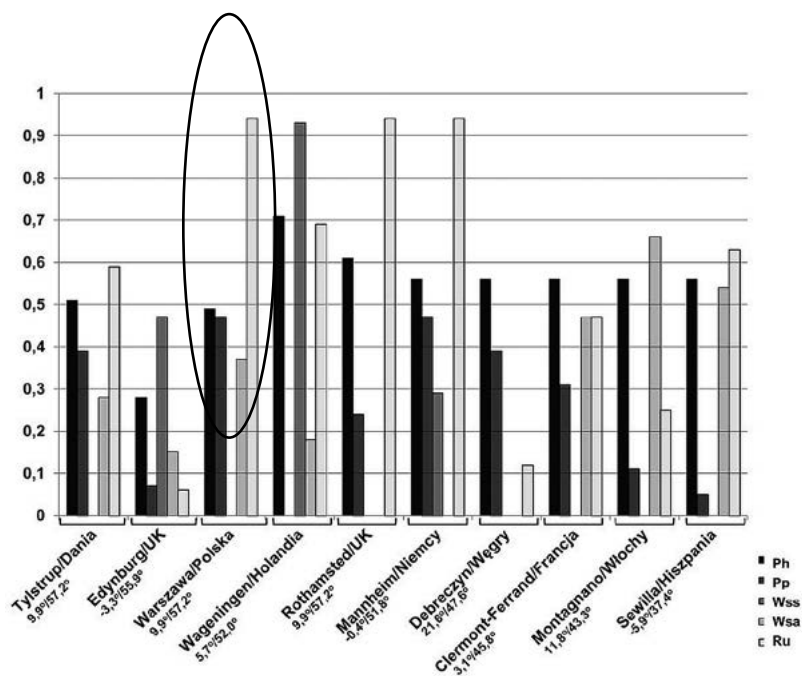
Ponieważ w praktyce jest wykorzystywanych wiele modeli, o różnym poziomie istotności uzyskiwanych wyników, w październiku 2010 zostało zawiązane konsorcjum w celu porównania i poprawy modeli prognostycznych dla rolnictwa (ang. *Agricultural Models Intercomparison and Improvement Project-AgMIP*), z uwzględnieniem scenariuszy pogodowych i prognozowanej sytuacji gospodarczej (Anonim, 2014). Prace są prowadzone niezależnie dla pszenicy, kukurydzy, ryżu, sorga i prosa, soi, ziemniaków, buraka cukrowego i orzeszków ziemnych. W grupie pszenicy porównywanych jest 27 modeli, wśród których znajdują się: CERES wygenerowany w Michigan State University, EPIC- przez USDA, AquaCrop przez FAO oraz APSIM wygenerowany przez CSIRO w Australii. W niniejszym artykule poświęcimy uwagę rezultatom modelowania fenotypów pszenicy uzyskanym na podstawie mechanistycznego modelu symulacyjnego- Sirius. Model ten został skalibrowany dla współczesnych odmian pszenicy, a prawidłowość prognozowania została zweryfikowana

eksperymentalnie w szerokim zakresie warunków środowiskowych Europy, Nowej Zelandii, Australii i Stanów Zjednoczonych. W roku 2010 do modelu tego został dołączony samoadaptacyjny algorytm genetyczny/ ewolucyjny (GASA), umożliwiający optymalizację ideotypów pszenicy dla środowisk docelowych.

Zastosowanie algorytmów genetycznych w modelach prognostycznych jest skuteczne w sytuacjach, gdy cel modelowania jest dokładnie sprecyzowany i znany jest sposób oceny końcowej lecz metoda prowadzenia symulacji jest bardzo złożona ze względu na dużą ilość zdarzeń, które mogą decydować o rezultacie końcowym. Koncepcję algorytmów genetycznych opracował John H. Holland bazując na teorii ewolucji i powstających losowo (nieukierunkowanie) mutacjach, podlegających ściśle ukierunkowanej presji środowiska na określony/optimalny fenotyp. Optymalizacje bazujące na podejściu ewolucyjnym wymagają opracowania właściwego algorytmu, a następnie zaprojektowania sposobu kodowania rozwiązań oraz podania funkcji oceny i celu, co jest kluczowe dla skuteczności obliczeń. W najprostszych przypadkach nie trzeba wprowadzać zmian do samego algorytmu w czasie realizacji symulacji. Podejmowanie decyzji i prognozowanie w oparciu o różne modele statystyczne staje się powszechne; na oficjalnej stronie U.S. Federal Science przez hasło „yield prediction model” znaleziono 2174 odnośników (Science.gov, 2014).

W modelach przeznaczonych dla hodowli wielkość plonu jest końcowym miernikiem a główne, złożone zdarzenia wpływające na jego wysokość to warunki atmosferyczne oraz stresy środowiskowe. W statystycznym prognozowaniu ideotypów pszenicy dla upraw do roku 2050 z wykorzystaniem modelu Sirius modelowano 5 grup parametrów obejmujących 9 cech fizjologicznych. Zakresy wartości każdego z parametrów zostały wyliczone i skalibrowane na podstawie doświadczeń prowadzonych na całym świecie. Celem modelowania ideotypów pszenicy było wyznaczenie takich wartości względnych dla rozpatrywanych parametrów fizjologicznych, które zapewniłyby maksymalizację plonu w perspektywie do roku 2050 w każdej z 10 wybranych lokalizacji w Europie różniących się warunkami klimatycznymi. Prognozy klimatyczne generowano w modelu HadCM3. Dla wszystkich lokalizacji przyjęto jeden rodzaj gleby o wodnej pojemności połowej 177 mm. Już podczas pierwszych iteracji, przy użyciu algorytmu GA-SA, wyszukującego lokalne maksima w wieloparametrowych bazach, parametry okresu wypełniania ziarna (Gf), maksymalnej powierzchni liści (A) oraz 'stay green' (S) uzyskały maksymalną, dopuszczoną wartość, czyli ich względną wartość wyniosła 1 (rys. 2). Po przyjęciu tych maksymalnych wartości dla ideotypów pszenicy przyszłości w dalszych cyklach iteracyjnych zauważono konwergencję parametrów charakteryzujących fenologię roślin: phyllochronu (Ph) dla szerokiego obszaru od 37,4 °N do 49,5 °N i -5,9 °W do 21,6 °E oraz odpowiedzi na fotoperiod (Pp) w lokalizacjach Tylstrup i Debreczyn oraz dla Warszawy i Mannheim. Parametry opisujące odpowiedź roślin na stres suszy: przyspieszenie tempa starzenia się liści (WSS) i reakcja fotosyntezy na suszę (WSA), wykazały zbieżność tylko w tych lokalizacjach, gdzie ograniczenia ilości wody mogłyby mieć istotny wpływ na plon ziarna. WSS wykazało konwergencję dla: Warszawy, Rothamsted i od Debreczyna po Sewillę; przyjmując wartość zero, co oznacza że przyspieszenie starzenia liści (WSS) jest niewskazane w tych lokalizacjach. WSA przyjęło wartość 0 dla Rothamsted, Mannheim i Debreczyna. Dla Warszawy, Rothamsted i Mannheim przewidziano konieczność utrzymania parametru poboru wody przez korzenie na poziomie 94% założonej we wstępnym modelowaniu wartości maksymalnej, co wskazuje na znaczenie tego parametru w ideotypie pszenicy wygenerowanym przez Sirius dla warunków polskich (Rybka, Nita 2014 i cytowana tam literatura).

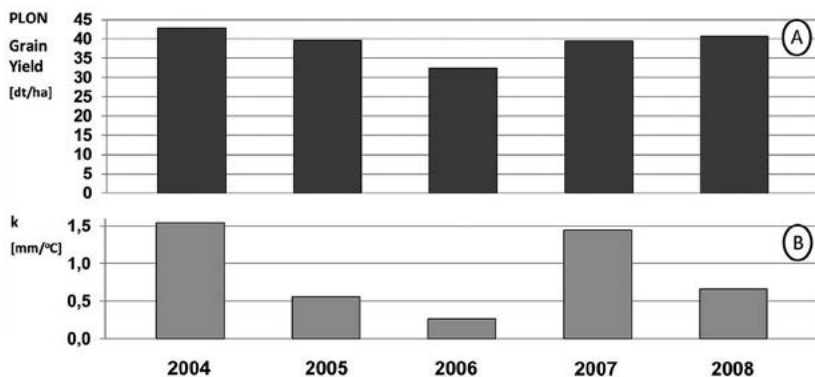




Rys. 3. Znormalizowane parametry (w zakresie 0-1) opisujące fenotypy pszenicy dla przyszłych scenariuszy pogodowych w perspektywie do 2050 r obliczone w modelu Sirius (za: Semenov i in.2014, zmodyfikowano). Ph- 'phyllochron' (ang. *phyllochron*); Pp- reakcja na fotoperiod (ang. *day length response*); Wss- przyspieszenie tempa starzenia się liści (ang. *acceleration of leaf senescence*); Wsa- odpowiedź fotosyntezy na stres wodny (ang. *water stress answer*); Ru- tempo pobierania wody przez korzenie (ang. *rate of water uptake*). Na wykresie nie zamieszczono współczynników, których wartości znormalizowane osiągnęły wartość 1: Gf – okres wypełniania ziarna (ang. *Grain filling*); A- stosunek powierzchni liści do powierzchni gleby (ang. *area index*); S- cecha 'stay green' (ang. *stay green*) (Rybka i Nita 2014, zmodyfikowano).

## POSTĘP HODOWLANY

Pomimo, iż susza powoduje spadek plonowania, czasami bardzo drastyczny (Rys. 4), w hodowli w Polsce nie stosuje się obecnie odrębnych metod selekcyjnych w podnoszeniu tolerancji na suszę. Rutynowo, prace selekcyjne prowadzone są w różnych lokalizacjach, również na glebach lekkich, gdzie susze występują dosyć często. Przez porównanie plonowania wybierane są najlepsze materiały. Problem wyhodowania odmiany odpornej na suszę polega na tym, że poszukiwane są formy tolerancyjne na suszę i jednocześnie w warunkach optymalnych równie dobrze plonujące jak formy nieodporne. Kryteria te stawiają wysokie wymagania przed hodowcą.



Rys. 4. Wpływ suszy na plonowanie pszenicy w Polsce w latach 2004-2008. Okres 2004-2008 wybrano dla pokazania spadku plonów wywołanych suszą w 2006 roku. A) Średnie plony pszenicy w gospodarstwach rolnych; B) współczynnik hydrotermiczny Seljaninowa (k) wiążący opady ze średnią temperaturą w określonym przedziale czasu, wyliczony ze wzoru  $k=10 \cdot P/T$ , gdzie P - suma opadów badanego okresu w [mm], T - suma średnich temperatur dobowych badanego okresu [°C] (Stachowski, 2010); C) (Rybka i Nita 2014, zmodyfikowano)

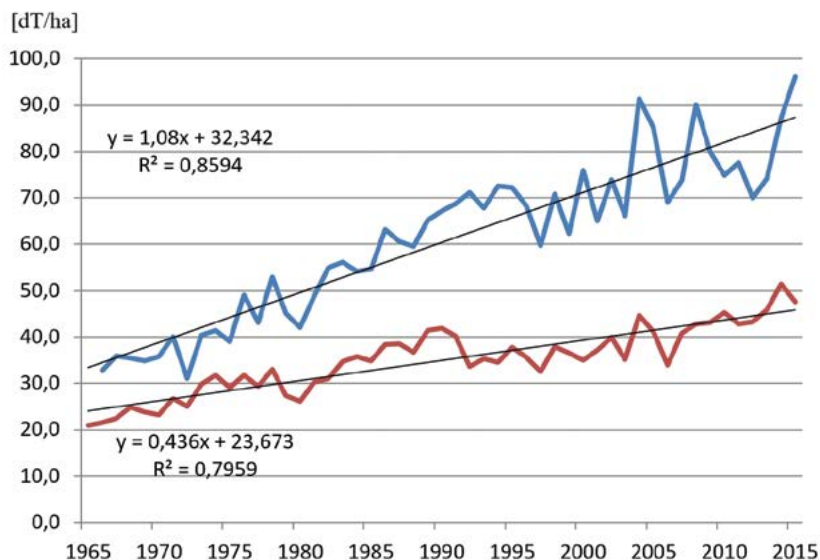
Dodatkowym problemem jest znajomość fazy rozwoju rośliny, w której susza wpływa najbardziej na redukcję plonu. Teoretycznie może ona wystąpić w każdym etapie rozwoju roślin: po siewach jesienią czy też wczesną wiosną. Hodowcy przyjmują, że najbardziej niebezpieczna jest w okresie majowym i na początku czerwca, kiedy roślina kwitnie i zawiązuje się ziarno. Z obserwacji w Choryni i Sobiejuchach wynika, że jeśli susza trwa 2 kolejne dekadę to bardzo obniża się plon (dr Z. Banaszak, Danko, inf. ustna).

Hodowcy posługują się tzw. cechami pośrednimi w selekcji linii tolerancyjnych na suszę. Są to:

- szybki i bujny wzrost roślin w początkowych etapach rozwoju (zboża jare) oraz po zimie (oziminy);
- silne krzewienie zbóż, tzw. formy płozące, zasłaniające glebę i przez to ograniczające jej parowanie;
- wczesność kwitnienia i kłoszenia: wcześniejsze linie lepiej znoszą suszę w czerwcu;
- szybki okres nalewania ziarna: od kwitnienia do dojrzałości woskowej;
- dłuższa słoma = dłuższe korzenie;
- formy ościste pszenicy: w skali ogólnoswiatowej zdają się być bardziej tolerancyjne na suszę (dr P. Matysik, HR-Strzelce, inf. ustna)

## PLONOWANIE ZBÓŻ W DOŚWIADCZENIACH COBORU I W PRODUKCJI

Ostatnie półwiecze charakteryzowało się ogromnym postępowaniem hodowlanym. Średnie plony pszenicy ozimej w produkcji wzrosły 2,5- krotnie od roku 1964, natomiast w doświadczeniach COBORU 3-krotnie od roku 1966 (Rys. 5). Dla pszenicy jarej postęp był mniejszy (1,6-krotny w produkcji i 2,4 x w doświadczalnictwie). Dla pozostałych zbóż zanotowano również istotny wzrost plonowania: w doświadczeniach COBORU ok. 2,5-krotny a w produkcji co najmniej 1,5-krotny (Tab. 1).



Rys. 5. Średni plon pszenicy w Polsce w latach 1966-2015 [dT/ha], w doświadczeniach COBORU (linia niebieska) i w produkcji (linia czerwona).

Tab. 1. Porównanie średniego plonu [dT/ha] głównych zbóż uprawianych w Polsce

gatunek		COBORU [dT/ha]		produkcja [dT/ha]	
		1966	2015	1966	2015
pszenica	ozima	32,9	96,1	21,6	47,6
	jara	28,3	68,5	20,5	33,5
jęczmień	ozimy	33,1	85,4	19,9	41,3
	jary	33,1	73,8	20,7	33
żyto	ozime	31,7	81,2	17,8	27,8
owies	jary	34,7	65,2	18,8	26,5

Ponieważ sposób prowadzenia selekcji prowadzący do zwiększenia tolerancyjności zbóż na suszę bazuje na porównywaniu plonowania na glebach zasobnych w wodę i lekkich, w związku z tym zestawiono zebrane dane jedynie dla lat, w których wystąpiła susza majowa bądź czerwcową i wyliczono równania regresji liniowej oraz współczynniki  $R^2$ , będące miarą dopasowania modelu. Dla pszenicy ozimej odnotowano statystycznie istotne parametry zarówno dla danych z doświadczeń COBORU jak i z produkcji, zarówno dla całości danych jak i dla lat charakteryzujących się suszami majowymi bądź czerwcowymi (Tab. 2). Dla jęczmienia i żyta ozimego odnotowano postęp w doświadczalnictwie, natomiast nie był on istotny dla wyników z produkcji. Przyczyny braku korelacji dla każdego z tych gatunków częściowo są inne a ich omówienie nie leży w zakresie bieżącego artykułu. Natomiast dla



zboż jarych korelacje zaobserwowano jedynie w obrębie doświadczeń COBORU (Tab 3). Najprawdopodobniej, ze względu na krótką historię hodowli pszenżyta, ozimego od roku 1984 a jarego od 1989, nie zaobserwowano istotnych statystycznie wartości dla tego gatunku w latach do 2015 roku i w związku z tym nie obliczano  $R^2$  dla lat dotkniętych suszą w miesiącu maju bądź w czerwcu.

Tab. 2. Postęp hodowlany w podnoszeniu tolerancji zbóż ozimych na suszę, wyrażony jako równanie regresji liniowej wyznaczone na podstawie plonowania w latach 1966-2015 oraz w latach, dla których stwierdzono występowanie suszy w miesiącu maju bądź w czerwcu.

OZIMINY	lata 1966-2015		susze majowe		susze czerwcowe	
	równanie	$R^2$	równanie	$R^2$	równanie	$R^2$
<b>pszenica</b>						
doświadczenia	$y = 1,1x + 32,3$	<b>0,86</b>	$y = 1,0x + 33,4$	<b>0,82</b>	$y = 1,1x + 35,8$	<b>0,89</b>
produkcja	$y = 0,4x + 23,7$	<b>0,80</b>	$y = 0,4x + 23,2$	<b>0,80</b>	$y = 0,4x + 25,3$	<b>0,79</b>
<b>jęczmień</b>						
doświadczenia	$y = 1,1x + 29,5$	<b>0,82</b>	$y = 1,1x + 28,5$	<b>0,76</b>	$y = 1,1x + 30,8$	<b>0,85</b>
produkcja	$y = 0,4x + 24,4$	0,58	$y = 0,3x + 25,0$	0,44	$y = 0,25x + 27,5$	<b>0,70</b>
<b>żyto</b>						
doświadczenia	$Y = 0,9x + 31,8$	<b>0,87</b>	$y = 0,9x + 31,0$	<b>0,90</b>	$y = 0,9x + 35,1$	<b>0,95</b>
produkcja	$y = 0,1x + 20,4$	0,31	$y = 0,1x + 20,0$	0,23	$y = 0,1x + 20,5$	0,19
<b>pszenżyto</b>	od roku 1984					
doświadczenia	$y = 0,8x + 55,7$	0,55	$y = 0,3x + 64,8$		$y = 0,74x + 57,9$	
produkcja	$y = 0,2x + 30,0$	0,17	$y = 0,1x + 31,6$		$y = 0,09x + 26,2$	

Tab. 3. Postęp hodowlany w podnoszeniu tolerancji zbóż jarych na suszę, wyrażony jako równanie regresji liniowej wyznaczone na podstawie plonowania w latach 1966-2015 oraz w latach, dla których stwierdzono występowanie suszy w miesiącu maju bądź w czerwcu.

ZBÓŻA JARE	1965-2015		majowe		czerwcowe	
	równanie	$R^2$	równanie	$R^2$	równanie	$R^2$
<b>pszenica</b>						
doświadczenia	$y = 0,7x + 32,3$	<b>0,76</b>	$y = 0,7x + 30,5$	<b>0,83</b>	$y = 0,6x + 34,7$	<b>0,78</b>
produkcja	$y = 0,2x + 24,5$	0,45	$y = 0,4x + 23,2$	<b>0,80</b>	$y = 0,4x + 25,3$	<b>0,79</b>
<b>jęczmień</b>						
doświadczenia	$y = 0,7x + 34,4$	<b>0,82</b>	$y = 0,6x + 33,7$	<b>0,87</b>	$y = 0,7x + 33,5$	<b>0,89</b>
produkcja	$y = 0,2x + 25,5$	0,32	$y = 0,3 + 25,0$	0,44	$y = 0,1x + 26,2$	0,11
<b>owies</b>						
doświadczenia	$y = 0,6x + 33,9$	<b>0,71</b>	$y = 0,6x + 32,4$	<b>0,80</b>	$y = 0,6x + 31,5$	<b>0,75</b>



produkcja	$y = 0,1x + 22,3$	0,15	$y = 0,1x + 21,6$	0,13	$y = 0,1x + 20,8$	0,13
<b>pszenżyto</b>	od roku 1989					
doświadczenia	$y = 0,4x + 50,9$	0,27	$y = 0,6x + 47,9$		$y = 0,9x + 40,1$	
produkcja	$y = 0,1x + 26,2$	0,05	$y = 0,1x + 26,4$		$y = 0,1x + 26,0$	

W Polsce, problem suszy dotyczy głównie zbóż jarych, wśród których pszenżyto jare jest najbardziej tolerancyjne. W związku z tym firma Danko poleca, jako tolerancyjne na suszę odmiany pszenżyta jarego: Dubelt, Mazur i Puzon. Inne gatunki znoszą suszę dużo gorzej, jednakże podniesioną odpornością cechuje się pszenica jara- Arabella, owies- Berton i jęczmień jary- Kucyk. Wśród zbóż ozimych odmiany żyta są dość odporne, gdyż są wcześniejsze od innych gatunków. Generalnie odmiany wcześniej kłoszące się lepiej znoszą suszę. Spośród ozimin Danko poleca: pszenżyto ozime: Fredro, Avokado, Kasyno i Rotondo oraz pszenicę ozimą Arkadia (dr Z Banaszak, Danko, inf. ustna).

Natomiast HR-Strzelce, jako odmiany tolerancyjne na okresowe susze oraz słabsze warunki glebowe, poleca owies – odmiany Bingo, Nawigator i Paskal, jęczmień jary Suweren i Radek, pszenicę jarą Kamelię i Rusałkę oraz pszenżyto jare- Matejko. Spośród odmian ozimych: rzepak ozimy- Monolit i Chrobry, pszenżyto ozime- Borowik, Panteon, Meloman, Sekret i Aliko oraz pszenicę ozimą, odmiany- Pokusa, Zyta i Markiza (dr P. Matysik, HR-Strzelce, inf. ustna). HR-Smolice poleca jęczmień jary, odmiany Basza i Blask (A. Cieplicka, HR-Smolice, inf. ustna).

## WNIOSKI

1. Kryteria selekcyjne stosowane przez hodowców zapewniają stały postęp w podnoszeniu plonów nowych odmian zbóż.
2. Postęp hodowlany w kierunku zwiększenia plonowania jednocześnie zwiększa tolerancyjność na suszę.
3. Istnieje duża zmienność fenotypowa (do 30%), umożliwiającą selekcję cech związanych z tolerancyjnością na suszę takich jak zdolność kiełkowania w warunkach suszy i przewodnictwo aparatów szparkowych.
4. Badania proteomiczne wskazują, iż poszukiwanie materiałów wyjściowych o stabilnej fotosyntezie w warunkach niedoborów wody może warunkować wzrost odporności i tym samym dobry plon.
5. Należy rozstrzygnąć, które cechy: pobór wody przez korzenie i struktura systemu korzeniowego, czy też wydajna fotosynteza, przy jednocześnie ograniczonej transpiracji będą nowymi cechami fenotypowymi /selekcyjnymi odmian o podniesionej tolerancji na suszę.
6. Istnieje konieczność rozwijania fenomiki w celu gromadzenia wieloparametrowych danych na podstawie masowych, zautomatyzowanych pomiarów z całej rośliny.
7. Wprowadzenie do programów hodowlanych dihaploidów (DH) wymusza stopniowe zmiany w metodyce selekcji materiałów hodowlanych.

## ADNOTACJA

Artykuł przygotowano w ramach finansowania statutowego IHAR-PIB, temat 1-1-01-4-05.

## LITERATURA

- Anioł A., 2010: Wpływ biotechnologii i procesów globalizacji w gospodarce na hodowlę roślin i wspierające ten sektor badania naukowe. Biul. IHAR nr 256, s. 3-13.
- Rybka K., Nita Z., 2015: Nowoczesne fenotypy zbóż dla areałów zagrożonych suszą. Biul. IHAR nr 273, s. 55-72.
- Rybka, K., Nita, Z., 2015. Physiological requirements for wheat ideotypes in response to drought threat. *Acta Physiol Plant* e37, s. 1-13.
- Oleksiak T., Rybka K., 2017: Breeding progress of cereal crops in the face of forecasted drought (w przygotowaniu).
- Małuszyńska E., Rybka K., 2017: The influence of repository conditions on oat seeds germination in simulated drought (w przygotowaniu)

## TEMPORARY WATER SHORTAGES AND A BIOLOGICAL PROGRESS IN CEREAL BREEDING

**Summary:** this review article outlines the physiological, biochemical and genetic determinants of plants tolerance to drought. On the example of the Sirius mechanistic model developed in research and breeding center in Rothamsted (UK), extended by evolutionary algorithm (GA-SA) and climate projections (HadCM3) towards 2050 there are presented cereal ideotypes for drought prone areas. Breeding tactics taking into account the characteristics of ideotypes based on statistical predictions should enable a further increase in the yield of grain crops, despite the dwindling water resources. The data showing the breeding progress for wheat, barley, oats, rye and triticale (both winter and spring forms), in COBORU experiments as well as in production are presented. It has also been shown that this progress can be visible also for years characterized by droughts in May or in June. The lecture at the Conference as well as this article were prepared basing on the review by Rybka and Nita (2015).

**Key words:** fenomics, crop, wheat, barley, oats, rye, triticale.

# RACJONALNE GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI W UPRAWIE ZIEMNIAKA

Wojciech Nowacki<sup>1</sup>

**Streszczenie:** W artykule scharakteryzowano wymagania wodne ziemniaka w poszczególnych fazach rozwoju roślin na tle współczesnych warunków klimatycznych Polski. Określono dodatni wpływ optymalnego uwilgotnienia gleby na plon i jakość bulw ziemniaka w różnych systemach gospodarowania i technologiach uprawy ziemniaka. Ziemniak jest gatunkiem o niskim współczynniku transpiracji, ale uzyskiwany wysoki plon biomasy z jednostki powierzchni w krótkim przedziale czasowym określa potrzeby wodne od 300 do 450 mm opadów. Naturalne opady, uzupełniane w nowoczesnej agrotechnice coraz częściej nawadnianiem, pozwalają uzyskać bardzo wysokie plony rzeczywiste ziemniaka. Do metod racjonalizujących korzystanie z wody potrzebnej do prowadzenia nawadniania na plantacjach ziemniaka należą: retencjonowanie zasobów wody zimowej w zbiornikach, uprawa na glebach o podwyższonej retencji, przestrzeganie optymalnych terminów agrotechnicznych, uprawa odmian o podwyższonej tolerancji na stres suszy, prowadzenie nawadniania na podstawie monitoringu deficytu polowej pojemności wodnej oraz stosowanie linii kropelkowych układanych na grzbietach redlin.

**Słowa kluczowe:** ziemniak, potrzeby wodne, reakcja na stres suszy, metody nawadniania

## WPROWADZENIE

Do głównych czynników decydujących o plonowaniu wszystkich gatunków roślin uprawnych, niezależnie od stosowanego systemu ich uprawy, należy optymalne odżywianie w potrzebne składniki pokarmowe oraz odpowiednie zaopatrzenie roślin w wodę podczas okresu wegetacji. Warunki klimatyczne Polski, a wśród nich wielkość i rozkład opadów atmosferycznych, limitują corocznie poziom plonowania większości gatunków roślin rolniczych (Dzieżyc, 1989). Zmiany klimatyczne ostatniego okresu, charakteryzujące się coraz większą dynamiką w zmianach pogody, stwarzają coraz bardziej niekorzystne warunki dla prawidłowego wzrostu i plonowania roślin (Nowacki, 2016). Niedobór lub nadmiar opadów zawsze wpływa niekorzystnie na poziom i jakość zbieranego później plonu (Haverkort i Mackerron, 2000). Charakterystyczną cechą obecnych warunków klimatycznych w naszym kraju jest także duże zróżnicowanie regionalne, a nawet lokalne pod względem rozkładu opadów (Biuletyn IMGW, 1988-2015). Niektóre rejony kraju charakteryzują się chronicznym deficytem opadów, a inne mają ich dużo lepszy rozkład.

Ziemniak jest tym gatunkiem wśród roślin rolniczych, którego potrzeby wodne w okresie wegetacji są dość wysokie w bardzo krótkim okresie czasu, bo sięgające 300-450 mm opadów w okresie od kwietnia do września (Dzieżyc i inni, 1987). Bardzo istotny jest

---

<sup>1</sup> Wojciech Nowacki – Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Oddział w Jadwisinie, Zakład Agronomii Ziemniaka, w.nowacki@ihar.edu.pl

przy tym także rozkład opadów w czasie wegetacji. Wiadomo bowiem, że każdy gatunek posiada okresy największego zapotrzebowania na wodę, a przypada on wtedy, gdy następuje najwyższy przyrost biomasy. Dla ziemniaka jest to okres od tuberyzacji, czyli wiązania bulw, poprzez dalszy okres stałego przyrostu masy bulw, który rozciąga się w czasie kilku tygodni zależnie od tempa kumulacji plonu u danej odmiany i przypada najczęściej w okresie od połowy czerwca do końca sierpnia (Głuska i Nowacki, 2001).

## MATERIAŁ I METODY

W oparciu o dane literaturowe przeanalizowano na tle potrzeb wodnych roślin ziemniaka rozkład krajowych opadów w okresie wegetacji tego gatunku ostatniego 30-lecia. Analizę wysokości opadów oraz ich rozkład w kraju w okresach wegetacji przeprowadzono na podstawie danych IMGW (Biuletyn IMGW, 1983-2015). Wyniki badań własnych, prowadzonych w Zakładzie Agronomii Ziemniaka IHAR-PIB Oddział w Jadwisinie przez ostatnie 10 lat nad stosowaniem różnych metod nawadniania plantacji różnych odmian ziemniaka w różnych systemach gospodarowania, pozwoliły na przeprowadzenie oceny ich wpływu na plon i jego jakość (Nowacki, 2006, 2008, 2009). Oceniono także efektywność stosowania nawadniania poprzez deszczowanie oraz z użyciem linii kropelkowych. Wieloczynnikowe eksperymenty polowe posłużyły do określenia współdziałania zabiegów agrotechnicznych z metodami nawadniania (Nowacki, 2010).

## WYNIKI BADAŃ

### Wymagania wodne ziemniaka

Rośliny ziemniaka w okresie wegetacji potrzebują od 300 do 450 mm wody dla prawidłowego rozwoju roślin i kumulacji plonu. Są to duże ilości wody, ale jeśli uwzględnimy wysoką produktywność tego gatunku sięgającą 80 a nawet 100t/ha świeżej masy bulw to okazuje się, że współczynnik transpiracji w porównaniu do innych gatunków roślin uprawnych jest dość niski i wynosi około 200 l wody/kg s.m., czyli suchej masy bulw, a w przeliczeniu na jednostki energetyczne około 20 l wody/100kcal. Ten fakt stawia ziemniaka w gronie najbardziej efektywnych gatunków roślin pod względem efektywności wykorzystania wody do kumulacji plonu (Haverkort, Mackerron, 2000).

Ustalenie optymalnego zaopatrzenia roślin w wodę od momentu posadzenia bulw do momentu zbioru ziemniaków zależy głównie od uprawianych w gospodarstwie odmian (ich tempa kumulacji plonu), ale także od rodzaju gleby i czynników atmosferycznych jak: temperatura powietrza, nasłonecznienie, prędkość wiatru czy wilgotność względna powietrza w okresie wegetacji. Gleby próchniczne o dużej pojemności wodnej potrzebują mniej opadów i znoszą gorszy ich rozkład, a gleby lekkie, piaszczyste o niskiej pojemności wodnej potrzebują częstszych opadów w okresie wegetacji (Głuska, 1996).

Generalnie rośliny ziemniaka dla dobrego plonowania wymagają następującego rozkładu opadów:

#### – **okres sadzenia i początkowego wzrostu roślin**

W czasie wschodów roślin ziemniaka korzystna jest ciepła i umiarkowanie wilgotna wiosna. Sadzeniaki mogą rozwijać się, tj.: kiełkować, tworzyć korzenie i nadziemną część



przy małej wilgotności gleby. Natomiast zbyt duża ilość opadów w tym okresie powoduje zwiększenie liczby roślin porażonych rizoktoniozą oraz czarną nóżką. Po wschodach zapotrzebowanie na wodę rośnie, a przedłużający się czas niedoboru wody w tym okresie może prowadzić do zahamowania wzrostu i opóźniania zwierania się rzędów na plantacji. Ten okres rozwoju roślin przypada zasadniczo na okres maja.

– **okres od zakończenia wschodów do początku kwitnienia**

W okresie tym potrzeby wodne roślin stopniowo wzrastają. Okres tworzenia pąków na ogół odpowiada okresowi wiązania bulw, czyli tuberyzacji. Jest to okres dużych potrzeb wodnych oraz dużej wrażliwości roślin na suszę. Deficyt wody w okresie tuberyzacji może powodować zawiązywanie mniejszej liczby bulw. Niedobór opadów w okresie tuberyzacji jest przyczyną porażenia bulw przez *Streptomyces scabies* wywołując chorobę skórki, zwaną parchem zwykłym, obniżając tym samym plon handlowy bulw (Głuska i Nowacki, 2001).

– **okres od początku kwitnienia do dojrzewania (żółknięcia) roślin**

W fazie, gdy bulwy powiększają swoją wielkość i masę, potrzeby roślin są największe i również największa jest ich wrażliwość na suszę. W tym okresie pożądane są równomierne rozłożone opady, a potrzeby wodne wynoszą wówczas 30 – 35 mm/dekadę, a niekiedy dochodzą nawet do 50 mm, co oznacza dzienne zużycie przekraczające 3 - 5 mm. Jeżeli opady są nierównomierne, występują wówczas zakłócenia wzrostu bulw, objawiające się deformacjami, spękaniem fizjologicznymi oraz wtórnym wzrostem bulw (paciorkowatością). Nieprawidłowa gospodarka wodna w tym okresie, kiedy obfite opady występują po długiej suszy, jest powodem występowania pustowatości bulw.

– **okres dojrzewania i zbioru**

W okresie rozpoczęcia dojrzewania roślin ziemniaka następuje zahamowanie intensywności procesu asymilacji, rośliny zmniejszają pobieranie wody i składników z gleby. Dla zbioru ziemniaka korzystna jest bardziej sucha i ciepła pogoda. Często jednak w tym okresie mamy dość duże opady sprawiające kłopoty ze zbiorem bulw i późniejszą trwałością przechowalniczą.

Tabela 1. Optymalne warunki termiczno-wilgotnościowe okresu wegetacji ziemniaka

Faza rozwoju roślin	Skala BBCH	Okres kalendarzowy dek/m-ce	Optymalna temperatura	Optymalne opady (mm/dekadę)
Sadzenie	00	I dek. 04 – I dek 05	Temp. gleby $\geq 6-8^{\circ}\text{C}$ bez przymrozków	< 10 mm
Od posadzenia do końca wschodów	01 - 09	I dek. 04 – III dek 05	Do $20^{\circ}\text{C}$ o niskiej amplitudzie dnia i nocy, bez przymrozków	ok. 15 mm
Od końca wschodów do zawiązania pąków kwiat.	11 - 39	II dek. 05 – III dek 06	Średnia temp. dobową ok. $20^{\circ}\text{C}$ , noc $12-15^{\circ}\text{C}$ , dzień $18-23^{\circ}\text{C}$	15 – 25 mm
Okres kwitnienia	51 - 69	II dek. 06 – III dek 07	Temp. dnia – $23-25^{\circ}\text{C}$ Temp. nocy $12-18^{\circ}\text{C}$	25 – 30 mm



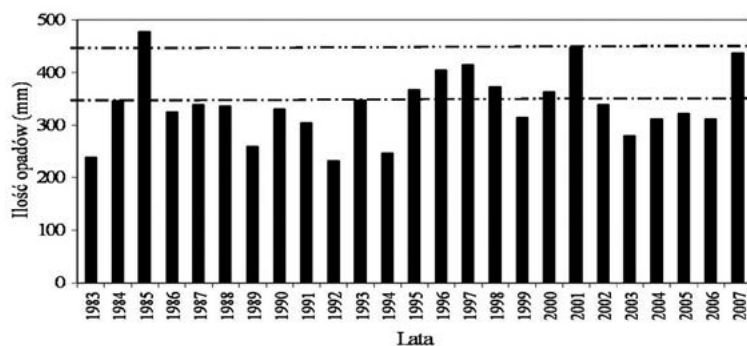
Kumulacja plonu bulw	43 - 48	III dek. 06 – III dek 08	Średnia temp. dobowa 16-20°C dzień 23-28°C noc 14-15°C	30-35 mm
Zamieranie roślin	91 - 97	I dek. 08 – III dek 09	Średnia temp. dobowa 12-18°C	ok. 15 – 20 mm
Zbiór	99	I dek. 09 – I dek 10	Temp. gleby > 10°C bez przymrozków	ok. 10 – 15 mm

Potrzeby wodne ziemniaka są zróżnicowane także w zależności od uprawianych odmian. Odmiany wcześniejsze ziemniaka, charakteryzujące się bardzo szybką kumulacją plonu, potrzebują więcej wody we wcześniejszych terminach okresu wegetacji, natomiast odmiany średnio-wczesne i późniejsze potrzebują generalnie więcej wody w późniejszych okresach wegetacji.

Generalnie, rośliny ziemniaka od posadzenia aż do zakończenia wschodów nie potrzebują dużych ilości wody. Trwająca w tym czasie posucha przyczynia się do głębszego korzenienia się roślin i tym samym wytwarza się większa tolerancja na późniejsze okresy suszy. Odmiany wcześniejsze wysadzone w końcu marca, a szczególnie przeznaczone na wczesny zbiór, potrzebują już opadów od połowy kwietnia do pierwszej dekady sierpnia, kiedy osiągają pełną dojrzałość.

### Rozkład opadów w Polsce w okresie wegetacji ziemniaka

Trudno natomiast w zmieniającym się klimacie doszukać się stałych tendencji w zmianach wysokości opadów w okresie wegetacji. Można tylko na podstawie analizy danych stwierdzić, że wysokość opadów charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością w poszczególnych latach, a wyższe opady zdarzają się dość rzadko.



Rys. 1. Poziom opadów w Polsce w okresie wegetacji (IV-IX) w latach 1983-2007

W większości lat występuje deficyt opadów, gdy chodzi o wymagania wodne wielu gatunków roślin, w tym także roślin ziemniaka. Ten fakt uzasadnia potrzebę inwestowania w systemy nawadniania w każdym gospodarstwie rolnym, oczywiście pod warunkiem uzyskania dodatniej rentowności produkcji rolnej w przeciętnych warunkach.

Analiza wysokości opadów pokazuje, że na 25 analizowanych lat tylko w 8 latach poziom opadów zabezpieczał potrzeby wodne odmian wcześniejszych i tylko w 3 latach



potrzeby odmian późniejszych ziemniaka. W ostatnim okresie, nie objętym wykresem, stwierdzono suszę glebową dla upraw ziemniaka w latach 2011, 2012 i 2015 roku.

W tabeli 2 przedstawiono z kolei zróżnicowanie wielkości opadów w poszczególnych regionach kraju z uwzględnieniem 4 kolejnych 5-leci. Dane wskazują, że najlepszymi opadami charakteryzuje się generalnie południe kraju, a największe deficyty opadów występują w centralnej części kraju.

Tabela 2. Suma opadów okresów wegetacji w ujęciu regionalnym latach 1983 – 2002

Okres wegetacji	Grupa odmian	Lata	Regionalny rozkład opadów (mm) w kraju						
			pn-zach	pn-wsch	śr-zach	cen-tralny	pd-zach	śr-pd	pd-wsch
(II dek. kwietnia – I dek. sierpnia)	wczesne	1983-97	263	264	248	242	321	298	267
		1988-92	243	234	193	194	216	264	258
		1993-97	247	264	298	241	276	320	271
		1998-02	290	248	238	297	284	380	354
(I dek. maja – III dek. września)	późne	1983-87	382	372	342	345	414	398	358
		1988-92	336	319	239	252	262	335	351
		1993-97	364	341	393	342	356	421	370
		1998-02	392	315	316	346	355	445	405

### Wpływ optymalnego zaopatrzenie roślin ziemniaka w wodę na plon i jego jakość

Eliminacja deficytu opadów naturalnych w okresie wegetacji ziemniaka przy pomocy nawadniania zawsze służy zwiększeniu plonów bulw, a bardzo często (ale nie zawsze) także poprawie jakości bulw wyrażanej wyglądem bulw (morfologia) lub lepszymi parametrami technologicznymi. Bardzo rzadko zdarza się, w klimacie Polski, aby rozkład opadów był optymalny i odpowiadał wymaganiom wodnym w poszczególnych okresach rozwoju roślin ziemniaka.

Przeprowadzona analiza rozkładu opadów w ostatnim 30-leciu w Polsce wykazała, że w większości rejonów kraju, a szczególnie w rejonie centralnym, północno-wschodnim i środkowo-zachodnim, występują bardzo duże deficyty opadów, które limitują poziom plonowania ziemniaków.

Niski poziom plonów ziemniaka w Polsce jest limitowany głównie przez dwa czynniki: okresowe susze trwające w okresie wegetacji (lipiec, sierpień), szczególnie na glebach lekkich lub wczesnie występująca (na początku lipca) epifitoza zarazy ziemniaka wywoływana przez *Ph. infestans* na plantacjach słabo chronionych, których niestety jest najwięcej w naszym kraju.

Statystyka plonowania ziemniaka w Polsce pokrywa się z wielkością opadów w poszczególnych okresach wegetacji. Lata suche: 1992, 1994, 1997, 1999, 2001, 2006 były jednocześnie latami o najniższych plonach krajowych ziemniaka (odpowiednio: 133, 136, 159, 162, 150, 160 dt/ha).

Na plantacjach nawadnianych plony ziemniaka stabilizują się na względnie wysokim poziomie i zależą tylko od poziomu stosowanej agrotechniki w danym gospodarstwie. Najczęściej gospodarstwa, które stosują nawadnianie ziemniaków, należą do czołówek w branży ziemniaczanej a poziom agrotechniki jest w tych gospodarstwach najwyższy. Ich filozofia działania jest bowiem taka, że stosując bardzo kosztowną technologię uprawy (kwalifikowane sadzeniaki, właściwa pielęgnacja i ochrona plantacji, optymalne terminy wykonywania zabiegów itp.) nie należy zbyt uzależniać poziomu plonowania od warunków klimatycznych, bo w przypadku wystąpienia suszy strata ekonomiczna będzie wysoka a więc stosują także nawadnianie plantacji. Są to najczęściej gospodarstwa specjalizujące się w uprawie ziemniaka jadalnego pod potrzeby zaopatrywania sieci sklepowych lub gospodarstwa uprawiające ziemniaki dla przetwórstwa spożywczego produkującego frytki lub chipsy.

Szacuje się, że takich gospodarstw jest aktualnie w kraju tylko około 3-5%, uwzględniając wszystkie gospodarstwa uprawiające ziemniaki, ale produkujących około 10% krajowej masy towarowej. Plonowanie ziemniaków w tych gospodarstwach kształtuje się na poziomie 35-45 ton z hektara każdego roku niezależnie od przebiegu pogody.

Zakład Agronomii Ziemniaka IHAR – PIB w Jadwisinie od wielu już lat prowadzi badania nad wpływem nawadniania na plonowanie różnych odmian ziemniaka oraz na zmiany cech jakości uzyskanego plonu (Nowacki, 2006, 2008, 2009, 2010).

Uzyskane wyniki potwierdzają następujące zależności:

- poziom plonowania ziemniaków jest ściśle skorelowany z odmianą oraz latami uprawy lub dokładniej - z warunkami klimatycznymi okresu wegetacji,
- stosowanie nawadniania zwiększa poziom plonu, ale w różnym stopniu zależy to od odmiany i wielkości deficytu opadów lub ich rozkładu w czasie wegetacji.

Wielkość przyrostu plonu bulw pod wpływem nawadniania uzależniona jest w głównej mierze od ilości zużytej wody w okresie wegetacji oraz od rozkładu stosowanych nawodnień. Odmiany o dużym potencjale plonowania i wysokich wymaganiach wodnych charakteryzują się wyższym przyrostem plonu. Należy także podkreślić, że każda odmiana ziemniaka posiada w swym rozwoju okres największego zapotrzebowania na wodę a przypada on wtedy, gdy przyrost masy bulw jest największy. Na podstawie uzyskanych danych z 3 lat badań, kiedy występowały zróżnicowane opady w poszczególnych latach przyrost plonu był następujący: w latach dużego deficytu opadów nawadnianie zwiększa plony o około 30% a w roku dużych opadów zbliżonych do optimum zwyczajka plonu może wynosić tylko do 10%.

Tabela 3. Przyrost plonu bulw ziemniaka wybranych odmian pod wpływem nawadniania. Jadwisin 2005-2007

Odmiana	Przyrost plonu w % w latach*			
	2005	2006	2007	średnio 2005-2007
Impala	141,9	136,9	108,3	129,0
Felka Bona	129,5	129,8	129,0	129,4
Gracja	118,8	136,8	107,0	120,9
Korona	154,3	110,1	111,7	125,4



Raja	125,8	127,1	106,4	119,8
Triada	118,6	131,6	117,4	122,5
Irga	163,3	132,4	102,3	132,7
Fianna	123,7	121,2	114,5	119,8
Ursus	127,6	137,2	100,4	121,7
Średnio dla odmian	132,9	127,8	110,6	123,8

\* za 100% przyjęto plon w kombinacji nienawadnianej.

Uwzględniając wielkość stosowanej dawki wody w poszczególnych latach, która wynosiła:

- w 2005 roku – 85 mm wody przy 233,3 mm opadów naturalnych
- w 2006 roku – 98 mm wody przy 216,1 mm opadów naturalnych
- w 2007 roku – 30 mm wody przy 436,4 mm opadów naturalnych

produktywność 1 mm zastosowanej wody do deszczowania plantacji ziemniaka przyjmowała następujące wartości: w 2005 roku – 97,6 kg bulw/mm wody, w 2006 roku – 113,3 kg bulw/mm wody, w 2007 roku – 133,0 kg bulw/mm wody.

Interesujący jest w powyższych obliczeniach fakt, że przy najwyższym deficycie opadów w 2007 roku uzyskano w badaniach najwyższą produktywność nawadniania. Badania prowadzone były na glebie lekkiej, a wilgotność gleby starano się utrzymać na poziomie ok. 75% polowej pojemności wodnej.

Oprócz wzrostu plonu ogólnego nawadnianie wpływa korzystnie na jakość uzyskanych bulw (Głuska, 2002). Optymalne zaopatrzenie roślin w wodę według wielu badań wpływa na:

- większe wyrównanie wielkości bulw w kierunku jednoczesnego zwiększenia ich masy (mniej jest w plonie bulw drobnych),
- zwiększenie regularności kształtu bulw i przeciwdziałanie powstawaniu deformacji bulw typu lalkowatość, dzieciuchowatość i paciorkowatość,
- zmniejszenie porażenia bulw parchem zwykłym (optymalna wilgotność gleby w momencie tuberyzacji bulw),
- zmniejszenie ilości bulw z pustowatością mięszu,
- zmniejszenie ilości bulw ze spękaniem fizjologicznymi zabiżnionymi (tzw. kajzerkowatość)
- poprawa jakości użytkowej i technologicznej bulw, w tym: zmniejszenie zawartości azotanów i glikoalkaloidów oraz zmniejszenie zawartości cukrów redukujących, a więc polepszenie barwy produktów ziemniaczanych smażonych (frytki, chipsy).

Poprawa jakości bulw jest gwarantowana wówczas, gdy nawadnianie plantacji prowadzi się równomiernie podczas całego okresu wegetacji zapewniając stały komfort zaopatrzenia roślin ziemniaka w wodę. Źle prowadzone nawadnianie, tj. sporadyczne przeplatane okresami występowania suszy glebowej, może doprowadzić nawet do obniżenia jakości bulw. Dotyczy to szczególnie gleb lekkich, gdy wahania wilgotności gleby są duże i tam zaleca się częste nawadnianie, ale mniejszymi dawkami wody. W tego typu przypadkach zaleca się stosowanie nawadniania kropelkowego zamiast systemu deszczującego.

Syntetycznym miernikiem wzrostu jakości bulw pod wpływem nawadniania jest przyrost udziału plonu handlowego w plonie ogólnym. Za plon handlowy przyjmujemy

tą część plonu ogólnego, która nie zawiera bulw z wadami wyglądu a więc bulw drobnych ( $\emptyset < 35$  mm), zdeformowanych, porażonych parchem zwykłym, zazielenionych, uszkodzonych przez szkodniki glebowe itp.

Tabela 4. Udział plonu handlowego w plonie ogólnym bulw odmian ziemniaka na plantacji nawadnianej i nienawadnianej (Jadwisin 2005-2007)

Odmiana	Udział plonu handlowego w plonie ogólnym (%)					
	Plantacja nienawadniana			Plantacja nawadniana		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Impala	50,5	31,6	43,3	52,6	40,1	45,5
Felka B.	62,7	42,7	56,4	67,5	60,1	65,4
Gracja	65,1	58,9	77,7	78,7	75,8	85,5
Korona	60,8	60,1	78,8	70,5	70,8	73,4
Raja	54,1	52,3	62,9	75,1	67,1	77,5
Triada	60,5	43,7	70,2	83,4	80,1	80,9
Irga	63,7	60,5	79,4	72,1	72,7	82,3
Fianna	47,8	52,7	69,0	58,3	68,5	65,4
Ursus	33,0	50,1	58,1	70,0	70,7	72,4
Średnio dla odmian	55,4	50,3	66,2	69,8	67,3	72,0

Analiza uzyskanych danych wskazuje, że nawadnianie zwiększało udział plonu handlowego w plonie ogólnym bulw, a więc następowała poprawa jakości plonu pod względem wyglądu bulw o ok. 10-15%.

## Metody racjonalizacji wykorzystania wody w uprawie ziemniaka

### Uprawa odmian tolerancyjnych na stres suszy

Wśród odmian ziemniaka można znaleźć genotypy o różnej reakcji na występujące deficyty opadów. Jest to związane z różną intensywnością transpiracji, która determinowana jest budową anatomiczną aparatu asymilacyjnego. Również wielkość i budowa anatomiczna systemu korzeniowego ma wpływ na sprawność zaopatrzenia rośliny w wodę. Wieloletnie badania prowadzone w IHAR – PIB pozwoliły na wyodrębnienie odmian ziemniaka o różnej tolerancyjności na stres suszy glebowej na 5 poziomach (Charakterystyka Krajowego Rejestru Odmian 2016):

- **odmiany wysoko tolerancyjne na stres suszy:** Lord, Gwiazda, Michalina, Michalina, Asterix, Jutrzenka, Stasia, Tajfun, Syrena, Harpun, Hinga
- **Odmiany średnio-tolerancyjne na stres suszy:** Irys, Aruba, Cyprian, Gracja, Latona, Bogatka, Ditta, Jurek, Legenda, Malaga, Oberon, Bryza, Cedron, Głada, Pasat, Ikar, Pasja Pomorska, Sonda
- **Odmiany o średnio-wysokich wymaganiach wodnych:** Denar, Fresco, Miłek, Bila, Owacja, Cekin, Gawin, Irga, Sante, Satina, Jubilat, Kuba, Rumpel, Jasia
- **Odmiany o dużych wymaganiach wodnych:** Rosalind, Bzura, Skawa

Przy doborze odmian do uprawy konieczne jest, obok innych cech agrotechnicznych i użytkowych, uwzględnienie tego czynnika szczególnie przy obecnie zachodzących zmianach klimatycznych.



### **Zabiegi agrotechniczne poprawiające retencję wody w glebie**

Wieloletnie badania, prowadzone w Zakładzie Agronomii Ziemiaka, pozwalają na sformułowanie listy zabiegów racjonalizujących zapotrzebowanie wody w uprawie ziemniaka (Nowacki, 2010). Dotyczy to głównie zwiększenia retencji wody dostępnej w glebie lub zwiększenia efektywności transpiracji w procesie kumulacji plonu.

- Podstawą nawożenia w uprawie ziemniaka powinno być stosowanie rolniczych nawozów organicznych zwiększających zawartość substancji organicznej i tym samym zwiększających retencję wody w glebie (obornik, kompost, przyorywane międzyplony, itp.)
- Pierwiastkiem, który odpowiada za prawidłową gospodarkę wodną w roślinach ziemniaka, jest potas. Bulwy ziemniaka zawierają dużo potasu, dlatego jego wymagania w tym zakresie są bardzo wysokie. Dlatego też nawożenie potasem, w połączeniu z właściwym odczynem gleby, powinno być priorytetem w odżywianiu roślin ziemniaka.
- Wczesne wiosenne przerwanie parowania wody z powierzchni gleby przeznaczony pod uprawę ziemniaka poprzez wólkowanie, bronowanie, itp.
- Optymalne, względnie wczesne zakładanie plantacji celem wykorzystania zasobów wody zimowej
- Profilowanie redlin tuż przed wschodami roślin lub stosowanie do zwarcia rzędów mechanicznej pielęgnacji plantacji
- Efektywne zwalczanie zachwaszczenia na plantacji celem zmniejszenia konkurencji chwastów w stosunku do rośliny uprawnej o wodę

### **Podstawowe zasady nawadniania ziemniaków**

Podstawą racjonalnego nawadniania plantacji ziemniaka jest prowadzenie monitoringu stanu uwilgotnienia gleby. Jest wiele metod określania suszy glebowej (bilansowa, przy pomocy tensjometrów, metoda suszarkowa, itp.). Bardzo doświadczeni rolnicy po ocenie wizualnej gleby mogą także określić stan aktualnego uwilgotnienia gleby. Gleba przesuszona, wymagająca nawadniania, rozsypuje się w rękę, a grudy gleby rozkruszają się. Gleba wilgotna daje się formować w dłoniach. Ocena wizualna jest jednak wstępną oceną i powinna być potwierdzona właściwym pomiarem wilgotności gleby.

Niezależnie od stosowanego systemu nawadniania plantacji ziemniaka należy przestrzegać terminów aplikacji wody, aby nie dopuścić do zbyt dużych wahań wilgotności gleby. Optymalne uwilgotnienie gleby, wynoszące 65–70 % połowej pojemności wodnej, zwiększa wykorzystanie przez rośliny składników pokarmowych.

Nawadnianie plantacji ziemniaka powinno się rozpoczynać (Głuska, 1996):

- dla odmian bardzo wczesnych w II dekadzie maja (dotyczy to szczególnie produkcji ziemniaków wczesnego zbioru)
- dla odmian wczesnych w I dekadzie czerwca
- dla odmian późnych w połowie czerwca lub na początku lipca

Przeciętne zapotrzebowanie ziemniaka na opady w okresie wegetacji:

- dla odmian bardzo wczesnych 250 – 350 mm (w okresie V – VII)
- dla odmian późniejszych 350 – 400 mm (w okresie VI – IX)

Ilości te nie są ściśle określone. Zależą one od wielu czynników klimatycznych: usłonecznienia, temperatury, wilgotności powietrza, siły wiatru, itd. Ważnym czynnikiem jest



również rodzaj gleby. Na glebach lżejszych dawki wody powinny być mniejsze, ale częstsze niż na glebach cięższych.

Najbardziej pożądanym sposobem uzupełniania deficytu opadów jest częste nawadnianie małymi dawkami wody. Maksymalna jednorazowa dawka polewowa nie powinna być nigdy większa niż 15-20 mm.

Orientacyjną ocenę potrzeby nawadniania można uzyskać przez porównanie ilości opadów naturalnych z potrzebami roślin.

### **Wybór techniki nawadniania plantacji**

Każdy system nawadniający składa się z następujących elementów: ujęcia źródła wody z pompownią, linii rurowej przesyłającej wodę do plantacji oraz systemu aplikacji wody (tzn. deszczującego lub kropelkowego).

Na plantacjach ziemniaka w Polsce stosuje się głównie systemy deszczujące, czyli takie, które rozprowadzają wodę w postaci zbliżonej do deszczu. W skład deszczowni wchodzi:

- agregat pompowy spalinowy lub elektryczny pobierający wodę ze źródła,
- rurociągi transportujące wodę od agregatu pompowego do zraszaczy,
- zraszacze, których zadaniem jest równomierne rozprowadzanie wody po powierzchni pola.

Deszczownia szpulowa składa się z bębna z nawiniętym węzłem oraz lekkiego wózka, na którym zamontowany jest zraszacz (działko wodne). Działko wodne może być zastąpione przez tzw. konsolę rozlewającą. Szerokość nawadniania konsoli jest znacznie mniejsza w porównaniu z działkiem deszczującym, ale bardziej efektywniejsza pod względem równomierności nawadniania.

Na plantacjach wielkoobszarowych stosowane są deszczownie mostowe. Są to krajoznawcze konstrukcje wyposażone w szereg niskociśnieniowych zraszaczy. Poruszają się na dwukołowych wózkach rozmieszczonych co 40-60 m, napędzanych silniczkami elektrycznymi. Szerokość pasa nawadnianego wynosi kilkaset metrów.

Coraz częściej stosowanym systemem nawodnieniowym jest ostatnio system rur kropelkowych. Jest to najbardziej oszczędne pod względem zużycia wody i efektywne nawadnianie plantacji ziemniaka. Są to rury plastikowe (średnica 14-30 mm), w których co 30-60 cm zamontowane są emiterzy, czyli elementy zapewniające powolny, równomierny na całej długości wypływ wody (1,2-2,5 l/h). Linie kroplujące podłączone są do wspólnego kolektora, który łączy się z rurociągiem zasilającym i blokiem sterującym. System wymaga filtrowania wody, aby praca emiterów była prawidłowa. Rury kroplujące instaluje się na plantacji ziemniaka: na grzbietach wszystkich redlin, lub w bruzdach - jedna linia na 2 rzędy roślin. Przy uprawie zagonowej stosuje się różne konfiguracje: 1 linia/3 rzędy roślin, 2 linie/4 rzędy roślin, itp.

Nawadnianie kropkowe polega na dostarczaniu małych dawek wody, podawanych z dużą częstotliwością bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin. Mały wydatek wody można uzyskać poprzez redukcję ciśnienia w emiterach wskutek przepływu wody przez małe otwory lub na zasadzie oporów hydraulicznych przy przepływie wody przez rurki o małej średnicy i odpowiedniej długości. Przed zbiorem rury kropelkowe są usuwane z redlin i cały system jest w dość prosty sposób demontowany. Rury kropelkowe, w zależności od typu, są jednorazowe lub nadają się do wielokrotnego stosowania (nawet przez 8-10 lat). System taki posiada szereg zalet: jest łatwy w obsłudze, może być w pełni lub częściowo zautomatyzowany, umożliwia precyzyjne dawkowanie wody i podawanie wraz z wodą



nawozów mineralnych. Zaletą jest również to, że woda jest dostarczana w sąsiedztwo korzeni roślin, zaś liście pozostają nie zamoczone. Zmniejsza to zagrożenie porażenia roślin przez zarazę ziemniaka (*Phytophthora infestans*) i obniża koszty ochrony. Nawadnianie kropłowe powoduje zwilżenie stosunkowo niewielkiej powierzchni gleby, co ogranicza straty wody przez parowanie. Natomiast stosowanie małych dawek wody ogranicza straty spowodowane odpływem wody poza zasięg systemu korzeniowego roślin. Tym sposobem oszczędność wody przy użyciu tego systemu może dochodzić nawet do 40% w porównaniu z innymi sposobami nawadniania. Wadą systemu rur kropelkowych jest jego wysoka cena wynikająca m. in. z konieczności użycia dużej ilości rur kropelkowych na każdy hektar plantacji.

Każdy system nawadniania posiada swoje zalety i wady. W tabeli 5 przedstawiono zalety i wady nawadniania deszczowego oraz kropłowego.

Tabela 5. Zalety i wady stosowania nawadniania deszczowego oraz kropłowego.

System nawadniania	Zalety	Wady
Deszczownia szpulowa z działkiem wodnym	<ul style="list-style-type: none"> <li>dowolność i szybkość ustalania wysokości dawki polewowej</li> <li>łatwość rozstawienia deszczowni do pracy i zakończenia pracy</li> <li>względnie duża szerokość jednorozowego pasa nawodnieniowego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wymagane wysokie ciśnienie wody (7-10 bar)</li> <li>znoszenie strumienia przez wiatr (zmiana szerokości pasa nawodnieniowego)</li> <li>rozmywanie redlin</li> <li>zwiększona ochrona roślin</li> <li>zagęszczenie gleby</li> </ul>
Deszczownia szpulowa z belką rozlewającą	<ul style="list-style-type: none"> <li>delikatne strumienie wody nie uszkadzające roślin i redlin</li> <li>duży wydatek cieczy w jednostce czasu</li> <li>możliwość nawadniania przy umiarkowanym wietrze</li> <li>mniejsze ciśnienie robocze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>konsola droższa od działka</li> <li>trudności w prowadzeniu konsoli na nierównościach terenu i przy silnym wietrze</li> <li>możliwość spływu powierzchniowego przy nierównościach powierzchni</li> <li>zwiększona ochrona roślin</li> </ul>
System kropelkowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>małe zużycie wody</li> <li>uzyskania optymalnego uwilgotnienia gleby</li> <li>możliwość stosowania dokarmiania roślin</li> <li>niskie nakłady pracy obsługi</li> <li>zmniejszenie intensywności ochrony roślin</li> <li>oszczędności w nawożeniu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wysoki koszt inwestycyjny (linie kropelujące, linie zasilające, sterownik, pompa nawozowa, elektrozawory itp.)</li> <li>duże nakłady pracy przy zakładaniu i demontażu systemu</li> <li>dysponowanie czystą wodą lub urządzeniami filtrującymi</li> </ul>

Potwierdzeniem wysokiej efektywności stosowania systemu kropelkowego w uprawie ziemniaka są wyniki badań przeprowadzonych w latach 2003-2005 przez IHAR – PIB Oddział w Jadwisinie (Nowacki, 2006). Badanymi czynnikami był wpływ stosowania nawadniania, nawożenia obornikiem i nawożenia azotem na plon i jego jakość. Udowodniono, że zastosowanie nawadniania i obornika spowodowało wzrost plonowania z 29,4 t/ha na kombinacji kontrolnej do 50,7 t/ha. Ekologiczne czynniki produkcji były najbardziej

efektywnymi także pod względem poprawy jakości plonu. Dużą zasługą tej zwyżki plonu i jego jakości jest większe wykorzystanie obornika pod wpływem stosowanego nawadniania kroplującego. Nawożenie azotem spowodowało dalszy wzrost plonu ogólnego o dalsze 5 t/ha.

Tabela 6. Plon ogólny, handlowy i uboczny ziemniaków w zależności od kombinacji nawodnieniowo-nawozowej przy zastosowaniu linii kropelkowych (Jadwisin 2003-2005)

Wyszczególnienie	Obiekty eksperymentalne				
	1	2	3	4	5
Czynniki plonotwórcze					
- obornik	0	+	0	+	+
- nawożenie N min.	0	0	0	0	+
- nawadnianie	0	0	+	+	+
Plon ogólny t.ha <sup>-1</sup>	29,4	37,5	44,8	50,7	55,4
Plon handlowy t.ha <sup>-1</sup>	17,1	28,8	33,8	35,5	43,1
Plon uboczny t.ha <sup>-1</sup>	12,3	8,7	11,0	15,2	12,3
Udział plonu handlowego w plonie ogólnym (%)	58,2	76,8	75,4	70,0	77,0
Przyjęte ceny zł/t					
- plon handlowy	400	400	400	400	400
- plon uboczny	150	150	150	150	150
Wartość plonu ogółem zł/t	8685	12825	15170	16480	19085
Przyrosty wartości plonu pomiędzy kombinacjami zł/t	0	+4140	+2345	+1310	+2605

## WNIOSKI

Ziemniak jest gatunkiem o wysokich potrzebach wodnych, ale jednocześnie o dość niskim współczynniku transpiracji z grupy gatunków o fotosyntezie C<sub>3</sub>, co świadczy o wysokiej efektywności wykorzystania wody w procesie kumulacji plonu bulw.

Przy doborze odmian do uprawy ziemniaka należy, między innymi czynnikami, brać także pod uwagę reakcję (tolerancję) danego genotypu na ewentualnie występujące stresy suszy.

Ważnym elementem w ograniczaniu zużycia wody w produkcji ziemniaka są niektóre zabiegi agrotechniczne poprawiające retencję wody w glebie i ograniczające proces transpiracji.

Nawadnianie plantacji ziemniaka z reguły podnosi poziom plonowania od 10 do 30% zależnie od wielkości deficytu opadów w sezonie wegetacji dla uprawianej odmiany.

Nawadnianie poprawia jakość uzyskanego plonu bulw ziemniaka poprzez zmniejszenie różnych kategorii wad wyglądu bulw. Udział plonu handlowego w plonie ogólnym pod wpływem nawadniania wzrasta o 10-15% w stosunku do plantacji, na której nie stosuje się nawadniania.



Nawadnianie na plantacjach ziemniaka musi być umiejętnie stosowane uwzględniając przy tym sposób i terminy nawadniania, jednorazową dawkę polewową, wymagania wodne odmiany oraz regularność czasu prowadzenia nawadniania.

W uprawie ziemniaka, z uwagi na najwyższą efektywność wykorzystania wody oraz ograniczenie w stosowaniu zabiegów ochronnych, zaleca się stosowanie nawadniania kroplującego, które nie powoduje zwilżania roślin, a tym samym ogranicza rozwój chorób grzybowych na plantacji.

Nawadnianie w naszym klimacie utożsamiane jest z luksusowym zabiegiem agrotechnicznym i może dlatego jest zbyt drogie dla wielu nieprzekonanych rolników. Im większe wykorzystanie systemu nawodnieniowego w sezonie, tym niższe koszty jego użycia.

Dla zaspokojenia potrzeb wody do nawadniania producenci ziemniaka powinni w miejscach produkcji (zakładania plantacji) budować zbiorniki celem retencjonowania wody z okresu zimy i wiosennych spływów w rzekach i innych ciekach.

## LITERATURA

- Biuletyn służby hydrologiczno-meteorologicznych. IMGW – PIB z lat 1983-2015  
Charakterystyka Krajowego rejestru Odmian. Pr. zb. pod red. W. Nowackiego Wydanie XIX, IHAR Jadwisin 2016, ss. 35
- Dzieżyc J. 1989: (red.) Potrzeby wodne roślin uprawnych. PWN Warszawa, ss. 419
- Dzieżyc J., Nowak L., Panek K. 1987: Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 314, 11-33
- Głuska A. 1996: Agrotechnika ziemniaka na plantacjach nawadnianych. Instrukcja wdrożeniowa nr1/96. Bonin ss. 40
- Głuska A. 2002: Wpływ warunków glebowych i rozkładu opadów na plon i niektóre cechy jakości bulw jako ograniczenia w produkcji ekologicznej ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 489: 165-175
- Głuska A., Nowacki W. 2001: Wpływ opadów i warunków glebowych na porażenie bulw parchem zwykłym (*Streptomyces scabies*). Mat. konf. IHAR "Ochrona ziemniaka" Kołobrzeg 19-20.04.2001: 72-77
- Haverkort A.J., Mackerron D.K.L. 2000: Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Press. ss. 353
- Nowacki W. 2006: Technologiczno-ekonomiczna efektywność stosowania system kroplującego w uprawie ziemniaka. Mat. Seminaryjne Warszawa, 22 marca 2006, IHAR O/Jadwisin, 39-45
- Nowacki W. 2008: Nawadnianie czynnikiem zwiększającym, stabilizującym i poprawiającym jakość plonów ziemniaka. Wieś Jutra, nr 105, 11-12.
- Nowacki W. 2009: Nawadnianie czynnikiem modyfikującym opłacalność uprawy ziemniaka w systemie ekologicznym. Journal of Applications in Agricultural Engineering. Poznań, vol. 54(4), 32-35
- Nowacki W. 2010: Nawadnianie plantacji ziemniaka w różnych systemach produkcji. Broszura IHAR – PIB Jadwisin 2010, ss. 56
- Nowacki W. 2016: Ocieplenie klimatu, a konsekwencje dla uprawy ziemniaków. Agroserwis nr 1-2, 34-36

## RATIONAL MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN POTATO CULTIVATION

**Summary:** The article characterizes water requirements of potato in different phases of development of plants growing period against the background of contemporary Polish climatic conditions. Set a positive influence optimal soil moisture on the yield and quality of potato tubers in different farming systems and technologies of potato cultivation. The potato is a species with a low coefficient of transpiration, but obtained a high biomass yield per unit area in a short period of time determines the water needs of 300 to 450 mm of rainfall. Natural light supplemented in modern agricultural techniques increasingly irrigation give very high yields real potato. The methods of rationalizing the use of water needed to keep watering the plantations of potato include: retention of water resources of winter in tanks, growing on soils with high retention, compliance with optimal terms agronomic, crop varieties with increased tolerance to drought stress, keeping irrigation on the basis of the monitoring deficit field water capacity and the use of lines droplet laid on the backs of the ridges.

**Key words:** potato, water needs, response to drought stress, irrigation methods

# REAKCJA RZEPAKU NA WARUNKI WILGOTNOŚCIOWE ORAZ ZNACZENIE ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH I PRAC HODOWLANYCH W PRZECIWDZIAŁANIU EFEKTOM NIEDOBORU OPADÓW

Marek Wójtowicz<sup>1</sup>, Franciszek Wielebski<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Rzepak odznacza się wysokimi wymaganiami wilgotnościowymi. Wysokie plony zbiera się tylko w warunkach zaspokojenia potrzeb wodnych rzepaku w okresach krytycznych. Największa wrażliwość na niedobór opadów obserwowana jest w fazie kielkowania i wschodów oraz kwitnienia i dojrzewania. Rzepak ozimy jest odporniejszy na niedobory opadów od formy jarej, głównie dzięki dostosowaniu rozwoju do dostępności wody w glebie. Warunki wilgotnościowe wpływają nie tylko na plon, ale także na jakość zbieranych nasion. W wyniku stresu suszy wzrasta zawartość białka i glukozydnów a maleje tłuszczu. Obniżenie plonów będące efektem niedoboru opadów ograniczają działania związane z małą retencją, której elementem są zabiegi agrotechniczne. Do ograniczenia wpływu niedoboru opadów przyczyniają się także istotnie prace badawczo-hodowlane, których efektem jest wyhodowanie odmian mniej wrażliwych na okresowe niedobory wody. Hodowca ma możliwość wytwarzania odmian mniej wrażliwych na warunki posuszne poprzez kształtowanie cech warunkujących unikanie suszy oraz zdolności adaptacyjnych roślin do niedoboru opadów.

**Słowa kluczowe:** rzepak, wymagania wodne, niedobór opadów, zabiegi agrotechniczne, prace badawczo-hodowlane

## WPROWADZENIE

Ocieplenie klimatu skutkujące pogorszeniem warunków wilgotnościowych i manifestujące się częstszym występowaniem zjawisk ekstremalnych takich jak susze i silne opady lokalne zmusza do zwrócenia szczególnej uwagi na znaczenie warunków wodnych dla rozwoju poszczególnych gatunków roślin uprawnych. Określenie wymagań wilgotnościowych oraz zdolności adaptacyjnych roślin do wzrostu i rozwoju w warunkach okresowego niedoboru wody pozwala na ocenę zdolności roślin danego gatunku do wzrostu i plonowania w warunkach nadchodzących zmian klimatu. Częste występowanie warunków posusznych w okresach największego zapotrzebowania roślin na wodę skłania do zintensyfikowania działań ograniczających ich niekorzystny wpływ na uzyskiwane plony. Ograniczenia skutków niedoboru opadów można oczekiwać poprzez kompleksowe działanie poprawiające warunki wodne roślin uprawnych oraz ich zdolności do rozwoju w warunkach posusznych. W prezentowanym artykule przeglądowym zawarte są wyniki badań i obserwacji

<sup>1</sup> Marek Wójtowicz - Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB Oddział w Poznaniu, e-mail: twalk@nico.ihar.poznan.pl

<sup>1</sup> Franciszek Wielebski - Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB Oddział w Poznaniu, e-mail: fwiel@nico.ihar.poznan.pl



dotyczące wymagań wodnych rzepaku oraz zdolności adaptacyjnych tego gatunku do stresu suszy. Opisany jest także wpływ zabiegów agrotechnicznych na rozwój roślin rzepaku w warunkach niedoboru opadów oraz rezultaty prac badawczo-hodowlanych nad poszukiwaniem ekotypów mniej wrażliwych na okresowe niedobory wody.

## **ZNACZENIE WARUNKÓW WILGOTNOŚCIOWYCH W KSZTAŁTOWANIU PLO- NU I WARTOŚCI UŻYTKOWEJ NASION RZEPAKU**

Rzepak odznacza się dużymi wymaganiami wilgotnościowymi o czym przekonują wysokie plony tej rośliny uprawnej uzyskiwane w klimacie morskim, jaki panuje w rejonie Oceanu Atlantyckiego, Morza Północnego i Bałtyckiego. W Danii, Niemczech, Francji i na wyspach Brytyjskich średnie plony tej rośliny uprawnej przekraczają nierzadko 3,5 t/ha (IERiGŻ-PIB 2016). W Polsce warunki dla rozwoju i plonowania rzepaku nie są tak korzystne, ponieważ klimat w naszym kraju kształtowany jest w znacznej mierze przez powietrze kontynentalne. Obok wilgotnego powietrza polarno-morskiego, które napływa do Polski przez około 220 dni w roku najczęściej bo przez około 110 dni w roku dociera do Polski suche powietrze polarno-kontynentalne. Następstwem pojawienia się powietrza kontynentalnego jest brak opadów, któremu w ciepłej porze roku towarzyszą wysokie temperatury, a w chłodnej niskie. W Polsce wymagania wilgotnościowe rzepaku wywierają duży wpływ na powszechność jego uprawy w rejonach oddziaływania Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego, a więc w województwach zachodnich i północnych. W województwie dolnośląskim, wielkopolskim, zachodniopomorskim i kujawsko-pomorskim powierzchnia uprawy tej rośliny przekracza 100 tys. ha, a w opolskim, pomorskim, warmińsko-mazurskim oraz lubelskim wynosi od 50 do 100 tys. ha. Ponad 30 tys. ha rzepaku uprawia się w województwie lubuskim i mazowieckim, a około 20 tys. ha w łódzkim, podkarpackim i śląskim. Najmniej, bo około 10 tys. ha rzepaku uprawia się w województwie małopolskim, podlaskim, świętokrzyskim (IERiGŻ-PIB 2016). Następstwem oddziaływania napływających do naszego kraju mas powietrza i ukształtowania terenu jest przestrzenna zmienność ilości opadów, która przyczynia się do zróżnicowania wysokości plonowania rzepaku w poszczególnych rejonach kraju. Najlepsze warunki wodne dla rozwoju rzepaku występują w pasie wyżyn oraz na obszarze Pojezierza Mazurskiego i Pomorskiego (600-800 mm opadów). Dość dobre są na terenie Niżu Polskiego, gdzie rocznie odnotowuje się 500-600 mm opadów z wyjątkiem wschodniej Wielkopolski, Kujaw i pn.-zach. Mazowsza. Obszary te leżą w cieniu opadowym Pojezierza Pomorskiego i otrzymują rocznie poniżej 500 mm opadów. Jeszcze większe różnice ilości i rozkładu opadów są obserwowane pomiędzy sezonami wegetacyjnymi. Duża zmienność warunków wilgotnościowych w sezonach uprawy jest jednym z głównych czynników wpływających na zróżnicowanie wysokości plonowania rzepaku w kolejnych latach. Niestety prognozy warunków wilgotnościowych dla upraw rolniczych są niekorzystne. Według Lorenc (2011) w warunkach ocieplenia klimatu możemy się spodziewać zwiększenia częstotliwości występowania okresów posusznych. Autorka ta wykazała, że w latach 1951-1981 (30 lat) było 6 okresów posusznych, (co 5 lat susza); a w latach 1982-2011 (29 lat) okresów posusznych było 18, (częściej niż co 2 lata susza). Zarówno forma ozima jak i jara rzepaku odznacza się wysokimi wymaganiami wilgotnościowymi. Za optymalną ilość opadów dla rzepaku ozimego uważa się roczną sumę w granicach 600-700 mm, a jarego nie mniejszą od 600 mm. W okresie wegetacji (kwiecień-wrzesień) rzepak



jary potrzebuje około 400 mm opadów. Formą rzepaku bardziej narażoną na susze jest rzepak jary, gdyż pełnia jego rozwoju przypada później, a w miarę trwania wegetacji wiosenno-letniej ubywa wody z gleby. Ta cecha obok zimotrwałości i potencjału plonowania decyduje o powszechności uprawy formy ozimej w warunkach klimatycznych naszego kraju. Wodę zgromadzoną w czasie zimy rzepak jary może wykorzystać tylko w okresie kiełkowania i wschodów. Z tej przyczyny wschody formy jarej są bardziej wyrównane niż wschody rzepaku ozimego. Rejony uprawy rzepaku jarego wyznacza dostępność wody, która jest pochodną ilości i rozkładu opadów oraz zdolności gleb do jej gromadzenia. Prawdopodobieństwo niezaspokojenia potrzeb wodnych rzepaku jarego ogranicza możliwość jego uprawy do rejonów Polski północnej i południowo-wschodniej oraz Pogórza Karpackiego i Sudeckiego. W tych rejonach wysokiego plonowania rzepaku jarego można oczekiwać tylko na glebach związłych i strukturalnych, które zdolne są do zatrzymania wody z opadów wiosenno-letnich. Największe znaczenie dla rozwoju roślin ma zaspokojenie potrzeb wodnych w okresach krytycznych czyli w fazach rozwojowych, w których rzepak jest najbardziej wrażliwy na niedobory wody. Pierwszym okresem krytycznym w rozwoju rośliny jest okres kiełkowania i wschodów. Mimo, że do rozpoczęcia kiełkowania rzepak potrzebuje niewielkiej ilości wody, bo równej tylko 48-52% masy nasienia, to z powodu małej siły ssącej nasion dla zapewnienia wschodów zawartość wody w glebie powinna wynosić co najmniej 32-35% połowej pojemności wodnej (Brouwer i Schuster, 1976). Przesuszenie gleby w czasie siewów i brak opadów podczas kiełkowania nasion nie tylko przyczynia się do opóźnienia wschodów, lecz także ogranicza liczbę roślin na jednostce powierzchni (Wójtowicz 2013). Rzekpak ozimy w okresie rozwoju jesiennego z wyjątkiem kiełkowania i wschodów jest niewrażliwy na niedobory wody w glebie. Nawet 3-6 tygodniowe susze nie wpływają negatywnie na plony. Dopiero niedobór opadów w ciągu całej fazy formowania rozety powoduje obniżenie plonu o 15% (Dembińska 1970). Rzekpak ozimy odznacza się natomiast wysokimi wymaganiami wilgotnościowymi w czasie rozwoju wiosenno-letniego. Potrzeby wodne rzepaku najczęściej odnosi się do wartości podanych przez Klatta (Dembiński 1983) opisujących jako optymalne opady: w kwietniu – 50 mm, maju – 70 mm, czerwcu – 75 mm i w pierwszej dekadzie lipca – 30 mm. Daje to sumę 225 mm w okresie wegetacji wiosenno-letniej. Często za bardziej precyzyjne uznawane jest opracowanie Dzieżyca (1993), ponieważ autor ten uwzględnił w swoich badaniach zdolność gleby do gromadzenia wody. Wynika z nich, że zapotrzebowanie na wodę przed spoczynkiem zimowym wynosi w zależności od gleby – 70-105 mm, w okresie spoczynku zimowego – 155-240, a w okresie wiosenno-letniej wegetacji – 170-180 mm. Z porównania średnich opadów w kolejnych sezonach wegetacyjnych z zapotrzebowaniem rzepaku na wodę wynika, że niedoborów opadów można się spodziewać głównie w okresie wiosennym. Na niezaspokojenie potrzeb wodnych rzepaku w tym okresie wskazują wyniki badań Wójtowicza i Muśnickiego (2001). Wiosną krytycznymi okresami pod względem zaopatrzenia w wodę jest faza kwitnienia, a następnie dojrzewania (Dembiński 1975, Richards i Thurling, 1978). Bezpośrednią przyczyną obniżenia plonowania w wyniku suszy glebowej w czasie kwitnienia i rozwoju łuszczyn jest opadanie kwiatów i niezawiązywanie nasion w łuszczynie. Maleje wtedy liczba łuszczyn i nasion. Przy dobrym zaopatrzeniu roślin w wodę w czasie dojrzewania obniżenie plonu łagodzi, ale nie rekompensuje wzrastającą masą 1000 nasion. Natomiast niedobory wody w czasie dojrzewania przyczyniają się do zmniejszenia masy 1000 nasion, co skutkuje obniżką plonu. Szczególnie niekorzystne są zatem długotrwałe susze w fazie kwitnienia i dojrzewania. Większe znaczenie dla wielkości plonu ma rozkład opadów w okresie wiosny niż ich ilość co potwierdzają wyniki badań

Wójtowicza i Wielebskiego (1998), które wykazują największy związek wysokości plonowania z ilością opadów w maju, a więc w fazie kwitnienia i zawiązywania łuszczyń. Obniżenie plonowania rośliny uprawnej jest pochodną długości trwania okresu posusznego oraz zdolności gleb do gromadzenia wody. Obniżenie plonu rzepaku ozimego na glebach ciężkich przez 20-dniowe posuchy szacowane jest na około 5% w północnej części kraju i 10% na Nizinie Mazowieckiej. Dłuższe posuchy (25 dni) przyczyniają się do obniżenia plonu o 10% na Pojezierzu Pomorskim i Suwalskim i o 15% w środkowej części kraju (Kozłowski, Michalska 2001).

Warunki wilgotnościowe wywierają także wpływ na jakość zbieranych nasion. Doświadczenia wazonowe Dembińskiej (1970) udowodniły, że okresowe niedobory wody podczas rozwoju rzepaku spowodowały spadek zawartości tłuszczu w nasionach blisko o 2% i wzrost zawartości białka o niespełna 1%. Tę negatywną korelacyjną zależność zawartości białka i tłuszczu w nasionach będącą następstwem warunków wilgotnościowych opisali także Chanet i Rollier (1970), Triboi-Blondel (1988), Ghobadi i in. (2006) oraz Wójtowicz (2013), a bardzo wysoka istotność tej korelacji wskazuje na genetyczne podłoże tego związku. Również zawartość związków antyżywniowych jakimi są glukozytolany jest zależna od dostępności wody dla roślin. W warunkach niedoboru opadów zawartość glukozytolanów istotnie wzrasta (Mailer i Cornish, 1987, Bouchereau i in. 1996). Jensen i in. (1996) uważa, że większe znaczenie ma poziom niedoboru opadów niż długotrwałość stresu wodnego. Autor ten wykazuje także większy wzrost zawartości glukozytolanów pod wpływem suszy w okresie rozwoju wegetatywnego niż w czasie rozwoju łuszczyń. Wyniki te znajdują potwierdzenie w badaniach Wójtowicza (2013), który wykazał istotną liniową zależność sumy opadów przed rozpoczęciem i w początkowym okresie kwitnienia na zawartość tych związków

## **ROLA ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH W OGRANICZANIU NIEKORZYSTNEGO WPŁYWU WARUNKÓW POSUSZNYCH NA ROZWÓJ I PLON RZEPAKU**

Wpływ niedoborów wody na rozwój roślin a tym samym na plonowanie, a także na jakość zbieranych nasion skłaniają do podejmowania przedsięwzięć ograniczających to niekorzystne oddziaływanie. Obniżenie plonowania będące wynikiem niedoboru opadów można ograniczyć poprzez działania związane z małą retencją, której celem jest ochrona i odbudowa zasobów wodnych, a efektem zmniejszanie odpływu wód powierzchniowych. Wielkość retencji glebowej uzależniona jest od rodzaju i struktury gleby. Poprawę struktury można osiągnąć przez przeprowadzenie zabiegów agrotechnicznych, których skutkiem jest zwiększenie zawartości próchnicy w glebie oraz ograniczenie parowania i odpływu wody opadowej. Wzrost zawartości próchnicy w glebie o 1% zwiększa ilość wody dostępnej dla roślin o 25-35%. Przy pełnym wykorzystaniu resztek poźniowych zwiększenie zawartości próchnicy w glebie o 1% można uzyskać po około 10-12 latach (Grzebisz 2016). Właściwości fizykochemiczne gleby poprawia nawożenie obornikiem, przyorywanie resztek poźniowych oraz wapnowanie, które istotnie oddziałuje na rozwój systemu korzeniowego rzepaku. Właściwe pH gleby – zbliżone do odczynu obojętnego, wpływa korzystnie na dostępność innych składników pokarmowych, sprzyja dobremu ukorzenieniu roślin i zmniejsza presję czynników stresowych. Natomiast w glebach kwaśnych toksyczny glin ( $Al^{+3}$ ) ogranicza



penetrację korzeni w głębsze warstwy gleby, co ogranicza nie tylko pobieranie wody i azotu ale także składników mniej ruchliwych jak fosfor czy potas. Niemożność pobrania fosforu ogranicza szansę rozwoju systemu korzeniowego, ponieważ ten składnik stymuluje wzrost korzeni. Szczególnie niebezpieczne jest zakłócenie gospodarki potasem, którego niedobór uniemożliwia prowadzenie racjonalnej gospodarki wodą. Rośliny niedostatecznie zaopatrzone w potas tracą zdolność zatrzymywania wody, co w konsekwencji zwiększa ich wrażliwość na czynniki stresowe. Niska koncentracja jonów potasu w soku komórkowym skutkuje większą wrażliwością rzepaku na susze, a także na przymrozki. Rzepak reaguje przede wszystkim na zasobność potasu w glebie zatem trzeba go regularnie stosować w zmianowaniu, by zapewnić zasobność w ten składnik na poziomie co najmniej średnim w momencie zbioru przedplonu. Przy niskiej zasobności gleby w potas plony są bardziej zależne od przebiegu pogody w sezonie wegetacyjnym. Składnikiem stabilizującym wysokość plonowania jest także azot. Wałkowski i Dembiński (1993), Barszczak i in. (1994) oraz Barszczak i Barszczak (1995) wykazali wpływ nawożenia azotem na ograniczenie redukcji plonu w warunkach niedoboru opadów. Zaspokojenie potrzeb nawozowych rzepaku w pozostałe makro i mikroelementy umożliwi prawidłowy rozwój roślin i jednocześnie sprzyja głębokiemu ukorzenieniu i przerośnięciu gleby korzeniami, a także umożliwia szybszy wzrost początkowo roślin i wczesne zakrycie gleby. Dzięki temu następuje ograniczenie parowania i zahamowanie wzrostu chwastów.

Nie mniej istotne jak zachowanie zasad prawidłowego nawożenia jest przestrzeganie zasad poprawnej uprawy. Straty wody znacząco ograniczają przeprowadzone bezpośrednio po zbiorze przedplonu uprawki późniowe. Uprawa późniowa sprawia, że gleba lepiej chłonie wodę opadową, zmniejsza jej spływ i parowanie oraz zdecydowanie ułatwia orkę siewną. Termin orki siewnej jest istotny zarówno dla formy ozimej jak i jarej. W przypadku rzepaku ozimego dotrzymanie zalecanego terminu siewu pozwala na odpowiedni rozwój rzepaku przed zimą dzięki czemu rośliny są bardziej odporne na działanie czynników stresowych w czasie spoczynku zimowego. W przypadku rzepaku jarego termin przeprowadzenia orki ma największe znaczenie dla magazynowania wody. W technologii uprawy rzepaku jarego nie dopuszcza się orki wiosennej ponieważ przeprowadzenie orki w tym terminie skutkuje przesuszeniem gleby i opóźnieniem siewu. Bardzo korzystnie na gromadzenie wody oddziałuje natomiast orka przedzimowa. Zaorana przed zimą i pozostawiona w ostrej skibie gleba lepiej wchłania wodę, a poddana oddziaływaniu mrozu nabiera struktury gruzełkowej. Orkę zimową należy wykonywać przy odpowiedniej wilgotności gleby. Wykonanie orki na glebie przesuszonej lub zbyt wilgotnej niszczy jej strukturę i niekorzystnie wpływa na gromadzenie zapasów wody. W warunkach zagrożenia suszą w uprawie roli należy stosować tylko niezbędne zabiegi, agregatować narzędzia uprawowe, a na glebach lekkich nie stosować narzędzi aktywnych powodujących jej rozpylenie. Gleba zbyt rozpylona w warunkach suszy w czasie siewu ulega zaskorupieniu, co ogranicza wschody roślin rzepaku. Nie należy zapominać również o prawidłowo prowadzonej ochronie zwłaszcza przeciwko chwastom, które konkurując bezpośrednio z rośliną uprawną o wodę, pokarm i miejsce uniemożliwiają wykorzystanie w pełni jej potencjału plonowania. Dobrze rozwinięty system korzeniowy oraz silna reakcja rzepaku na wilgotność powietrza skutkuje słabą reakcją tej rośliny uprawnej na deszczowanie (Piechowiak 1978, Borsiak 1979, Muśnicki 1989). Niemniej w warunkach ocieplenia klimatu w przypadku pojawiania się susz letnich w czasie siewu może okazać się konieczne, dla zapewnienia wschodów, deszczowanie plantacji w tym okresie. Zabieg ten powoli się upowszechnia w jednostkach naukowych

i hodowlanych, co pozwala na kontynuowanie pracy badawczej, gdy niedobór opadów uniemożliwia wschody rzepaku.

## **REZULTATY PRAC BADAWCZO-HODOWLANYCH NAD POSZUKIWANIEM EKOTYPÓW MNIEJ WRAŻLIWYCH NA OKRESOWE NIEDOBORY WODY**

W działania ograniczające negatywne skutki niedoborów wody wpisują się także prace badawczo-hodowlane, których efektem jest wytworzenie odmian mniej wrażliwych na czasowe niedobory wody, poprzez wytworzenie mechanizmów adaptacyjnych lub wykształcenie systemów unikania stresu suszy. Rozwój roślin w warunkach niedoboru opadów, a także przyszłe plony zależą od wrażliwości/odporności odmiany na ten czynnik stresowy. Liczne badania wykazują zróżnicowanie wysokości plonowania odmian rzepaku w warunkach zmiennej wilgotności gleby (Barszczak i in. 1990, Marska i Seidler 1990, Jankowski i Budzyński 2007, Hosseini i Hassibi 2011). Również doświadczenia przeprowadzone w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin/Oddział w Poznaniu potwierdziły zróżnicowaną odporność odmian na niedobory wody (Wójtowicz i Wielebski 1998). W lata suche (1992 i 1993) w czołówce odmian najwyżej plonujących znalazły się polskie odmiany: Bor i Polo. Z kolei wyniki badań Marskiej i Seidler (1990), wykazują różną reakcję odmian na niedobór wody w zależności od terminu wystąpienia stresu suszy. Gdy susza wystąpiła do fazy zawiązywania łuszczyn najwyżej plonowała odmiana Jet Neuf, a gdy stres przypadł w fazie zawiązywania łuszczyn ród POH 285. Zaletą tego rodu jest oszczędna gospodarka wodą udokumentowana niskim współczynnikiem transpiracji. Wyraźnie słabsza reakcja na niedobór wody w glebie pozwoliła autorkom tego doświadczenia uznać tę formę za stabilną i odporną na suszę trwającą zarówno w fazie generatywnej jak i przez cały okres wegetacji. Doświadczenia Hosseini i Hassibi (2011) wykazały, że można wytworzyć odmianę, która będzie plonowała relatywnie wysoko bez względu na termin wystąpienia suszy. Z kolei badania przeprowadzone przez Pasban Eslam (2009) wskazują, że genotypy rzepaku różnią się cechami determinującymi rozwój roślin w warunkach stresu wodnego. Odmiany wyżej plonujące w warunkach deficytu wody odznaczały się wyższymi wartościami przewodności szparkowej liścia (szybkość dyfuzji pary wodnej) i niższymi wartościami temperatury liścia. Należy jednak pamiętać, że adaptacja do stresu często jest negatywnie skorelowana z potencjałem plonowania, co obrazuje w warunkach stresu suszy większa redukcja plonu odmian o wysokim potencjale plonowania w porównaniu z redukcją plonu odmian o niższym potencjale plonowania, ale bardziej przystosowanych do stresu suszy. Muśnicki i Muśnicka (1986) zwracają uwagę, że odmiany, których plon jest zależny głównie od liczby łuszczyn na jednostce powierzchni plonują mniej wiernie. Podobny pogląd prezentuje Wójtowicz (2013), według którego odmiany odznaczające się dużą masą nasion w łuszczynie są lepiej chronione przed negatywnym oddziaływaniem stresów mających wpływ na bardziej zależny od warunków środowiskowych komponent plonu jakim jest liczba łuszczyn na jednostce powierzchni, co tym samym ogranicza obniżenie plonowania w warunkach mniej korzystnych dla rozwoju roślin. Hodowca w pracy nad nową odmianą staje przed wyborem czy dążyć do zwiększenia potencjału plonowania kosztem cech adaptacyjnych, czy kosztem potencjału plonowania wprowadzać cechy zapewniające lepsze przystosowanie do warunków stresowych. Znalezienie kompromisu pomiędzy tymi cechami zapewnia wiernie i wysokie plonowanie w zmiennych warunkach wilgotnościowych. Pracy hodowlanej sprzyja przystosowanie





rzepaku ozimego do warunków posusznych. Gatunek ten dzięki silnie rozwiniętemu systemowi korzeniowemu, który wiosną penetruje glebę do głębokości 2 m umożliwia zaopatrzenie roślin w wodę nawet przy okresowym braku opadów. Według firmy Syngenta przykładem odmiany charakteryzującej się wyraźnie intensywniejszym wzrostem korzeni jest zarejestrowana w Polsce w 2014 r. odmiana Saveo F<sub>1</sub>. Rośliny tej odmiany korzeniami się głębiej oraz wykształcają dużą masę korzeni włóśnikowych ([https://www3.syngenta.com/country/pl/pl/produty/ssup/.../sy\\_saveo.aspx](https://www3.syngenta.com/country/pl/pl/produty/ssup/.../sy_saveo.aspx)). Przed skutkami suszy, rośliny zarówno formy jarej jak i ozimej chroni pokrycie liści woskiem, co sprawia że transpiracja zachodzi jedynie przez aparaty szparkowe. Również stopniowe wędnięcie i obumieranie liści w miarę przechodzenia roślin w fazę generatywną ogranicza ujemne skutki niedoboru opadów. Obok zdolności adaptacyjnych hodowca może kształtować także zdolności do unikania stresu suszy. U rzepaku jako skutek selekcji dobrze wykształciły się następujące zdolności do unikania stresu suszy:

1. koordynacja czasowa dostępności wody z zapotrzebowaniem na nią – u rzepaku ozimego dynamiczny rozwój wiosenny pozwala na wykorzystanie wody pozimowej oraz ogranicza ewaporację gleby dzięki czemu więcej wody pozostaje do wykorzystania przez rośliny. Obecnie najwcześniejszą odmianą uprawianą w Polsce jest odmiana Starter, Hodowli Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, która rozpoczyna kwitnienie wcześniej o kilka dni od innych odmian. Dynamiczny rozwój wiosenny tej odmiany pozwala wykorzystać lepiej zapas wody zimowej. Zatem strategia tej odmiany w walce z niedoborami wody polega na zminimalizowaniu niebezpieczeństwa wystąpienia okresu posusznego poprzez dostosowanie rozwoju do dostępności wody w glebie.
2. długo trwające fazy wegetacyjne – rzepak kwitnie około czterech tygodni, a dojrzewa 2-3 tygodnie. Długo trwające fazy kwitnienia i dojrzewania zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia opadów w fazach krytycznych dla wysokości plonowania.

## WNIOSKI

1. Wysokie wymagania wilgotnościowe rzepaku kształtują poziom plonowania w zmieniających warunkach dostępności wody dla roślin.
2. Rzekpak jary jest wrażliwszy od formy ozimej na niedobór opadów ponieważ pełnia jego rozwoju przypada na okres, w którym nie może wykorzystać wody z opadów zimowych.
3. Rzekpak ozimy silnie reaguje na warunki wilgotnościowe, a jednocześnie odznacza się cechami umożliwiającymi rozwój w warunkach niedoboru opadów.
4. Dobre przystosowanie rzepaku ozimego do warunków posusznych pozwala przypuszczać, że również w warunkach prognozowanego ocieplenia klimatu będzie powszechnie uprawiany.
5. Występowanie bezśnieżnych zim będące następstwem ocieplenia klimatu preferuje odmiany charakteryzujące się intensywniejszym rozwojem korzeni i dynamiczniejszym tempem wzrostu na wiosnę.
6. Prognozy ocieplenia klimatu wyznaczają kierunek prowadzenia badań nad intensywnością transpiracji, a zmienność tej cechy w obrębie gatunku pozwala zakładać z dużym prawdopodobieństwem, że istnieje możliwość prowadzenia selekcji w kierunku ograniczenia transpiracji przy jednoczesnym utrzymaniu odpowiedniego poziomu plonowania.



7. W warunkach coraz częstszego występowanie okresów posusznych w Polsce znaczenie działań ograniczających wpływ niedoborów wody na rozwój roślin uprawnych będzie wzrastało.
8. Skuteczne ograniczenie skutków niedoboru opadów może zapewnić tylko kompleksowe działanie uwzględniające osiągnięcia z zakresu meteorologii, melioracji, agrotechniki oraz hodowli roślin.

## LITERATURA

- Barszczak Z., Barszczak T., Górczyński J. Kot A. 1990. Wpływ wilgotności, zakwaszenia gleby i dawki azotu na cechy morfologiczne roślin i plony odmian rzepaku ozimego. Zesz. Probl. IHAR Rośliny Oleiste 1: 173-182.
- Barszczak Z., Barszczak T., Kosjanowicz W. 1994. Wpływ okresowej suszy i dawek azotu na plony i skład chemiczny nasion odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XV (2): 9-16.
- Barszczak T., Barszczak Z. 1995. Wpływ nawożenia azotowego, wilgotności i zakwaszenia gleby na plony oraz zawartość tłuszczu i białka w nasionach odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XVI (1): 165-172.
- Borsiak M. 1979: Wpływ deszczowania na rozwój i plony rzepaku ozimego. Zesz. Probl. PNR. 229: 69-78.
- Bouchereau A., Clossais-Besnard N., Bensaoud A., Leport L., Renard M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. Eur J Agron 5: 19-30.
- Brouwer W., Schuster W. 1976: Raps und Riibsen. Handb. Spez. PflBaues. P. Parey Verlag, Berlin.
- Chanet M. and Rollier, M., 1970. Composition des graines de Colza. Comp. J. Int. Colza, Paris, pp. 451–453.
- Dembiński F. 1975. Rośliny Oleiste. PWRiL, Warszawa.
- Dembiński F. 1983. Jak uprawiać rzepak i rzepik. PWRiL, Warszawa.
- Dembińska H. 1970. Wpływ jesiennych i wiosennych niedoborów wody na rozwój i strukturę plonu rzepaku ozimego. RNR, 96-A-4: 73-94.
- Dziężyc J. 1989. Potrzeby wodne roślin uprawnych. PWN, Warszawa.
- Ghobadi M., Bakhshandeh M., Fathi G. Gharineh M.H. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.): effect on yield, yield components, seed oil and protein contents. Journal of Agronomy, 5 (2): 336-341.
- Grzebisz W. 2016. Gospodarka składnikami pokarmowymi przez rzepak ozimy w warunkach zagrożenia działaniem czynników stresowych.[W:] Rzekap integrowana produkcja. Wydawnictwo Biznes-Press sp. z o. o. Warszawa.
- Hosseini S.M, Hassibi P. 2011. Effects of Water Deficit Stress on Several Quantitative and Qualitative Characteristics of Canola (*Brassica napus* L.) Cultivars. Available online at [www.notulaebiologicae.ro](http://www.notulaebiologicae.ro)Notulae Scientia Biologicae Print ISSN 2067-3205; Electronic 2067-3264 Not Sci Biol, 2011, 3(3):120-125.
- [https://www3.syngenta.com/country/pl/pl/produty/ssup/.../sy\\_saveo.aspx](https://www3.syngenta.com/country/pl/pl/produty/ssup/.../sy_saveo.aspx)
- Jankowski K., Budzyński W. 2007. Reakcja różnych form hodowlanych rzepaku ozimego na termin i gęstość siewu. II. Plon nasion i jego składowe. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXVIII (2):195-207.



- Jensen C.R., Mogensen V.O., Mortensen G., Fieldsend J.K., Milford G.F.J., Andersen M.N., Thage J.H. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand *Field Crop Res* 47: 93-105.
- Lorenc H. 2011. Groźne zjawiska pogodowe w Polsce – susze i opady o dużym natężeniu. [W:] *Gospodarka wodna. Potencjał obszarów wiejskich szansą rozwoju*. Biuletyn Forum Debaty Publicznej NR. 8 Listopad 2011.
- Koźmiński Cz. Michalska B. 2001. Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce. AR, Szczecin, US.
- Marska E., Seidler M. 1990. Gospodarka wodna i struktura plonu rzepaku ozimego w warunkach zmiennej wilgotności gleby. *Zesz. Probl. IHAR Rośliny Oleiste* 1: 211–221.
- Mailer R.J. and Cornish, P.S. 1987. Effects of waterstress on glucosinolate and oil concentration in the seeds of rape (*Brassica napus* L.) and turnip (*Brassica rapa* L. var. *silvestris* (Lam) Briggs). *Aust. J. Exp. Agric.*, 27: 207–211.
- Muśnicki Cz. 1989. Charakterystyka botaniczno-rolnicza rzepaku ozimego i jego plonowanie w zmiennych warunkach środowiskowo-agrotechnicznych. *Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk* 191, ss 154.
- Muśnicki Cz., Muśnicka B. 1986. Struktura plonowania różnych typów jakościowych rzepaku ozimego. *Zesz. probl. IHAR "Rzepak ozimy"*, s. 107-122.
- Pasban Eslam, B. (2009). Evaluation of Physiological Indices, Yield and its Components as Screening Techniques for Water Deficit Tolerance in Oilseed Rape Cultivars. *J. Agr. Sci. Tech.* Vol. 11: 413-422
- Piechowiak K., Sobiech S., Orłowski F., Borowczak F. 1978: Wpływ różnych poziomów nawożenia w warunkach deszczowania na plony niektórych roślin uprawnych. *Zesz. Probl.* 199: 27-35.
- Richards, R. A. and Thurling, N. 1978. Variation between and Within Species of Rapessed (*B. campestris* and *Brassica napus*), in Response to Drought Stress. I. Sensitivity at Different Stages of Development. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 469- 177.
- Rynek rzepaku. 2016. Analizy rynkowe nr 49. Wyd. IERiGŻ-PIB. ARR, MRiRW.
- Triboi-Blondel, A.M., 1988. Azote, croissance, rendement et qualité de la graine chez le Colza d'hiver in: *Physiologie et élaborations du rendement du Colza*, CETIOM, Paris, pp. 134–139.
- Wałkowski T., Dembiński M. 1993. Wpływ poziomu nawożenia azotowego na plony trzech odmian rzepaku ozimego w warunkach suszy w 1992 roku. *Zeszyty Problemowe PNR*, nr 6, s. 58-62.
- Wójtowicz M. 2013. Rola czynników środowiskowych i agrotechnicznych w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). *Monografie i rozprawy naukowe* 45/2013. IHAR-PIB. Radzików. – Monografia.
- Wójtowicz M., Muśnicki Cz. (2001). Udział komponentów struktury w kształtowaniu plonu nasion podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. *Roczniki AR w Poznaniu, CCCXXXV, Roln.*, 61: 105-121.
- Wójtowicz M., Wielebski F. (1998). Ocena plonowania wybranych odmian rzepaku podwójnie ulepszanego w latach 1991–95. *Rośliny Oleiste - Oilseed Crops - t. XIX, z.2*, s. 429–436.

## **OILSEED RAPE RESPONSE TO MOISTURE CONDITIONS AND THE IMPORTANCE OF AGRONOMICAL AND BREEDING WORK IN COUNTERING THE EFFECTS OF THE SHORTAGE OF RAINFALL**

**Summary:** Moisture conditions are essential for oilseed rape production. High yields of oilseed rape are harvested only when the crop water needs in critical periods are met. The most critical time for water supply is during germination and emergence, flowering and ripening stages. Winter oilseed rape is more resistant to the shortage of precipitation than spring ecotype, mainly by adapting the development of plants to water availability in the soil. Moisture conditions affect not only the yield but also the quality of the harvested seeds. Drought stress causes increase of protein and glucosinolate content and decrease of fat content. The reduction of seed yield being the result of rainfall shortage is limited by the agrotechnical treatments which are part of the activities of small retention. Research and breeding aimed at obtaining varieties less sensitive to temporary shortages of water contribute significantly in reduction of the impact of rainfall deficiency. Drought escape strategies and adaptability of plants to rainfall shortage are preferable methods leading to achievement of varieties less susceptible to drought conditions.

**Key words:** oilseed rape, water requirements, shortage of rainfall, agricultural practices, research and breeding