

Postępy nauk rolniczych

Advances in Agricultural Sciences

1/2011

***Polska Akademia Nauk
Wydział Nauk
Biologicznych
i Rolniczych***

***Kwartalnik
nr 345 rok 63***

Rada Redakcyjna

A. Grzywacz (przewodniczący),
J. Haman, T. Krzymowski, J.J. Lipa
A. Rutkowski, F. Tomczak, M. Truszczyński, J. Wilkin

Redakcja

A. Horubała (redaktor naczelny),
J. Buliński, A. Gawrońska-Kulesza, W. Józwiak, J. Zimny, T. Żebrowska,
R. Suska (sekretarz redakcji)

Adres Redakcji

00-901 Warszawa, Pałac Kultury i Nauki, pokój 2113
tel. 22 620 33 71, 22 656 64 66
e-mail: renata.suska@pan.pl

Wydanie publikacji finansowane ze środków PAN.

Opracowanie redakcyjne, korekta i skład — Danuta Borecka

PL ISSN 0032-5547

Nakład 200 egz. Ark. wyd. 10,4. Ark. druk. 9,5.
Druk — PAN Warszawska Drukarnia Naukowa,
00-656 Warszawa, ul. Śniadeckich 8, tel./faks 22 628 87 77

**Gospodarowanie wodą
w rolnictwie
w różnych warunkach
środowiskowych**

Wprowadzenie

W 2005 roku Komitet Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego zorganizował konferencję nt. „Woda strategicznym czynnikiem rozwoju obszarów wiejskich”. Artykuły opracowane na podstawie prezentacji wygłoszonych na konferencji zostały opublikowane w nr 3/2009 Postępów Nauk Rolniczych. Wykazano w nich, że właściwa realizacja zadań gospodarki wodnej, jako strategicznego czynnika rozwoju obszarów wiejskich, wymaga rozwiązania szeregu problemów naukowych o charakterze podstawowym i stosowanym. W niniejszym zeszycie zamieszczono artykuły będące efektem kolejnej konferencji Komitetu Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego, a poświęconej pamięci setnej rocznicy urodzin prof. dr hab. Jerzego Ostromeckiego, dr h.c. SGGW, pt. „Współczesne wyzwania kształtowania środowiska i gospodarowania wodą w obszarach wiejskich”. Prace te dowodzą, że, pomimo pewnego postępu, wiele problemów gospodarki wodnej pozostaje w dalszym ciągu nie rozwiązanych, czego dowodem były trudności z prognozowaniem, ograniczeniem i usuwaniem skutków występujących w 2010 roku powodzi, osuwisk, a także kontrastujących z tymi zjawiskami lokalnych przesuszeń.

Do ważnych problemów w zakresie kształtowania i ochrony zasobów wodnych na obszarach wiejskich, oprócz ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, należą także: zaopatrzenie w wodę, ograniczenie zanieczyszczeń obszarowych, oczyszczanie ścieków komunalnych, regulacja stosunków wodnych dla produkcji roślinnej oraz ochrona przed erozją. Od ilości i jakości zasobów wodnych zależy przede wszystkim stan środowiska przyrodniczego, zdrowie ludności, bezpieczeństwo ludności na obszarach zagrożonych powodzią, rozwój gospodarczy, w tym poziom produkcji roślinnej i zwierzęcej, a także rozwój rekreacji, agroturystyki.

Wyrównanie okresowych braków lub nadmiarów wody osiąga się w różny sposób, generalnie poprzez zmagazynowanie wody w zbiornikach powierzchniowych naturalnych i sztucznych, a także w glebie i w podziemnych warstwach wodonośnych. Pojemność retencyjna sztucznych zbiorników wodnych w Polsce umożliwia zmagazynowanie jedynie 6% średniego rocznego odpływu i jest powszechnie uznawana za niewystarczającą. W innych krajach europejskich wskaźnik ten jest znacznie większy i wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu procent odpływu. Według planów gospodarki wodnej wielkość ta ma być zwiększona w Polsce do 10% w 2030 roku i do 15% w 2050 roku.

Obieg wody w zlewniach, zdolności produkcyjne gleb, a także szkody erozyjne zależą w dużej mierze od urządzeń melioracji szczegółowych. Ich stan powszechnie uznaje się za krytycznie zły. Wymaga on w dużej części odbudowy, ale przede wszystkim modernizacji odpowiadającej współczesnym wymaganiom ochrony zasobów wodnych i środowiska. Urządzenia melioracji szczegółowych, zgodnie z Prawem wodnym, są wykonywane i utrzymywane na koszt właściciela gruntów. Biorąc pod uwagę efektywność ekonomiczną produkcji rolniczej, jest oczywiste, że ustalana

przez rolników wysokość środków przeznaczanych na utrzymanie urządzeń melioracji szczegółowych nie jest wystarczająca. Szacuje się także, że aktualnie ponad 20% wykonanych urządzeń w okresie powojennym uległo dekapitalizacji i osiągnie w najbliższych 10 latach, przy obecnym bardzo niskim poziomie inwestycji, wielkość około 30%. Oznacza to znaczne ograniczenie wykorzystania potencjalnych zdolności produkcyjnych gleb oraz powiększanie strat w okresach ekstremalnych, zarówno susz, jak i powodzi. Jest to jedno z większych zagrożeń racjonalnej gospodarki wodnej na obszarach rolnych i leśnych.

W artykułach podjęto problemy w ujęciu regionalnym. Przedstawiono zagadnienia gospodarki wodnej w obszarach dolinowych, wyżynnych i podgórskich. Omówiono także zagrożenia dla rolnictwa i obszarów wiejskich związanych ze zmianami klimatu.

prof. dr hab. Edward Pierzgałski
Przewodniczący Komitetu Melioracji
i Inżynierii Środowiska Rolniczego PAN

Prof. dr hab. inż. Jerzy Ostromecki, dr h.c.



1909–1988

Prof. dr hab. inż. Jerzy Ostromecki był wybitnym uczonym, nauczycielem akademickim, wychowawcą kadr naukowych i zawodowych w zakresie melioracji wodnych. Wywarł ogromny wpływ na ukształtowanie się współczesnych poglądów dotyczących roli, zadań i metod melioracji w Polsce, w szczególności obszarów dolinowych. Był współtwórcą koncepcji melioracji kompleksowych odgrywających istotną rolę w urządzeniu przestrzeni produkcyjnej i kształtowaniu krajobrazu, a jednocześnie uwzględniających wymogi ochrony środowiska przyrodniczego.

Urodził się 12 listopada 1909 roku w Kowalu w dawnym powiecie Włocławek. W latach 1928–1933 studiował na Wydziale Inżynierii Politechniki Warszawskiej uzyskując stopień inżyniera hydrotechnika. Po studiach w latach 1933–1944 pracował w Zakładzie Doświadczalnym Uprawy Torfowisk Wołyńskiej Izby Rolniczej w Sarnach (obecnie w Białorusi). Początkowo pracował jako asystent pod kierunkiem prof. Stanisława Baca, a od 1935 roku jako kierownik Działu Hydrotechnicznego zajmując się właściwościami gleb torfowych i ich zmianami pod wpływem funkcjonowania urządzeń melioracyjnych.

W 1936 roku uzyskał na Politechnice Warszawskiej stopień doktora nauk technicznych na podstawie pracy pt. „O niektórych związkach funkcjonalnych między fizykalnymi właściwościami torfu i torfowiska”. Promotorem pracy doktorskiej był prof. Czesław Skotnicki. Stopień naukowy doktora habilitowanego uzyskał w 1946 r. na Wydziale Rolniczym SGGW na podstawie pracy pt. „Projektowanie równowagi bilansu wodnego w meliorowanych zlewniach bagiennych”. Tytuł profesora nadzwyczajnego otrzymał w 1948 roku na wniosek Wydziału Rolniczego SGGW, a profesora zwyczajnego w 1964 r. na wniosek Wydziału Melioracji Wodnych SGGW.

W 1945 roku został zatrudniony w Państwowym Instytucie Naukowym Gospodarstwa Wiejskiego w Bydgoszczy, a w roku 1953 po utworzeniu Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych objął w nim stanowisko p.o. dyrektora (do 1954 roku) i zastępcy dyrektora ds. naukowo-badawczych (do 1964 r.).

Działalność dydaktyczną podjął w 1946 roku prowadząc przez dwa lata wykłady na Wydziale Rolniczym Uniwersytetu w Poznaniu. Od 1948 roku, aż do przejścia na emeryturę w 1975 roku pracował w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Był współtwórcą koncepcji studiów melioracyjnych w uczelni rolniczej (przed 1939 rokiem prowadzonych na politechnikach) uruchamianych najpierw na Wydziale Rolniczym SGGW; w 1946 r. utworzono Sekcję Melioracyjną, w 1948 r. Oddział Melioracji Rolnych, który w 1950 roku przekształcono w samodzielny Wydział Melioracji Rolnych w SGGW. Był także organizatorem w 1946 roku Katedry Melioracji Rolnych (od 1948 r. Katedry Melioracji Rolnych i Leśnych), którą kierował od początku jej utworzenia do przejścia na emeryturę. Prof. J. Ostromecki pełnił także inne ważne funkcje organizacyjne w SGGW: dziekana Wydziału Melioracji Wodnych (1960–1962) oraz prorektora ds. dydaktyki.

Duże znaczenie miała inspirująca i twórcza rola prof. J. Ostromeckiego w ukształtowaniu, poprzez dobór przedmiotów i ich programy nauczania, sylwetki

absolwenta Wydziału Melioracji Wodnych o profilu technicznym, lecz z mocną podbudową przyrodniczą. Prof. J. Ostromecki będąc promotorem w 8 przewodach doktorskich stworzył silny zespół naukowy o charakterze szkoły naukowej, który miał znaczący udział w rozwoju dyscypliny naukowej „melioracje wodne” zastąpionej w latach późniejszych dyscypliną naukową „kształtowanie środowiska”.

Do najważniejszych osiągnięć badawczych prof. J. Ostromeckiego należy zaliczyć: sformułowanie i upowszechnianie zasad melioracji terenów zabagnionych uwzględniających proces przekształcenia gleb torfowych wskutek odwadniania, opracowanie metod obliczania parametrów projektowych i eksploatacyjnych systemów i urządzeń melioracyjnych m.in. wielkości osiadania torfowisk, rozstaw urządzeń w nawodnieniach podsiąkowych, parametrów hydraulicznych w nawodnieniach zalewowych, stokowych i kropłowych. Powszechnie nadal są stosowane w biurach projektowych opracowane przez prof. J. Ostromeckiego m.in. metody obliczania parowania terenowego i zapotrzebowania wody do nawodnień roślin uprawnych, w szczególności użytków zielonych.

Wyniki badań opublikował w 65 pracach naukowych, 30 artykułach naukowo-technicznych. Opracował 2 skrypty i 3 podręczniki. Szczególnie cenne były pozycje książkowe. Wymienić tu należy przede wszystkim trzykrotnie wydawany (1957, 1960, 1964) podręcznik „Wstęp do melioracji” przedstawiający stan wiedzy z zakresu obiegu wody, energii i materii, zużycia wody przez rośliny i regulowania bilansu wodnego w zlewniach rzecznych. Istotnym skryptem służącym zarówno dydaktyce jak i praktyce był skrypt „Odwodnienia w melioracjach użytków zielonych”, w którym przedstawiono przyczyny nadmiernego dla produkcji roślinnej uwilgotnienia gleb, zasady projektowania systemów melioracyjnych oraz wzory niezbędne do wymiarowania urządzeń melioracyjnych. Niezwykle cenny i ciągle aktualny jest wydany w 1973 roku podręcznik „Podstawy melioracji nawadniających”. Przedstawiono w nim w ujęciu syntetycznym podstawowe i szczegółowe urządzenia w systemach nawadniających, metody obliczeń hydraulicznych i eksploatacyjnych urządzeń nawadniających oraz opis procesów w środowisku glebowo-wodnym inicjowanych przez nawodnienia.

Poza pracą badawczą i dydaktyczną prof. J. Ostromecki działał w wielu krajowych i zagranicznych towarzystwach oraz radach naukowych. Szczególnie duże znaczenie miała działalność prof. J. Ostromeckiego jako przewodniczącego Komitetu Melioracji, Łąkarstwa, Torfoznawstwa przy Wydziale V PAN. Były w nim kształtowane m.in. poglądy dotyczące wpływu melioracji na środowisko przyrodnicze, zasoby wodne i glebowe, a także weryfikowane były zasady i metody melioracji torfowisk w aspekcie ochrony środowiska. Materiały z tej działalności były dobrze udokumentowane w serii wydawnictw PAN i IMUZ, w których prof. J. Ostromecki przez wiele lat pełnił funkcje przewodniczącego komitetu redakcyjnego dbając o ich wysoki poziom merytoryczny i redakcyjny.

Wyrazem uznania dla wielkich osiągnięć badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych prof. dr hab. Jerzego Ostromęckiego było nadanie Mu w 1986 roku przez społeczność akademicką SGGW zaszczytnego tytułu doktora *honoris causa*.

Prof. dr hab. Edward Pierzgałski
*Przewodniczący Komitetu Melioracji
i Inżynierii Środowiska Rolniczego PAN*

Rozwój obszarów wiejskich w Polsce w aspekcie polityki rolnej

Zenon Pijanowski

*Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska,
30-059 Kraków, Al. A. Mickiewicza 24/28,
e-mail: rmpijano@cyf-kr.edu.pl*

Słowa kluczowe: przestrzeń, obszar wiejski, rolnictwo, polityka rolna, rozwój zrównoważony

Wprowadzenie

Prowadzona do chwili wejścia Polski do Unii Europejskiej (UE) polityka rolna, zasadniczo odbiegająca od standardów europejskich, spowodowała, że nie wykształciły się w Polsce normalne, właściwe dla Europy zachodniej zasady kształtowania i rozwoju obszarów wiejskich. Również realizowane obecnie, zgodnie z Narodowym Planem Rozwoju (NPR) przedsięwzięcia w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR), z uwagi na ogromne zapóźnienie i problemy socjalne wsi stanowiące podstawowy kierunek rozwoju społeczno-gospodarczego Polski, nie w pełni spełniają pokładane oczekiwania. Wizja rozwoju wsi i obszarów wiejskich nie znajduje także swojego wyrazu w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, które nie są opracowywane pod kątem spełnienia oczekiwań społeczności wiejskiej.

Celem niniejszego opracowania jest analiza i ocena różnych przedsięwzięć inwestycyjnych realizowanych w Polsce w ramach polityki rolnej (WPR) i ich wpływu na kształtowanie, ochronę i rozwój obszarów wiejskich.

Metodyka opracowania

Realizowane obecnie przedsięwzięcia w ramach WPR składają się z polityki cenowo-dochodowej, strukturalnej i socjalnej [2]. Stanowią one podstawę rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, które w przypadku Polski stanowią 96% powierzchni kraju. Przedsięwzięcia inwestycyjne z zakresu polityki strukturalnej będące częścią polityki rolnej stanowią fundament wielofunkcyjnego rozwoju wsi i rolnictwa (rys.1).



Rysunek 1. Podział polityki rolnej na różne przedsięwzięcia ze względu na charakter pomocy (opracowanie własne)

Podstawę opracowania stanowi analiza wybranych dostępnych materiałów dotyczących inwestycji i ocena ich wpływu na stan rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce w aspekcie prowadzonej w okresie 1918–2008 polityki strukturalnej.

Analizując dotychczasowy stan rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich należy postawić pytanie: Czy realizowana aktualnie w Polsce WPR w pełni realizuje zasady „zrównoważonego rozwoju wsi i rolnictwa”? Czy możliwa jest właściwa realizacja założeń polityki strukturalnej Unii Europejskiej (UE) na obszarach wiejskich w Polsce w oparciu o obecnie obowiązujące prawo (krajowe) i struktury administracji? Próbę odpowiedzi na te pytania poprzedzi analiza dotychczasowych najistotniejszych przedsięwzięć w zakresie polityki strukturalnej w Polsce w latach 1919–1939, 1944–1989, 1990–2004 i okresu po integracji Polski z UE, stanowiących genezę obecnej sytuacji problemowej oraz jej najistotniejsze obecne bariery.

Przeprowadzona analiza będzie stanowić podstawę przedstawienia propozycji najpilniejszych działań w Polsce na rzecz nowoczesnej polityki strukturalnej na obszarach wiejskich.

Rozwój obszarów wiejskich w aspekcie polityki strukturalnej

Postęp w naukach technicznych i medycznych w Europie w XIX wieku (Anglia, Francja, Niemcy) i związany z tym rozwój gospodarczy spowodował przyrost ludności, a tym samym zwiększył zapotrzebowanie na środki żywnościowe. Powodowało to masowe zmiany w użytkowaniu ziemi przez karczowanie lasów i powiększanie powierzchni gruntów ornych. Wzrost produkcji żywności wiązano przede wszystkim z powiększaniem powierzchni upraw poprzez osuszanie terenów bagiennych oraz regulacje i melioracje dolin rzecznych. Zaczyna się wspieranie rozwoju wsi i rolnictwa środkami publicznymi.

W tym okresie na ziemiach Polski nastąpiło uwłaszczenie stanu chłopskiego. Nabierały znaczenia obszary wiejskie. W połowie XIX wieku prowadzono pierwsze techniczne przedsięwzięcia inwestycyjne wspierane przez państwo dla zwiększenia produktywności ziemi (melioracje, scalenia), wprowadzano nowe techniki i narzędzia w uprawie gleb.

Powstały dobrowolne lub organizowane spółki wodne w celu regulacji rzek i ochrony przed powodzią oraz melioracji rolnych czy komasacji gruntów. Następował powolny ale systematyczny rozwój nauk rolniczych. W tym czasie po raz pierwszy użyto pojęcia „polityka agrarna (rolna) państwa”, które obowiązuje do dziś i obejmuje „ogół zasad, jakimi powinno posługiwać się państwo przy udzielaniu pomocy wsi i rolnictwu”. Wówczas głównie była to pomoc prawna i finansowa przy prowadzeniu inwestycji technicznych służących ochronie przed siłami przyrody, powiększaniu obszarów rolniczych jak również wprowadzaniu postępu i poprawy organizacji pracy w rolnictwie.

Okres międzywojenny 1919–1939

Odzyskanie w 1918 r. niepodległości przez Polskę związane było z integracją obszarów o różnym stopniu rozwoju gospodarczego. Działania na rzecz rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich były natychmiastowe i imponujące. Postawiono przede wszystkim na politykę strukturalną (bo taka tylko istniała), przyjmując przez Sejm podstawowe akty prawne, a więc ustawę o reformie rolnej (1919), melioracjach (1921), których zakres przedsięwzięć był znacznie szerszy niż dziś, i scaleniach gruntów (1923 r.). Zakres przedsięwzięć inwestycyjnych realizowanych w ramach polityki strukturalnej w Polsce w okresie międzywojennym mający głównie na celu rozwój rolnictwa, a pośrednio wsi realizowany był przez dwa podstawowe działania:

- melioracje rolne, które miały za zadanie:
 - przystosowanie i włączenie do produkcji rolniczej całych dolin rzecznych jako obszarów nieużytecznych (zabagnionych, zalewanych), oraz
 - poprawę jakości gleb nadmiernie uwilgotnionych przez regulację stosunków wodnych za pomocą rowów otwartych i drenowań;
- scalenia gruntów, które miały za zadanie:
 - organizację i tworzenie gospodarstw rodzinnych poprzez poprawę rozłogu działek a tym samym obniżenie kosztów produkcji i zwiększenie dochodu oraz rozwoju wsi.

Zakres przedsięwzięć jak i sposoby ich prowadzenia były podobne jak w wiodących krajach Europy. Tworzono spółki melioracyjne lub stowarzyszenia, które były głównym inwestorem. Scalenia obszarów rolniczo-leśnych wykonywano łącznie ze scaleciem terenów zabudowanych, wydzielając nowe tereny budowlane. Równocześnie prowadzono prace z zakresu melioracji wodnych i wodociągowania. Scalenia były więc wówczas instrumentem rozwoju nie tylko rolnictwa ale także rozwoju wsi [8].

W okresie tym zmeliorowano ponad 2,5 mln ha użytków rolnych i wykonano scalenia użytków rolnych i leśnych na pow. ponad 5,4 mln ha należących do 860 tys. gospodarstw położonych w 10 tys. wsiach. Średniorocznie scaleniami obejmowano około 270 tys. ha.

Okres 1944–1989 (gospodarka planowa)

Realizacja polityki rolnej w Polsce po II wojnie światowej związana była z powstaniem nowego ustroju społeczno-politycznego, w którym upaństwowiono przemysł, transport i bankowość oraz wprowadzono gospodarkę planową. Kreowana przez ówczesne władze polityka rolna zakładała zbudowanie socjalistycznych podstaw rozwoju rolnictwa, opanowanie trudnego problemu zaopatrzenia ludności w żywność oraz tworzenie Państwowych Gospodarstw Rolnych, zwanych również „ośrodkami kultury rolnej i postępu”. Zasadniczym dokumentem, który stworzył podwaliny tej polityki był dekret z 1944 r. o przeprowadzeniu reformy rolnej. Bardzo ważnym elementem polityki rolnej, było dla władzy socjalistycznej, utworzenie sektora gospodarki państwowej w rolnictwie. W związku z tym od roku 1948 prowadzono działania na rzecz kolektywizacji i uspołecznienia ziemi. Zlikwidowano reaktywowaną po wojnie działalność szeregu przedwojennych organizacji społeczno-zawodowych i spółdzielni rolniczych.

Procesy zmian, jakie wystąpiły wówczas w gospodarce, a zwłaszcza w rolnictwie, postawiły bardzo wąskie wymagania wobec obszarów wiejskich. Funkcje tych obszarów ograniczone zostały do wytwarzania środków żywnościowych. Pomimo braku zdecydowanych działań na rzecz zmiany struktur agrarnych gospodarstw rodzinnych, państwo w miarę możliwości popierało przedsięwzięcia inwestycyjne na rzecz rozwoju rolnictwa. Służyły temu od początku lat 60. działania w ramach polityki strukturalnej i polityki cenowo-dochodowej, mające na celu wyrównanie dochodów i poziomu życia ludności na wsi i w mieście [8].

Polityka strukturalna miała na celu wzrost produkcji roślinnej i zwierzęcej poprzez prowadzenie przedsięwzięć melioracyjnych, scaleniwych, budownictwa inwentarskiego, jak również budowę (tylko niektórych) urządzeń infrastruktury technicznej wsi – głównie elektryfikacji, zaopatrzenia w wodę oraz sieci lokalnych dróg.

W latach 60. i 70. do polityki rolnej wprowadzono na wsi zręby polityki socjalnej, obejmującej stan chłopski – jako prywatne podmioty gospodarcze – bezpłatną opieką lekarską (1968 r.) oraz możliwość uzyskiwania rent i emerytur (1976 r.). Zakres przedsięwzięć realizowanych w ramach polityki rolnej państwa przedstawiono schematycznie w tabeli 1.

Podstawowymi inwestycjami, które służyły rozwojowi produkcji rolniczej były melioracje wodne. Miały one za zadanie głównie włączenie do produkcji rolnej obszarów nieużytecznych i poprawę stosunków wodno-powietrznych gleb za pomocą drenowań oraz ochronę terenów rolnych przed powodzią.

Równoległe do melioracji prowadzono scalenia i wymiany działek, głównie na rzecz sektora państwowego i spółdzielczego poprawiające rozłóg gruntów w celu obniżania kosztów. Przedsięwzięcia te były więc narzędziem koncentracji i upaństwowienia ziemi, a ich pozytywny skutek dla poprawy struktury gospodarstw indywidualnych był znikomy [8].

Tabela 1. Zakres przedsięwzięć realizowanych w ramach polityki rolnej na obszarach wiejskich w Polsce w okresie 1956–1969 i 1970–1989 (opracowanie własne)

POLITYKA ROLNA 1956-1969		
Polityka cenowo-dochodowa	Polityka strukturalna	Polityka socjalna
<ul style="list-style-type: none"> - Kredyty - Ceny kontraktowane - Sektor państwowy - Sektor spółdzielczy - Gospodarstwa rodzinne 	<ul style="list-style-type: none"> - Ochrona przed powodzią - Melioracje - Scalenia gruntów - Budownictwo rolnicze 	<ul style="list-style-type: none"> - Renty emerytury - Służba zdrowia
POLITYKA ROLNA 1970-1989		

Na potrzeby polityki strukturalnej, czyli na rzecz gospodarki wodnej i melioracji, scaleń gruntów i budownictwa rolniczego pracowało wówczas w administracji, biurach projektowych i przedsiębiorstwach ponad 400 000 osób. Branża ta dziś istnieje w formie szczątkowej.

Cechą charakterystyczną dla przedsięwzięć realizowanych w ramach polityki strukturalnej był brak koordynacji oraz przywiązywanie zbyt małej wagi do ekologicznych funkcji obszarów wiejskich [10].

Okres 1990–2004

Zmiany społeczno-polityczne, jakie dokonały się w Polsce w roku 1989 zapoczątkowały proces wdrażania mechanizmów rynkowych w miejsce nakazowo-rozdzielczego systemu zarządzania gospodarką narodową. Wolny rynek bardzo radykalnie zmienił sektor rolny w Polsce. W okresie 1990–1991, zwanym okresem terapii wolnorynkowej [5], nastąpiła liberalizacja mechanizmów cenowych (całkowite uwolnienie cen), połączona z całkowitym otwarciem polskiej gospodarki na konkurencję zagraniczną przy równoczesnej likwidacji dotacji do produktów rolno-żywnościowych.

Recesja gospodarcza w latach 1990–1993 spowodowała drastyczne obniżenie dochodów realnych ludności rolniczej na obszarze całego kraju. W roku 1992 stanowiły one zaledwie 53% dochodów z 1989 r. i były najniższe ze wszystkich pozostałych sektorów polskiej gospodarki. Zmniejszenie się realnych dochodów w rolnictwie stanowiło – obok bardzo drogiego kredytu oraz zadłużenia rolnictwa – istotną barierę dla modernizacji gospodarstw rolnych [5].

Zmiany ustrojowe i polityka antyinflacyjna realizowana od roku 1990 oznaczały radykalne pogorszenie i zmianę sytuacji w rolnictwie i w jego otoczeniu. Jako przykład podaję fakt, że dotacje po roku 1990 do postępu biologicznego, oświaty

rolniczej, inwestycji melioracyjnych i scaleń były na poziomie 5% dotacji z lat 1965–89. Z polityki rolnej całkowicie wyeliminowano politykę strukturalną, która jak wcześniej zaznaczono jest podstawą rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich.

W okresie tym opracowano wiele dokumentów strategicznych, które miały stanowić podstawę rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, jednak ze względu na brak środków budżetowych dla ich realizacji miały one jedynie znaczenie polityczne. Od roku 1990 realizowano kilka programów przedakcesyjnych dotyczących rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, które miały na celu przygotowanie Polski do wstąpienia do UE. Były to programy PHARE i program SAPARD, celowe i udane, w pełni przez stronę polską wykorzystane finansowo.

Od maja 2004 i po integracji z UE

Realizacja WPR na obszarach wiejskich w latach 2004–2006 odbywała się w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego „Restrukturyzacja i Modernizacja Sektora Żywnościowego i Rozwój Obszarów Wiejskich” (SPO-ROL) oraz Planu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW). Rozwiązywanie problemów wsi wspierane było również w ramach innych programów regionalnych. Wymienione programy, jak również płatności bezpośrednie zrealizowano na terenie całego kraju. Do końca 2008 dzięki pomocy UE na obszary wiejskie Polski trafiło ponad 10 mld euro, to jest kilka razy więcej niż przed akcesją.

W ramach PROW realizowanych było 8 różnych przedsięwzięć, które dotyczyły głównie wsparcia dla gospodarstw położonych na obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania, programów rolno-środowiskowych, zalesienia gruntów rolnych czy wcześniejszych rent i emerytur. Dotyczyły głównie poprawy stanu środowiska przyrodniczego oraz polepszenia kondycji polskich gospodarstw [6].

Realizowany program operacyjny SPO-ROL miał charakter przedsięwzięć inwestycyjnych i obejmował takie działania jak: inwestycje w gospodarstwach rolnych, scalenia gruntów, gospodarowanie zasobami wodnymi, infrastrukturę przyzagrodową na wsi, odnowę wsi, różnicowanie działalności rolniczej i inne. Był to bardzo korzystny program inwestycyjny, w ramach którego w ciągu 2,5 roku wydano ponad 6,0 mld zł., nawiązując do działań dotyczących polityki strukturalnej sprzed 25 lat.

Zgodnie z założeniami reformy WPR w latach 2007–2013 wsparcie rozwoju obszarów wiejskich jest finansowane w ramach Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW). Opracowany w ramach tego Funduszu Program Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) realizuje się w ramach trzech osi priorytetowych:

- poprawa konkurencyjności sektora rolnego i leśnego przez wspieranie restrukturyzacji, rozwoju i innowacji;
- poprawa środowiska naturalnego i obszarów wiejskich;
- jakość życia na obszarach wiejskich i różnicowanie gospodarki wiejskiej oraz program Leader.

Tabela. 2. Szczegółowe zestawienie działań dla trzech osi priorytetowych wraz z wysokością środków finansowych w mln euro

WSPARCIE OBSZARÓW WIEJSKICH W RAMACH OSI PRIORYTETOWYCH		
POPRAWA KONKURENCYJNOŚCI SEKTORA ROLNEGO I LEŚNEGO	POPRAWA ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO I OBSZARÓW WIEJSKICH	JAKOŚĆ ŻYCIA NA OBSZARACH WIEJSKICH I RÓZNICOWANIE GOSPODARKI WIEJSKIEJ
Nazwa działania	Nazwa działania	Nazwa działania
Razem [mln EUR]	Razem [mln EUR]	Razem [mln EUR]
1. Szkolenia zawodowe i akcje informacyjne dla osób zatrudnionych w rolnictwie	1. Wspieranie gospodarowania na obszarach górskich i innych obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW)	1. Różnicowanie w kierunku działalności nierolniczej
525,0	2 300,0	320,0
2. Ułatwianie startu młodym rolnikom	2. Podstawowe usługi dla ludności	2. Płatności dla obszarów rolnych objętych siecią NATURA 2000 i Dyrektywą 2000/60/WE
817,0	550,0	550,0
3. Renty strukturalne	3. Program rolno-środowiskowy oraz inwestycje nieprodukcyjne	3. Odnowa i rozwój wsi
1 700,0	950,0	1 200,0
4. Modernizacja gospodarstw rolnych	4. Zalesianie gruntów rolnych oraz innych gruntów	4. Tworzenie i rozwój mikroprzedsiębiorstw
1 000,0	470,0	200,0
5. Zwiększanie wartości dodanej podstawowej produkcji rolnej i leśnej	5. Dopłaty leśno-środowiskowe, w tym do gruntów leśnych na obszarach sieci NATURA 2000	5. Szkolenie i informowanie
430,0	81,0	30,0
6. Poprawianie i rozwijanie infrastruktury związanej z rozwojem i dostosowaniem rolnictwa i leśnictwa (scalenie, melioracje)	6. Odtwarzanie potencjału produkcji leśnej i wprowadzanie odpowiednich instrumentów zapobiegawczych	RAZEM
154,0	140,0	2 320,0
7. Wsparcie dla rolników, którzy biorą udział w programach jakości żywności	7. Zobowiązania z okresu 2004–2006	
30,0	950,3	
8. Wsparcie dla grup producentów w zakresie działalności informacyjnej i promocyjnej dla producentów objętych programami jakości żywności	RAZEM	
128,5	5 581,3	
9. Grupy producentów rolnych		
128,5		
10. Korzystanie z usług doradczych przez rolników oraz posiadaczy lasów		
400,0		
11. Zobowiązania z okresu 2004–2006		
1 853,5		
RAZEM		
7 142,0		

Łącznie wsparcie 15 043 mln. euro

W ramach wymienionych osi przewidziane są środki na: przedsięwzięcia związane z poprawą i rozwijaniem infrastruktury produkcyjnej, jak melioracje, scalenia, modernizacja gospodarstw rolnych, odnowę wsi oraz przedsięwzięcia nieinwestycyjne związane z poprawą środowiska przyrodniczego, renty strukturalne, szkolenia, informacje, promocje i inne. Szczegółowe zestawienie przedsięwzięć dla trzech osi priorytetowych wraz z wysokością środków finansowych podano w tabeli 2.

Celem programu „Laeder” jest przede wszystkim aktywizacja mieszkańców obszarów wiejskich przez budowanie kapitału społecznego na wsi, a także poprawa zarządzania lokalnymi zasobami. Program ten ma za zadanie organizację lokalnych społeczności i włączenie ich do planowania i wdrażania lokalnych inicjatyw. Szczegółowe zasady i kryteria ubiegania się o środki finansowe, rodzaj beneficjentów, kryteria dostępu oraz forma i wysokość pomocy finansowej określone są w rozporządzeniach szczegółowych [6].

Podsumowując ten krótki okres 2004–2008 realizacji WPR należy stwierdzić, że był to bardzo korzystny czas dla rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, w którym w pełni wykorzystano dostępne unijne środki finansowe. Oprócz różnych dopłat bezpośrednich zaspokojone zostało wiele potrzeb inwestycyjnych w gminach wiejskich [9].

Bardzo niekorzystny pozostaje fakt, iż realizowane programy były i są wdrażane w istniejących ramach instytucjonalnych i organizacyjnych (przy braku kompetencji instytucji administracji rządowej i samorządowej). Ramy te stanowią obok świadomości politycznej i społecznej zasadniczą barierę dla właściwego efektu tych działań. Ponadto instrumenty realizacji polityki strukturalnej w Polsce kreują sektorowość działania i brak koordynacji. Wycinkowe, wąskie oraz nieskoordynowane działania inwestycyjne skutkują zwykle wycinkowym i nie zawsze spójnym z innymi działaniami efektem. Niestety taki model postępowania praktykowany jest przy realizacji inwestycji na obszarach wiejskich w Polsce [7].

Potrzeby działań dla kształtowania i rozwoju obszarów wiejskich

Oceniając wpływ polityki rolnej na rozwój rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce, należy stwierdzić, że zmianom podlegały nie tylko zakres i cele polityki rolnej, ale również oczekiwania i potrzeby społeczne. Monofunkcyjny rozwój obszarów wiejskich w okresie „realnego socjalizmu”, a więc łączenie rozwoju obszarów wiejskich prawie wyłącznie z rozwojem rolnictwa stał się podstawą stagnacji i niedorozwoju cywilizacyjnego tych obszarów.

Obecnie jesteśmy świadkami istotnej zmiany relacji między rolnictwem a wsią. Rolnictwo, związane z przestrzenią, wprawdzie nadal kojarzone jest ze wsią, jednak więzi między nimi znacząco osłabły, a w odniesieniu do wielu wsi prawie zanikły [1]. Aktualnie, działalność rolnicza we własnym gospodarstwie stanowi trzecie pod

względem wielkości źródło dochodów ludności wiejskiej – po pracy najemnej i świadczeniach społecznych. Istniejący od roku 1990 kryzys w rolnictwie związany jest z brakiem właściwej polityki rolnej, w której całkowicie wyeliminowano politykę strukturalną, bez której nie ma rozwoju wielofunkcyjnego.

W krajach wysoko rozwiniętych od ponad 60 lat realizuje się wyłącznie wielofunkcyjny rozwój obszarów wiejskich. Polega on na alokacji na wsi różnych form działalności gospodarczej i usługowej o charakterze nierolniczym. Proces wielofunkcyjnego rozwoju związany jest z rozwojem lokalnym, przedsiębiorczością, planowaniem strategicznym, dywersyfikacją rolnictwa, rozwojem infrastruktury, ochroną środowiska [4]. W wielofunkcyjnym rozwoju obszarów wiejskich problemy rozwoju wsi i rolnictwa muszą być traktowane kompleksowo, a nie tylko wybiórczo. Wspólna Polityka Rolna UE preferuje wyłącznie rozwój wielofunkcyjny. Czy wobec powyższych stwierdzeń realizowana w Polsce od 2004 roku WPR realizuje wielofunkcyjny rozwój i zasady „zrównoważonego rozwoju wsi i rolnictwa”? Niestety w Polsce nie stworzono całościowych rozwiązań systemowych w zakresie kreowania i realizacji kompleksowego kształtowania obszarów wiejskich. Chaotyczny rozwój zabudowy skutkujący nieuzasadnionymi kosztami infrastruktury technicznej, dysproporcje między rozwojem sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, jak również zamieranie procesów racjonalizacji i ochrony przestrzeni rolniczej i leśnej – to najważniejsze w skali kraju, negatywne efekty braku realizacji właściwej polityki strukturalnej [7].

Analizując zrealizowane w ramach WPR w okresie 2004–2006 programy SPO-ROL i PROW oraz aktualnie PROW wraz z trzema wyszczególnionymi osiami należy stwierdzić, że stanowią one wycinkowe, wąskie, niespójne i nieskoordynowane działania. Realizowana w krajach UE i przyjęta przez Polskę WPR nie w pełni uwzględniała nasze potrzeby i stan rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, szczególnie dla obszarów Polski południowo-wschodniej o przeludnieniu agrarnym i rozdrobnionym rolnictwie. Wsparcie finansowe w formie dopłat bezpośrednich i innych działań skierowane jest bezpośrednio do kieszeni rolnika. Korzystają z tej pomocy wprawdzie wszystkie gospodarstwa, ale największe korzyści odnoszą duże gospodarstwa towarowe zlokalizowane w Polsce środkowej i północno-zachodniej.

Zbyt małe znaczenie przywiązuje się do takich przedsięwzięć jak scalenia gruntów, gospodarowanie zasobami wodnymi i odnowa wsi, które służą nie tylko rozwojowi rolnictwa, ale przede wszystkim rozwojowi obszarów wiejskich. Z dwudziestu jeden różnych przedsięwzięć realizowanych w okresie 2007–2013 o budżecie 15,043 mld euro, na wymienione wyżej scalenia, melioracje i odnowę wsi, które stanowią podstawę polityki strukturalnej przeznaczono zaledwie 1,63 mld euro, czyli zaledwie 10,7% środków (tab. 3).

Obecnie w Polsce, podobnie jak w okresie „realnego socjalizmu”, scalanie gruntów traktuje się jedynie jako zabieg poprawiający szachownicę gruntów [3]. Według kryteriów UE to przedsięwzięcie techniczno-prawne, mające na celu nową

Tabela 3. Wysokość i rozmieszczenie środków finansowych na scalenia, melioracje i odnowę wsi w mld. euro (opracowanie własne)

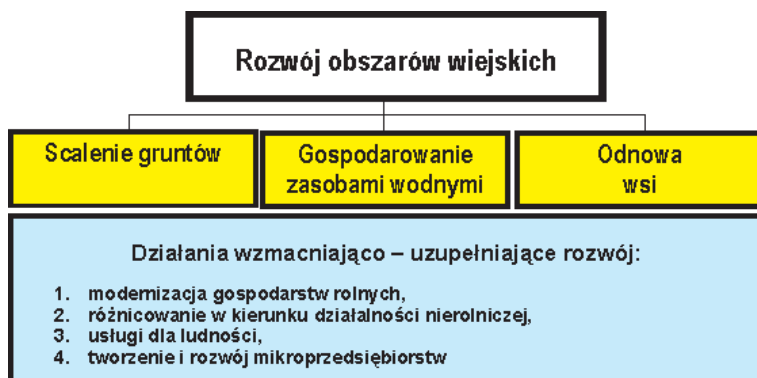
WSPARCIE OBSZARÓW WIEJSKICH W RAMACH OSI PRIORYTETOWYCH w latach 2007-2014 – 15.043 mld. EURO			
<i>Poprawa konkurencyjności sektora rolnego i leśnego</i>	<i>Poprawa środowiska przyrodniczego i obszarów wiejskich</i>	<i>Jakość życia na obszarach wiejskich</i>	LEADER
7.142 łącznie	5.581 łącznie	2.320 łącznie	
0.43 scalenia, melioracje		1.200 odnowa wsi	
2,8% cał. kosztów		7,9% cał. kosztów	
10 działań	6 działań	5 działań	

organizację przestrzeni rolniczo-leśnej i obszarów zabudowanych, wydzielenie nowych terenów budowlanych, inwestycyjnych i innych.

Dlatego proponuje się dla nowego okresu realizacji WPR 2014–2020 w ramach realizacji programu PROW, stworzenie szczególnej „osi inwestycyjnej dla rozwoju obszarów wiejskich”. Rodzaj proponowanych przedsięwzięć, które powinny być kompleksowo realizowane podano na rys. 2. Dla zwiększenia efektywności tego przedsięwzięcia, w miarę potrzeb, wymieniony proces inwestycyjny powinien być wzmacniany takimi działaniami jak: modernizacja gospodarstw rolnych, różnicowanie w kierunku działalności nierolniczej, usługi dla ludności czy tworzenie i rozwój mikroprzedsiębiorstw.

Działania te powinny być wspomagane środkami finansowymi pochodzącymi z funduszy regionalnych. Pragnę nadmienić, że prace o szerszym zakresie inwestycyjnym niż proponowany (wraz z budową obwodnicy wsi) były realizowane w Polsce już w latach 1936–1939.

W Polsce konieczne jest wprowadzenie funkcjonalnie podobnego procesu inwestycyjnego, jaki dla kształtowania i rozwoju obszarów wiejskich jest realizowany od



Rysunek 2. Propozycja osi inwestycyjnej w ramach WPR w latach 2014–2020 realizującej rozwój obszarów wiejskich (opracowanie własne)

początku lat 50. ubiegłego wieku w Niemczech, Szwajcarii czy Holandii nastawiono jednak ściśle na rozwiązanie polskich problemów [3].

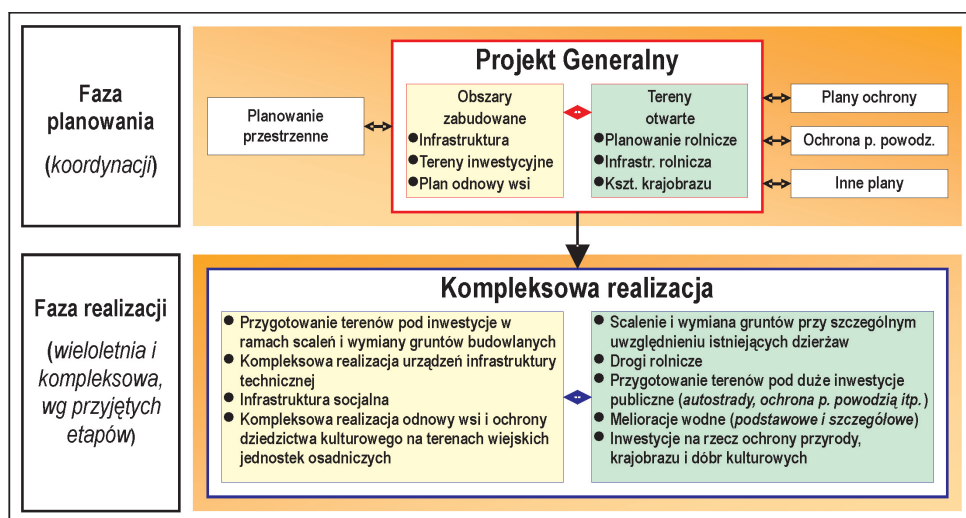
Metodyka takiego postępowania stworzona została przy współpracy z Politechniką Federalną w Zurychu w latach 1986–1990 oraz doprecyzowana w latach 1995–2002 pod kątem przewidywanej akcesji Polski do UE. Opiera się ona na doświadczeniach Szwajcarii, Holandii i Niemiec oraz na pracach studialnych prowadzonych w Polsce od roku 1984 w gminach górskich i podgórszych. Aby rozwój obszarów wiejskich był zrównoważony musi być wielofunkcyjny [7] i dotyczyć równocześnie:

- gospodarki na wsi ze szczególnym uwzględnieniem rolnictwa,
- osadnictwa wraz z infrastrukturą techniczną i socjalną,
- ochrony środowiska.

Szczególnie istotne jest, aby wszystkie te aspekty uwzględniane były w fazie programowania działań na obszarze danego sołectwa/gminy. Daje to podstawę do koordynacji oraz wykorzystania synergii. Schemat nowego „Postępowania dla kształtowania i rozwoju obszarów wiejskich” oraz jego stosunek do wybranych opracowań planistycznych podano na rysunku 3.

W fazie realizacji nowego procesu inwestycyjnego, zamierzone przedsięwzięcia realizowane są w jednym czasowo, merytorycznie i organizacyjnie skoordynowanym procesie, wg kolejności określonej w Projekcie Generalnym. Poszczególne inwestycje realizowane są w ściśle określonych etapach. Etapy te zależą m.in. od procedur obowiązujących przy pozyskiwaniu środków UE.

Nowy proces inwestycyjny musi być ściśle skoordynowany z miejscowym planowaniem przestrzennym. Głównie dlatego, że to w ramach dokumentów planistycz-



Rysunek 3. Schemat nowego „Postępowania dla kształtowania i rozwoju obszarów wiejskich” oraz jego stosunek do wybranych opracowań planistycznych (wg. J. Pijanowskiego)

nych określane są funkcje terenu. Dokumenty te powinny więc być na obszarach wiejskich zgodne z ustaleniami Projektu Generalnego. W przypadku gdy dany obszar objęty jest prawomocnym miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, ustalenia Projektu Generalnego stanowią część lokalnego prawa.

Proponowany proces inwestycyjny realizowany musi być w dwóch fazach: planowania (opracowuje się projekt generalny) i realizacji (prowadzenie prac wykonawczych wg przyjętych etapów) i dotyczy rozwoju zarówno obszarów zabudowanych jak i przestrzeni rolniczo-leśnej. Zakres i rodzaj prowadzonych prac inwestycyjnych podano na rysunku 3.

Proponowany proces inwestycyjny powinien przyjąć nazwę „Postępowanie dla Kształtowania i Rozwoju Obszarów Wiejskich”. Jest on osadzony w polskim i unijnym systemie prawnym i finansowym.

Aby w pełni go realizować należy stworzyć odpowiednie ramy prawne i organizacyjne. Obecnie w Polsce nie ma regulacji prawnej, która w sposób kompleksowy ujmowałaby rozwój obszarów wiejskich. Istniejące ustawodawstwo dotyczące melioracji wodnych czy scaleń, jak również inne ustawy branżowe nie są adekwatne do obecnych potrzeb. Konieczna jest nowa ustawa o kształtowaniu i rozwoju obszarów wiejskich [8].

Ramy instytucjonalne nowego procesu inwestycyjnego oparte powinny być na Samorządzie Województwa, w którego kompetencji znajduje się polityka strukturalna dotycząca rozwoju obszarów wiejskich i rolnictwa oraz polityka regionalna. Urzędowi Marszałkowskiemu podległe są zarówno Wojewódzkie Zarządy Melioracji i Urządzeń Wodnych jak i Wojewódzkie Biura Geodezji i Terenów Rolnych. Należy zaznaczyć, że obecnie rola tych ostatnich jest marginalna. Z tych jednostek powinny powstać „Wojewódzkie Urzędy ds. Kształtowania i Rozwoju Obszarów Wiejskich” (UKiROW), które powinny podlegać merytorycznie odpowiedniemu departamentowi Urzędu Marszałkowskiego. UKiROW pełniłyby funkcje koordynatora i wykonawcy działań na rzecz rozwoju obszarów wiejskich. Do kompetencji tych Urzędów należałoby sporządzenie Projektów Generalnych oraz koordynacja i uczestnictwo w ich realizacji.

Podsumowanie

Zmiany społeczno-polityczne, jakie nastąpiły w Polsce w roku 1989, integracja z UE, jak również współpraca nauki polskiej z nauką europejską, spowodowały bardzo szybkie zmiany jakościowe stawiane nauce i praktyce. Już w roku 1992 w dziedzinie nauk rolniczych powstała nowa dyscyplina naukowa – kształtowanie środowiska, która zajmuje się celami, metodami i sposobami służącymi zrównoważonemu rozwojowi wsi i rolnictwa oraz przewidywaniem skutków działalności w środowisku przyrodniczym i poprawą jego stanu. W ujęciu węższym dyscyplina ta – wykorzystując nauki inżynierskie – zajmuje się problemami środków struktural-

nych, technicznych i biologicznych, służących działalności człowieka w środowisku przyrodniczym i przestrzeni wiejskiej.

Powstanie nowej dyscypliny naukowej „kształtowanie środowiska” stanowiło podstawę restrukturyzacji Wydziałów Melioracji Wodnych, które przyjęły nową nazwę Wydziałów Inżynierii Środowiska i Geodezji czy Inżynierii i Kształtowania Środowiska. Są one odpowiedzialne za przygotowanie programów i kadr dla rozwoju obszarów wiejskich w Polsce. Prezentowane cyklicznie wyniki badawcze, świadczą, że środowisko naukowe jest metodycznie przygotowane do realizacji w praktyce zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. Należy natomiast stwierdzić, że administracja rządowa i samorządowa jak również politycy, profesjonalnie odpowiedzialni za rozwój obszarów wiejskich, nie czują potrzeb w zakresie kształtowania i rozwoju obszarów wiejskich w Polsce i nie nadążają za nimi.

Wprowadzenie nowego procesu inwestycyjnego Kształtowanie i Rozwój Obszarów Wiejskich i utworzenie Dyrekcji Urządzeń i Rozwoju Obszarów Wiejskich oraz prywatnych i/lub komunalnych przedsiębiorstw wykonawczych, spowodowałyby powstanie docelowo około 300 000 nowych miejsc pracy (szacunek porównawczy z administracją niemiecką). Włączając w to zaplecze materiałowo-techniczne (żwirownie, prefabrykaty, transport) jeszcze więcej. Większość zatrudnionych rekrutowałaby się z obszarów wiejskich.

Najbardziej oczekiwanym pozytywnym efektem będzie właściwe wykorzystanie środków UE. Tylko możliwie pełne wykorzystanie tych środków na merytoryczne programy spowodować może założony efekt w postaci szybkiego rozwoju obszarów wiejskich w Polsce. Można zaryzykować stwierdzenie, że wprowadzenie w życie nowego procesu inwestycyjnego to po reformie samorządowej i stabilizacji wzrostu rozwoju gospodarczego „trzecie koło zamachowe” rozwoju Polski.

Powszechne wprowadzenie nowego procesu inwestycyjnego zaowocowałyby niewątpliwie również w sferze niematerialnej. Chodzi o takie wartości jak:

- wkład w rozwój cywilizacyjny polskiej wsi,
- aktywizacja społeczności wiejskich dla nowej wspólnej idei,
- porządek przestrzenny,
- efektywniejszy wkład w ochronę przyrody, krajobrazu i wartości kulturowych.

Powyższe wpłynie na postrzeganie wsi i środowisk lokalnych zarówno z zewnątrz jak i od wewnątrz, czyli na poczucie więzi i dumy ze swojej małej ojczyzny. Nowy proces inwestycyjny spowoduje jednak przede wszystkim rozwój wsi, co jest faktem dokonany w krajach, które od niedawna są naszymi partnerami w poszerzonej UE.

Literatura

- [1] Duczowska-Małysz K. 1995. Regionalne aspekty polityki rozwoju obszarów wiejskich. Sympozjum naukowe – Polityka regionalna w rozwoju obszarów wiejskich. Warszawa: 145–154.
- [2] Fischler F. 2000. Ländliche Entwicklung im 21. Jahrhundert. Zukunft und Entwicklung ländlicher Räume. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 3: 112–120

- [3] Flury U. 1995. Landumlegung, Infrastrukturverbesserung und Bodenordnung. Raumplanung, Strukturverbesserung und Bodenordnung. Institut für Kulturtechnik ETH Zürich.
- [4] Kłodziński M. 2000. Doświadczenia krajów członkowskich UE w zakresie strategii wielofunkcyjnego rozwoju wsi. Symposium PAN, Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju. Warszawa: 2–3.
- [5] Kożuch A., Kożuch B., Kutkowska B. 2000. Polska Polityka rolna u progu XXI wieku. Nauka-Edukacja: 1–174.
- [6] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. 2006. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013. Warszawa.
- [7] Pijanowski J.M. 2003. Das Gestaltungsverfahren für die Entwicklung des ländlichen Raums. Ein Ansatz zur koordinierten Gestaltung räumlicher Strukturen im ländlichen Raum Polens. Doktorat, Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung ETH Zürich.
- [8] Pijanowski Z. 1999. Kształtowanie i rozwój obszarów wiejskich w Polsce. Konferencja SITWM Warszawa. Współczesne problemy melioracji, gospodarki wodnej, kształtowania i ochrony przestrzeni rolniczej w Polsce a wymogi Unii Europejskiej. Warszawa: 15–20.
- [9] Wilkin J. 2008. Polska wieś 2008. Raport o stanie wsi. FDPA.
- [10] Ziobrowski Z. 1997. Organizacja gospodarki przestrzennej w Polsce, struktura, ewolucja systemu. Urząd Mieszkalnictwa i Rozwoju Miast Rzeczypospolitej Polskiej. Kraków.

Rural areas development in Poland in the context of agricultural policy

Keywords: space, rural areas, agriculture, agricultural policy, sustainable development

Summary

The agricultural policy, which was pursued at the time of Poland's accession to the European Union, apparently different from the European standards, caused that no natural principles of shaping and development of rural areas, being common in Europe, were created in Poland.

Currently numerous financial ventures in the framework of agricultural policy have been realized in form of various grants on production, investments, environmental protection, farmer securities, etc. Many renown agricultural economists define and group these undertakings under the notions of : prices and incomes policy, structural (investment policy) and social policy. Investment ventures in the framework of structural policy, which are a part of agricultural policy, provide a basis for multifunctional, sustainable development of agriculture and rural areas.

The paper presents rural development in Poland in the context of structural policy, as a part of agricultural policy. The basis for the article was an analysis and assessment of various investment ventures realized in Poland in the years 1918–2008 and in the framework of Common Agricultural Policy, as well as their influence upon the development of agriculture and rural areas. In the final part of the article Author suggested the ways and needs to undertake activities aimed at proper shaping of the protection and development of rural areas in Poland.

Współczesne uwarunkowania gospodarowania wodą w obszarach wiejskich

Józef Mosiej, Edward Pierzgałski, Jerzy Jeznach

*Katedra Kształtowania Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 166*

e-mail: józef_mosiej@sggw.pl; edward_pierzgalski@sggw.pl; jerzy_jeznach@sggw.pl

Słowa kluczowe: obszary wiejskie, zrównoważone rolnictwo, gospodarowanie wodą

Wstęp

Obszary wiejskie obejmujące tereny rolne, leśne oraz znajdujące się na nich jednostki osadnicze mają fundamentalne znaczenie dla rozwoju cywilizacyjnego państwa pełniąc, oprócz funkcji produkcyjnej (m.in. żywność, produkty drzewne), także funkcje kulturowe, ekologiczne, krajobrazowe i społeczne (agroturystyka, rekreacja). Niezmiernie ważnym czynnikiem determinującym znaczenie i rozwój funkcji obszarów wiejskich są zasoby wodne. Od ilości i jakości zasobów wodnych zależy zdrowie ludności (poprzez dostęp do czystej wody), bezpieczeństwo ludności na obszarach zagrożonych powodzią, rozwój gospodarczy, w tym poziom produkcji roślinnej i zwierzęcej, stan środowiska przyrodniczego, a także rozwój pozaprodukcyjnych funkcji obszarów wiejskich [3, 26, 30]. Zagadnienia wodne nie stanowią wyizolowanego i oddzielnego problemu w planach rozwoju obszarów wiejskich [29], lecz są w ścisłym związku ze wszystkimi czynnikami gospodarczymi, przyrodniczymi i społecznymi, w części kształtowanymi przez samorządy lokalne.

Problematyka gospodarowania wodą na obszarach wiejskich obejmuje duży zakres działalności – od planistycznej i organizacyjnej poprzez projektową i inwestycyjną do działań eksploatacyjnych i modernizacyjnych. Praktycznie jednak sprowadza się do przedsięwzięć, których celem jest:

- kształtowanie zasobów wodnych w rolniczej przestrzeni produkcyjnej, z uwzględnieniem ich ilości i jakości;
- przystosowanie obszarów do intensywnej produkcji rolniczej;

- ochrona zasobów wodnych w skali gospodarstwa (ścieki, odchody zwierzęce) oraz w skali jednostki terytorialnej (wieś, gmina).

Aktualne warunki społeczno-gospodarcze w Polsce wymagają nowego spojrzenia na czynnik wodny w zagospodarowaniu i rozwoju obszarów wiejskich. Przede wszystkim gospodarki wodnej nie należy rozpatrywać w oderwaniu od planów przestrzennego urządzania i zagospodarowania siedlisk występujących na terenach wiejskich [40]. Przedsięwzięcia chroniące i kształtujące w sposób kompleksowy zasoby biotyczne oraz zasoby wodne zlewni powinny być uwzględniane w planach zagospodarowania przestrzennego, które – obejmując rolniczą przestrzeń produkcyjną, tereny osadnicze wraz z ich techniczną infrastrukturą, a także obszary zdegradowane i obszary podlegające ochronie, w tym biotopy wodne – służą integracji ładu przestrzennego i ładu środowiskowego. Uwarunkowania wodne w procedurze planistycznej należy uwzględniać już na etapie wyboru przeznaczenia terenu, czyli na etapie wyboru funkcji terenu i ustalania zasad zagospodarowania. Dotychczas są one brane pod uwagę jedynie przy wyborze funkcji terenu, na przykład sposób użytkowania obszarów przyległych do zbiorników wodnych najczęściej pozostawia się do decyzji właściciela gruntu. Oznacza to, że właściciel może przeznaczyć teren sąsiadujący ze zbiornikiem do użytkowania jako grunty orne, co może wskutek zjawisk erozyjnych pogorszyć jakość wód w zbiorniku. Planowanie przestrzenne na terenach przylegających do planowanych obiektów wodnych powinno obejmować więc także etap wyboru sposobu zagospodarowania [10]. Wszystkie przedsięwzięcia związane z gospodarką wodną powinny także uwzględniać doświadczenia uzyskane ze zrealizowanych inwestycji. Ponadto do najbardziej istotnych współczesnych wyzwań gospodarowania wodą w obszarach wiejskich należy zaliczyć konieczność spełniania wymagań środowiskowych Unii Europejskiej, wdrażanie polityki zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich w ramach Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej i regionalnej strategii Zrównoważonego Rozwoju Regionu Bałtyckiego, a także konieczność przystosowania produkcji roślinnej i zwierzęcej do zmian klimatu [1, 5, 20].

Urządzenia melioracyjne

Nieracjonalne, a czasem nadmierne wykorzystanie zasobów przyrody, w tym również zasobów wodnych, umożliwiło rozwój cywilizacyjny i gospodarczy człowieka, ale spowodowało też niekorzystne zmiany w środowisku. Przyspieszenie obiegu wody i transportu materii w zlewni nie tylko zmieniło struktury bilansu wodnego, lecz stało się główną przyczyną zwiększenia ładunków związków biogenych wynoszonych do rzek z obszarów użytkowanych rolniczo [17, 24]. Przyspieszenie obiegu wody może niekiedy wywierać większy wpływ na zanieczyszczenie wód powierzchniowych niż zwiększone nawożenie [27, 28]. Zdaniem Ilnickiego [12] zagrożenie dla środowiska związane z gospodarką wodną rolnictwa stanowiły w przeszłości następujące działania:

- dążność do odwodnienia wszystkich zagłębień (oczek wodnych, lokalnych terenów podmokłych o niewielkich powierzchniach) i związane z tym przegłębienie sieci rowów i zbieraczy;
- przesuszenie smużnych łąk w wąskich dolinkach zbyt głębokimi rowami, co umożliwiało ich zamianę na grunty orne i powodowało likwidację cennych obszarów buforowych stanowiących barierę biogeochemiczną;
- usuwanie naturalnych bądź sztucznych tarasów, żywoplotów, zadrzewień i zadrzawionych miedz, a także „porządkowania przestrzeni produkcyjnej rolnictwa” dla potrzeb rolnictwa intensywnego (m.in. poprzez budowę deszczowni wielkoobszarowych), czego skutkiem było zubożenie krajobrazu i erozja zboczy.

Upowszechniana w przeszłości m.in. przez Somorowskiego [42], a także bardziej współcześnie przez Rajdę [40], koncepcja melioracji środowiskowych, których celem jest kompleksowe urządzenie rolniczej i wiejskiej przestrzeni produkcyjnej o wielofunkcyjnym charakterze, nawiązywała do obecnie obowiązujących rozwiązań prawnych dotyczących rozwoju wsi i rolnictwa. Nieco inaczej widział miejsce melioracji w kształtowaniu obiegu wody, składników pokarmowych i energii w czasie i przestrzeni Marcilonek [24] stwierdzając, że „współczesne melioracje mają na celu wprowadzenie pożądanych zmian w ekosystemach rolniczych, leśnych i wodnych, które umożliwiają wzrost ich produktywności i zapewniają ekonomiczną efektywność gospodarowania zasobami przyrody”. W praktyce takie melioracje powinny polegać na wzbogacaniu krajobrazu obszarów rolniczych przez szerokie wprowadzenie stref ekotonowych między różnymi komponentami krajobrazu (np. między lasami i polami uprawnymi) przy zachowaniu lub odtworzeniu śródpolnych zadrzewień, wawozów, nierówności terenowych, oczek wodnych, stawów. Ma to na celu zwiększenie zdolności retencyjnych zlewni, a więc zahamowanie obniżania się przepływów niżówkowych i degradacji cieków. Wdrażanie tych koncepcji nie jest możliwe bez poważnych ingerencji w dotychczasowy sposób zarządzania i użytkowania obszarów rolniczych [7]. Podstawą wszelkich przedsięwzięć powinny być zasady rozwoju zrównoważonego. Oznacza to w praktyce konieczność opracowania dla każdej zlewni planu zagospodarowania przestrzennego opartego na koncepcji naukowo uzasadnionych działań, które określałyby najważniejsze kierunki przestrzennego urządzenia terenów rolniczych zlewni w aspekcie ilościowej i jakościowej ochrony wód oraz możliwości poprawy istniejącego stanu środowiska i zasobów wodnych.

Od początku lat 80. ubiegłego stulecia nastąpił spadek zainteresowania melioracjami wodnymi zarówno w zakresie nowych inwestycji, jak również w zakresie utrzymania i eksploatacji istniejących urządzeń. Nakłady ze środków publicznych nie są wystarczające nawet na bieżące remonty i utrzymanie urządzeń podstawowych. Jedynie zdarzające się nadmierne opady powodujące powodzie i lokalne podtopienia przyczyniają się do krótkiego zainteresowania niedrożnymi urządzeniami. W ostatnich kilku latach nastąpiło szczególnie duże zmniejszenie powierzchni nawodnień na użytkach zielonych. Jedną z przyczyn takiej sytuacji jest ekstensyfikacja łąkarstwa

w skali kraju, spowodowana przede wszystkim koncentracją i specjalizacją gospodarstw w produkcji mleka, w których siano nie jest już podstawową paszą, a jedynie jednym z komponentów. Jednocześnie wdrażane programy rolnośrodowiskowe, mające na celu ochronę przyrody ożywionej na użytkach zielonych są w sensie gospodarczym dopłatami obszarowymi premiującymi dalszą ekstensyfikację produkcji łąkarskiej [9]. Przy takim podejściu nawodnienie, jako czynnik intensyfikujący produkcję, staje się czynnością zbędną [22].

Zmiana sposobu użytkowania gruntów rolnych ma istotny wpływ na kształtowanie zasobów wodnych. Zwiększenie np. powierzchni upraw energetycznych może spowodować znaczące zagrożenie dla środowiska, a przede wszystkim ograniczenie zasobów wodnych w glebie, zmniejszając zasilanie wód gruntowych i powierzchniowych [8]. Oddziaływanie roślin energetycznych na bilans wodny gleb jest większe niż trwałych użytków zielonych, czy też zbóż. Badania potrzeb wodnych wierzby wykazały, że wskutek wysokiej intercepcji następuje zmniejszenie zasilania wód gruntowych. Dlatego na obszarach o średnim rocznym opadzie poniżej 600 mm nie jest zalecana uprawa roślin energetycznych krótkich rotacji (wierzba, topola) i traw energetycznych [4]. W tej sytuacji powinien zostać opracowany krajowy program wprowadzania upraw roślin energetycznych z uwzględnieniem uwarunkowań glebowo-wilgotnościowych, bilansu wodnego zlewni, niezbędnych modernizacji lub nowych inwestycji melioracyjnych [23].

Właściwa eksploatacja systemów melioracyjnych pozwala wykorzystać je do zwiększenia retencji powierzchniowej i podziemnej, rolniczego wykorzystania części spływających zanieczyszczeń lub zatrzymania ich w glebie i późniejszego wykorzystania przez rośliny. Wysoka efektywność wody zużywanej do nawodnień rolniczych, duży odzysk wody ze ścieków wykorzystywanych do nawodnień poprzez oczyszczające działanie gleby i środowiska roślinnego sprawiają, że przy technicznie i ekologicznie sprawnej i poprawnej eksploatacji dobrze zaprojektowanych systemów melioracyjnych powinny one odgrywać pożyteczną rolę nie tylko w produkcji rolniczej, ale również w ochronie środowiska i zasobów wodnych. Z drugiej strony elementy systemów melioracyjnych (kanały, rowy, dreny, zbiorniki) mogą stwarzać zagrożenie dla środowiska, gdyż przechwytyują i dostarczają do rzek spływy powierzchniowe z pól, dróg, niekiedy ścieki komunalne, a także odpady oraz materiał erodowany [7]. Melioracje gruntów ornych położonych przeważnie na obszarach wododziałowych (wysoczyznach) powodują znacznie mniej zagrożeń niż melioracje dolin rzecznych. Naruszenie stosunków wodnych jest znacznie mniejsze i ma ograniczony zasięg, ponieważ podziemne rurociągi drenarskie odprowadzają nadmiar wody jedynie w okresie wiosennym i po większych opadach. Sieć drenarska nie wywiera istotnego wpływu na poziom wód gruntowych, ponieważ na wododziałach poziom ten znajduje się na głębokości kilku metrów.

Wyrazem wzrastającego zrozumienia potrzeby wdrożenia idei „melioracji przyjaznych środowisku” była propozycja Ilnickiego wprowadzenia „studium krajobra-

zowego”, które miało zapewnić ochronę najcenniejszych elementów krajobrazowych na terenach o szczególnych wartościach przyrodniczych [11, 12]. Studium krajobrazowe poszerzało zakres przedmiotowych badań przyrodniczych o inwentaryzację zadrzewień przywodnych i śródpolnych, charakterystykę oczek wodnych, szczegółowy opis wszystkich obiektów objętych ochroną przyrody i uwzględniało zamierzenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Niestety wraz z drastycznym ograniczeniem inwestycji melioracyjnych studium krajobrazowe wdrażano w kilku województwach tylko w latach dziewięćdziesiątych. Obecnie podobne badania mogą być prowadzone w ramach powszechnej inwentaryzacji przyrodniczej gmin dla obszarów i obiektów objętych ochroną przyrody, cennych przyrodniczo oraz w ramach studium ekofizjograficznego wykonywanego na potrzeby studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy. Niestety nie obejmują one szczegółowej inwentaryzacji zadrzewień.

Ramowa Dyrektywa Wodna nie precyzuje roli gospodarki wodnej prowadzonej na potrzeby rolnictwa, natomiast Prawo wodne dość precyzyjnie definiuje pojęcie gospodarki wodnej w rolnictwie pod nazwą „melioracje wodne” [18]. W definicji melioracji: „regulacja stosunków wodnych w celu polepszenia zdolności produkcyjnej gleby” wyeksponowany jest cel gospodarczy związany z kształtowaniem optymalnych warunków glebowo-wodnych dla działalności rolniczej przez: eliminację zalewów powierzchniowych, szybkie odprowadzenie wód pozimowych oraz utrzymanie poziomu wód gruntowych dla odpowiedniego napowietrzenia [6, 13, 15, 16, 19, 32].

Inwestycje melioracyjne, jak wiele innych, mogą wywołać konflikt różnych interesów publicznych. Z jednej pozytywne efekty przedsięwzięć melioracyjnych mających na celu polepszenie zdolności produkcyjnej gleby, ułatwienie jej uprawy oraz ochronę użytków rolnych przed powodzią uzyskują właściciele gruntów, jakkolwiek można je uznać za służące także interesowi publicznemu. Jednocześnie skutki tych przedsięwzięć nie powinny zagrażać zachowaniu zróżnicowanych biocenoz polnych i łąkowych [41]. W Prawie wodnym zwraca się bowiem uwagę na uwarunkowania przyrodnicze: „przy planowaniu, wykonywaniu oraz utrzymaniu urzędzeń melioracji wodnych, należy kierować się potrzebą zachowania zróżnicowanych biocenoz polnych i łąkowych” oraz „przy projektowaniu, wykonywaniu oraz utrzymaniu urzędzeń wodnych należy kierować się zasadą zrównoważonego rozwoju, a szczególnie zachowaniem dobrego stanu ekologicznego wód i charakterystycznych dla nich biocenoz, potrzebą zachowania istniejącej rzeźby terenu oraz biologicznych stosunków w środowisku wodnym i na obszarach zalewowych”. Wynika z tego, że podejmując inwestycje z zakresu melioracji lub też ustalając zasady eksploatacji systemu melioracyjnego zgodnie z polskim prawem, należy mieć na uwadze nie tylko interes rolnictwa, który polega na polepszeniu zdolności produkcyjnej gleby, ale także interes środowiska przyrodniczego, wyrażony potrzebą zachowania zróżnicowanych biocenoz polnych i łąkowych [11, 12, 24, 28]. Specyfika

systemów melioracyjnych polega na tym, że ich sprawność jest uzależniona od stanu urządzeń zlokalizowanych na działkach wielu właścicieli. Dlatego Prawo wodne zobowiązuje właścicieli do właściwego utrzymania urządzeń melioracji szczegółowych na ich gruncie i przewiduje możliwości prawne do egzekwowania tego obowiązku.

Zmiany klimatu, a gospodarowanie wodą

Na podstawie analiz warunków wodnych dla potrzeb rolniczo-melioracyjnych w Polsce Ostromięcki przedstawił w 1973 roku następującą opinię [34]: „W perspektywie niezbyt odległej, wobec ogólnego zwiększonego poboru wody na potrzeby gospodarki narodowej oraz w związku z dalszą intensyfikacją rolnictwa i melioracjami osuszającymi (drenowanie), pogłębią się dysproporcje okresowe w pozycjach przychód – rozchód. W rezultacie przesuniemy się niejako do strefy wyraźnie deficytowej w pewnych okresach roku, a nawet może deficytowej w seriach kilkuletnich”. Opinia Ostromięckiego była trafna, a wskutek wyraźnego ocieplenia, jest coraz bardziej aktualna, niezależnie od okresowo występujących nadmiarów opadów.

Zmiany klimatu będą wywierały silny wpływ na rolnictwo, jakkolwiek w środowisku naukowym brak jest pewności odnośnie zakresu i kierunków tego oddziaływania. Przeważa pogląd, że w skali ogólnej spodziewane globalne ocieplenie może lokalnie wpłynąć korzystnie na gospodarkę rolną zwiększając potencjał produkcyjny rolnictwa. Jednakże prognozy wskazują, że zmianom klimatu towarzyszyć będzie wzrost natężenia i częstotliwości zjawisk ekstremalnych (silne przymrozki, upały, gwałtowne ulewy, susze), które w istotny sposób zwiększą ryzyko produkcyjne w rolnictwie [2, 19, 35, 37].

Obecnie w Polsce występuje trend zmniejszania się zasobów wodnych, a jedną z najważniejszych przyczyn tego zjawiska, oprócz działalności antropogenicznej, jest podwyższanie się temperatury powietrza. Prognozy zmian klimatycznych wskazują na konieczność opracowania nowej strategii dotyczącej przedsięwzięć ograniczających skutki hydrologicznych zjawisk ekstremalnych (powodzie i susze) zarówno na obszarach zurbanizowanych jak i niezurbanizowanych [21, 25, 36, 38]. Ważnym elementem takiej strategii powinno być uwzględnienie interakcji między gospodarowaniem wodą na obszarach zurbanizowanych i niezurbanizowanych, a przede wszystkim zaproponowanie innowacyjnych rozwiązań łagodzących skutki urbanizacji, zmian w użytkowaniu gruntów oraz zmian klimatycznych. Zdaniem Okruszko i Kijańskiej [33] szanse na skuteczne przeciwdziałanie zmianom klimatycznym w najbliższych dziesięcioleciach należy uznać za niewielkie przede wszystkim z powodu bezwładności systemu klimatycznego, a działania powinny być skierowane na zmniejszanie dolegliwości zmian klimatu poprzez adaptację gospodarowania wodą do przyszłych zmienionych warunków. Działania te można przeprowadzić w trzech zasadniczych obszarach: planowania i regulacji prawnych, działaniach nietechnicz-

nych i organizacyjnych oraz przedsięwzięciach technicznych. Istotne znaczenie mogą mieć przyjazne dla środowiska działania nietechniczne. Obecne wyzwanie polega w mniejszym stopniu na pytaniu, jakie należy podjąć działania nietechniczne (odtworzenie mokradeł, przywracanie połączeń pomiędzy rzeką a terenem zalewowym, przywracanie rzekom naturalnego (meandrującego) biegu, regulowanie odpływu z systemów melioracyjnych, tworzenie i odtwarzanie oczek wodnych oraz śródpolnych zadrzewień, a także różnorakie zabiegi fito- i agromelioracyjne), aby gromadzić wodę w zlewni w okresach jej nadmiaru, wykorzystując naturalne cechy krajobrazu, ale jak to uczynić kosztem jego niektórych funkcji produkcyjnych, zwłaszcza rolniczych [33]. Świadczenie usług środowiskowych przez rolnictwo (m.in. magazynowanie wody w systemach melioracyjnych) ogranicza trudność wyceny usług środowiskowych, a także trudność wyceny dodatkowych strat związanych z ograniczaniem jego naturalnych funkcji, np. wskutek przedsięwzięć zmniejszających właściwości infiltracyjne terenu.

Podjęcie działań adaptacyjnych w rolnictwie napotyka dwa podstawowe problemy: źródeł finansowania działań adaptacyjnych i uznania, że zmiany klimatu spowodują realne straty w rolnictwie. Finansowanie działań adaptacyjnych w rolnictwie przyniesie korzyści przede wszystkim rolnikom, ale pośrednio służyć będzie dobru publicznemu poprzez ograniczenie wpływu na środowisko negatywnych zjawisk zachodzących w rolnictwie. W związku z tym działania adaptacyjne powinny być finansowane zarówno przez samych zainteresowanych, jak również ze środków publicznych [14].

Wdrażanie dyrektyw Unii Europejskiej

Konieczność spełniania wymagań środowiskowych Unii Europejskiej, wdrażania polityki zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich w ramach Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej i przyjęcie regionalnej strategii Zrównoważonego Rozwoju Regionu Bałtyckiego wymusiły radykalne zmiany w podejściu do gospodarowania wodą w rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Zniknęły sektorowe (niezależne od siebie) programy melioracji, mechanizacji, elektryfikacji na rzecz kompleksowego rozwiązywania problemów obszarów poprzez unijny kompleksowy program inwestowania na obszarach nieurbanizowanych w postaci Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich. Projekty z zakresu melioracji wodnych w ramach PROW są realizowane w ramach działania Poprawa i rozwijanie infrastruktury związanej z rozwojem i dostosowaniem rolnictwa i leśnictwa w schemacie Gospodarowanie rolniczymi zasobami wodnymi. Projekty powinny dotyczyć niemal wszystkich urządzeń wodnych, wymienionych w Prawie wodnym [31]. Należy tu podkreślić, że obowiązujące obecnie Prawo wodne nie sprzyja należytemu utrzymaniu urządzeń melioracji szcze-gółowych i ich ochrony przed przyspieszoną dekapitalizacją. Struktura własności gruntów sprawia, że konserwacja urządzeń systemu melioracyjnego wymaga zorga-

nizowanych działań akceptowanych przez wszystkich właścicieli. Ze względu na różny stopień zainteresowania, konieczne jest stworzenie podstaw i warunków do skutecznego zarządzania i egzekwowania obowiązków w zakresie eksploatacji i konserwacji urządzeń. Na istotne znaczenie tego problemu wskazuje wartość urządzeń melioracyjnych. Koszty inwestycyjne urządzeń melioracji szczegółowych w Polsce według poziomu cen 2007/2008 szacuje się na 64 mld zł, w tym 54,4 mld ze środków budżetowych. Istniejące systemy melioracyjne na skutek ułomności w systemie zarządzania i braku należytego dofinansowania od około 1985 roku ulegają systematycznej destrukcji technologicznej [44].

Innym ważnym problemem związanym z inwestycjami służącymi racjonalnemu gospodarowaniu wodą na obszarach wiejskich są utrudnienia administracyjne. Przykładowo, okres przygotowania do realizacji małego zbiornika wodnego (od decyzji o ustaleniu realizacji celu publicznego po decyzję o pozwoleniu na budowę) wynosi nawet 2–3 lata. Do głównych utrudnień w procesie przygotowania inwestycji, poza procedurami administracyjnymi zalicza się także skomplikowane i długotrwałe procedury pozyskiwania gruntów pod przyszłe przedsięwzięcia [39].

Wszystkie gospodarstwa korzystające z płatności obszarowych muszą spełniać wymogi Dobrej Kultury Rolnej, a gospodarstwa korzystające z dopłat z tytułu położenia na obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW) wymogi Zwykłej Dobrej Praktyki Rolniczej. W przypadku wdrażania w gospodarstwach rolnych określonych pakietów rolnośrodowiskowych i otrzymywania dopłat z tego tytułu, stosowane wymogi, które trzeba spełniać są jeszcze wyższe niż Zwykła Dobra Praktyka Rolnicza. Zasada wzajemnej zgodności (cross-compliance) obowiązująca polskich rolników od 1 stycznia 2009 roku oznacza powiązanie wysokości uzyskiwanych płatności bezpośrednich, a także płatności otrzymywanych w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) na lata 2007–2013 ze spełnieniem przez beneficjentów określonych wymogów w tym środowiskowych. Ochrona środowiska obejmuje m.in. ochronę wód gruntowych przed substancjami niebezpiecznymi, do których zalicza się również ścieki wytwarzane na obszarach wiejskich (bytowe, opadowe, ciekłe odchody zwierzęce nie wykorzystane rolniczo, odcieki ze składowisk odpadów, odpływy ze stawów rybnych). Polityka UE w zakresie rozwoju obszarów wiejskich stwarza szanse dla wielu małych i średnich gospodarstw na dalszy rozwój i sprzyja ochronie środowiska przyrodniczego, zmniejszając ryzyko zanieczyszczenia wody, głównego zasobu krajobrazu rolniczego, decydującego o bioróżnorodności. W Polsce planuje się, że programami rolnośrodowiskowymi do roku 2013 objętych zostanie ok. 20% gospodarstw i 5% użytków rolnych.

Zagadnienia środowiskowe dotyczące zachowania bioróżnorodności zapisane zostały w Krajowym Planie Strategicznym Rozwoju Obszarów Wiejskich (KPSROW) na lata 2007–2013. Wskazano w nim rolę i znaczenie obszarów wiejskich „w zachowaniu i odtwarzaniu walorów krajobrazowych oraz zasobów przyrody, to jest zachowanie dobrego stanu ekologicznego wód i gleb, bogactwa siedlisk i różnorodności

biologicznej, a także dziedzictwa kulturowego”. Generalnym założeniem wsparcia dla obszarów wiejskich, jakie jest kierowane w ramach osi Środowisko jest przyczynianie się do poprawy stanu środowiska oraz promowanie zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. Zgodnie z zapisami w KPSROW na pierwszym miejscu stawiane jest wprowadzenie instrumentów, które będą sprzyjały zachowaniu i poprawie stanu siedlisk przyrodniczych i ostoi gatunków, a także takich, które będą służyły wdrażaniu polityki UE dotyczącej ochrony dobrego stanu wód i gleb oraz działań przeciwoerozyjnych. W celu utrzymania ciągłości użytkowania rolnego gruntów słabszych, których dalsze użytkowanie ma znaczenie zarówno środowiskowe, jak i społeczne, przewiduje się wsparcie dla rolników na nich gospodarujących. Przewiduje się również popieranie działań przyczyniających się do wzrostu lesistości, ochrony i zachowania bioróżnorodności biologicznej lasów, a także przeciwdziałania zmianom klimatycznym, odtwarzania potencjału produkcji leśnej zniszczonego katastrofami oraz zapobieganiu możliwym przyszłym katastrofom. Próba prognozowania długoletnich skutków wprowadzenia Dobrych Praktyk Rolniczych i działań rolnośrodowiskowych na tle prognozowanych przekształceń obszarowych i zmian charakteru produkcji rolniczej wywołanych zmianami klimatu w małej zlewni rolniczej położonej na stokach Wzgórz Trzebnickich (woj. dolnośląskie) wykazała, że wprowadzenie działań rolnośrodowiskowych w skali zlewni spowoduje zwiększenie retencji powierzchniowej i glebowej. Natomiast brak działań ochronnych lub wzrost intensywności rolnictwa spowoduje zwiększenie denudacji nawet o 50% w stosunku do wariantu z działaniami rolnośrodowiskowymi. Analiza tendencji zmian denudacji w czasie na podstawie obliczeń modelowych wskazuje, że zjawiska erozyjne mogą się nasilać wraz pogłębianiem się zmian klimatycznych [43].

Podsumowanie

Z przeglądu problemów dotyczących gospodarowania wodą w obszarach wiejskich wynika, że istnieje szereg współczesnych uwarunkowań, które z jednej strony ograniczają poprawę złego stanu infrastruktury wodnej, ale także istnieją inne wymuszające pozytywne zmiany w tym zakresie. Do pierwszej grupy czynników decydujących o obecnym stanie urządzeń melioracji podstawowych i urządzeń szczegółowych należy niewątpliwie zaliczyć ogólny stan rolnictwa i efektywność gospodarstw rolniczych. Ograniczenia produkcyjne związane ze wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej, konieczność ostrej konkurencji na rynku produktów rolnych oraz słaba kondycja ekonomiczna gospodarstw rolnych niewątpliwie kształtują proces degeneracji urządzeń wodnych i zapotrzebowanie na precyzyjne gospodarowanie wodą. Czynnikiem wymuszającym poprawę jest konieczność osiągnięcia celów dyrektyw Unii Europejskiej, w tym tzw. azotanowej, wodnej, powodziowej i innych. W sytuacji sprawdzenia się prognoz zmian klimatu, a zwłaszcza jego ocieplenia, niezwykle poważnie powinny być realizowane programy do walki z suszą, obejmujące inwestycje dotyczące retencji wodnej, wodooszczędnych nawodnień, modernizacji syste-

mów drenarskich, zamiany odwodnień rowami na regulowany odpływ itp. Istotne zmiany w gospodarowaniu wodą będą niezbędne, jeśli znacząco będzie się zwiększał areal upraw energetycznych. W tym kontekście celowe jest opracowanie i wdrożenie Kodeksu Dobrych Praktyk w Melioracjach i Gospodarce Wodnej Rolnictwa. Istnieje także pilna potrzeba opracowania przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi Polityki Gospodarowania Wodą w Obszarach Wiejskich stanowiącej uzupełnienie opracowywanego obecnie przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, który podlega nadzorowi Ministra Środowiska dokumentu Polityki wodnej państwa do roku 2030. Gospodarka wodna na obszarach wiejskich, realizowana głównie przez administrację samorządową, w skali regionalnej lub lokalnej, różni się bowiem znacznie od celów i zadań gospodarki wodnej realizowanej przez administrację rządową w skali całego kraju lub głównych dorzeczy.

Literatura

- [1] Agenda 21 for the Baltic Sea Region. 1998. Sector report – Agriculture Baltic 21, Series No. 2: 119 ss.
- [2] Bański J., Błażejczyk K. 2005. Globalne zmiany klimatu, wpływ na rozwój rolnictwa na świecie. W: Wpływ procesu globalizacji na rozwój rolnictwa na świecie. G. Dybowski (red.), IERiGŻ PIB, Warszawa: 204–231.
- [3] Borecki T., Pierzgalski E., Żelazo J. 2004. Woda jako strategiczny czynnik rozwoju obszarów nieurbanizowanych. *Gosp. Wodna* 6: 221–227.
- [4] Borek R. 2009. Wpływ uprawy wierzby i miskanta na bilans wody w glebie. *Post. Nauk Rol.* 5–6: 97–108.
- [5] Brandyk T., Mosiej J. 2002. Wybrane problemy ochrony środowiska w aspekcie integracji z Unią Europejską. *Wiad. Mel. i Łąk.* 4: 170–173.
- [6] Brandyk T., Kaca E., Pierzgalski E., Walczak R. 2005. Regulacja bilansu wodnego w obszarach wiejskich. *Post. Nauk Rol.* 3: 46–60.
- [7] Dąbkowski Sz.L. 1994. Optymalne użytkowanie rolnicze gruntów w zlewni rzecznej z punktu widzenia strategii ochrony wód śródładowych. W: Zintegrowana strategia ochrony i zagospodarowania ekosystemów wodnych. *Bibl. Monit. Środ. WIOŚ, Łódź*: 35–41.
- [8] Faber A. 2008. Przyrodnicze skutki uprawy roślin energetycznych. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 11: 43–53.
- [9] Hobot A. (red.) 2008. Program wodno-środowiskowy kraju. KZGW Warszawa: 98 ss.
- [10] Hukuć-Błażowska A., Cymerman R. 2009. Analiza i ocena stanu uwzględniania uwarunkowań wodnych w procedurze planistycznej. W: Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju. D. Kielczewski, B. Dobrzańska (red.). Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku: 134–144.
- [11] Ilnicki P. 1987. Warunki techniczne prowadzenia robót z zakresu melioracji i gospodarki wodnej na terenach o szczególnych wartościach przyrodniczych. PIOS Warszawa. 180 ss.
- [12] Ilnicki P. 2004. Zagrożenia wynikające z melioracji gruntów ornych. W: Polskie rolnictwo a ochrona środowiska. Wyd. Akademii Rolniczej w Poznaniu: 370–372.
- [13] Kaca E., Łabędzki L., Chrzanowski S., Czaplak I., Kasperska-Wołowicz W. 2003. Gospodarowanie zasobami wody użytkowej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozpr. i Mon. Wyd. IMUZ* 9: 116 ss.
- [14] Karaczun Z., Wójcik B. 2009. Dobry klimat dla rolnictwa. InRE, Warszawa: 48 ss.
- [15] Kędziora A. 2005. Przyrodnicze podstawy gospodarowania wodą w Polsce. W: Ochrona środowiska w gospodarce przestrzennej. ZBSRiL, PAN Poznań: 75–113.
- [16] Kędziora A., Ryszkowski L., Przybyła Cz. 2005. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych i ich jakości w krajobrazie rolniczym. W: Gospodarowanie wodą w Wielkopolsce. Wyd. ABRYS: 16–25.
- [17] Kostuch R. 2009. Sprzężenia zwrotne występujące pomiędzy działalnością antropogeniczną a środowiskiem. *Wiad. Mel. i Łąk.* 3: 130–131.
- [18] Kowalik P. 2003. Dyrektywa wodna Unii Europejskiej a rolnictwo. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 3–7.

- [19] Łabędzki A., Łojek W. 2000. Sterowanie nawodnieniami podsiągowymi użytków zielonych w dolinie Noteci Górnej. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 16–19.
- [20] Łoś M. 2004. Ramowa Dyrektywa Wodna a istotne dla rolnictwa obiekty wodne. *Gosp. Wodna* 6: 233–243.
- [21] Łoś M. 2005. Wybrane problemy wdrożenia Ramowej Dyrektywy Wodnej. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 8–11.
- [22] Łoś M. 2007. Podstawowe i szczegółowe uwarunkowania nawodnień torfowisk. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 8–12.
- [23] Łoś M. 2008. Perspektywy rozwoju melioracji i łąkarstwa w warunkach nowej polityki energetycznej. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 42–46.
- [24] Marcilonek S. 1995. Rola melioracji w zakresie ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczo-rolniczego. W: Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego. Wyd. AR Wrocław: 161–180.
- [25] Mioduszewski W. 2004. Problemy gospodarki wodnej w rolnictwie w kontekście Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW). W: Woda i kataklizmy. Komitet Gospodarki Wodnej PAN: 35–48.
- [26] Mioduszewski W. 2002. Kształtowanie zasobów wodnych w obszarach rolniczych. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 39–41.
- [27] Mioduszewski W. 2008. Kilka uwag dotyczących gospodarowania rolniczymi zasobami wodnymi. *Wiad. Mel. i Łąk.* 4: 193–198.
- [28] Mioduszewski W. 2005. Gospodarka wodna w obszarach wiejskich. *Przeł. Nauk. – Inż. i Kształt. Środ.* 1(31): 5–18.
- [29] Mosiej J. 2007. Działania rolnośrodowiskowe szansą zrównoważonego rozwoju sektora rolniczego, wsi i gospodarstw rolnych. W: Zasoby przyrodnicze szansą zrównoważonego rozwoju. P. Hewelke (red.). Wyd. SGGW: 83–95.
- [30] Mosiej J., Somorowski Cz. 2001. Aktualne problemy gospodarowania wodą w rolnictwie dla zrównoważonego i wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 2–7.
- [31] Niedzielski K. 2008. Perspektywy rozwoju gospodarowania rolniczymi zasobami wodnymi w świetle PROW 2007–2013. *Wiad. Mel. i Łąk.* 3: 115–117.
- [32] Nyc K., Podkładek R. 2001. Ekologiczne skutki stosowania regulowanego odpływu w dolinach rzecznych. *Wiad. Mel. i Łąk.* 4: 155–157.
- [33] Okruszko T., Kijańska M. 2009. Zmiany klimatu a gospodarowanie wodami. InRE, Warszawa: 44 ss.
- [34] Ostromecki J. 1973. Podstawy melioracji nawadniających. PWRiL, Warszawa: 56–58.
- [35] Pierzgański E. 2003. Ograniczenia gospodarowania wodą związane z konwencjami i programami ochrony przyrody. *Wiad. Mel. i Łąk.* 2: 3–6.
- [36] Pierzgański E., Żelazo J. 2008. Uwarunkowania i kierunki ochrony przed powodzią. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 15–20.
- [37] Pierzgański E. 2009. Gospodarka wodna wsi i rolnictwa, a zmiany klimatu. W: Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich. A. Harasim (red.), IUNG-PIB, Puławy: 105–116.
- [38] Pierzgański E. 2010. Zasoby wodne a rozwój rolnictwa. W: Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 19: 91–105.
- [39] Przybyła C., Mrozik K., Tymczuk Z., Sosiński M. 2008. Uwarunkowania formalno-prawne przygotowania inwestycji małej retencji wodnej. *Wiad. Mel. i Łąk.* 3: 118–123.
- [40] Rajda W. 2005. Woda w zagospodarowaniu przestrzennym obszarów wiejskich. *Post. Nauk Roln.* 3: 33–42.
- [41] Rotko J. 2003. Prawne uwarunkowania melioracji wodnych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, IMUZ Falenty t.3, z. 2(8): 143–155.
- [42] Somorowski Cz. (red.) 2003. Współczesne problemy melioracji. Wyd. SGGW: 256 ss.
- [43] Szewrański S., Żmuda R. (red.) 2008. Prognozowanie efektów środowiskowych spowodowanych wprowadzeniem zasad dobrych praktyk rolniczych. Wyd. UP we Wrocławiu: 85 ss.
- [44] Wierzbicki K., Michaluk P. 2010. Zarządzanie eksploatacją budowli liniowych na przykładzie spółek wodnych. W: Organizacja w obliczu współczesnych wyzwań. M. Geryka (red.), Wyd. Wyższej Szkoły Zarządzania w Gdańsku: 106–118.

Contemporary issues of water management in rural areas

Key words: rural areas, sustainable agriculture, water management

Summary

A review of problems concerning water management in rural areas shows that there are a number of contemporary conditions, which on one hand limit the improvement of poor condition of water infrastructure, but also there are other forcing a positive change in this regard. To the first group of factors determining the current state of water measures should be include the general state of agriculture and the efficiency of farms. Production restrictions related to Polish accession to the European Union, the need of competition in the market for agricultural products and poor economic condition of farms undoubtedly shape the process of degeneration of the water facilities and the demand for precision water management. Forcing factor is the need achievement of the objectives of European Union directives, between others Frame Water Directive. In case of checking the predictions of climate change, and in particular global warming, very seriously to be implemented programmes to combat drought, including investments in water retention, water-saving irrigation, upgrading drainage systems etc. It is advisable to develop and implement the Policy of Water Management in Rural Areas as well as a Code of Good Practice in Water Management in Agriculture. Water management in rural areas, carried out mainly by local government on the regional or local level, differ significantly from the objectives and tasks of water management implemented by the government for the whole country or major river basins.

Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych

Edmund Kaca¹, Leszek Łabędzki², Izabela Lubbe¹

¹ *Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach,
Al. Hrabaska 3, Falenty, 05-090 Raszyn,
e-mail: e.kaca@itep.edu.pl*

² *Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy ITP,
ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz,
e-mail: l.labedzki@itep.edu.pl*

Słowa kluczowe: pogoda, rolnictwo, woda, zmiany klimatu

Wprowadzenie

Nadzwyczajne zagrożenia i katastrofy związane z pogodą zawsze towarzyszyły człowiekowi. Postępującym zmianom klimatu towarzyszyć będzie wzrost częstości i natężenia ekstremalnych zjawisk pogodowych. Spośród wielu niekorzystnych zjawisk największe zagrożenie dla rolnictwa powodują susze meteorologiczne oraz będące ich następstwem susze glebowe i rolnicze, przymrozki, gradobicia, nadmierne opady powodujące powodzie, lokalne zalania i podtopienia, huragany. Zjawiska te w istotny sposób zwiększają ryzyko produkcyjne w rolnictwie.

Ta tendencja wpisuje się w ogólny trend występowania na kuli ziemskiej, z coraz większą częstotliwością, ekstremalnych zjawisk meteorologicznych, wywoływanych zarówno przez czynniki naturalne jak i antropogeniczne (efekt cieplarniany). Obecnie antropopresji przypisuje się coraz większe znaczenie w globalnych zmianach klimatu, które to zmiany wywołują narastanie częstości i intensywności ekstremalnych zjawisk – susz i nadmiaru opadów, w skali lokalnej i regionalnej. Zaobserwowane i udokumentowane tendencje wzrostu temperatury oraz zmniejszania ilości opadów przy niekorzystnej zmianie ich rozkładu sezonowego w ciągu roku, świadczą o dostrzegalnych zmianach klimatu [9]. Wiążąc te zmiany ze wzrostem liczby ludności na świecie i ich aktywnością (uprzemysłowienie), można z dużym prawdopodobieństwem wnioskować o wzrastającym wpływie antropopresji na zmiany klimatu, a tym samym na wzrost zagrożenie ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi, o ujemnych skutkach dla ilości i jakości zasobów wodnych, dla agroekosystemów oraz dla

działalności rolniczej. Wiele wskazuje na to, że te zjawiska mogą w Polsce nadal nasilać się i będzie to trend wieloletni.

Każde z tych zjawisk cechuje odrębna specyfika i każde wywołuje różne, zazwyczaj ujemne, skutki w rolnictwie, zwłaszcza w produkcji roślinnej. Ich oddziaływanie na środowisko i agroekosystemy w danym regionie, zależy nie tylko od czasu trwania, natężenia i zasięgu przestrzennego, ale również od podatności środowiska, społeczeństwa i rolnictwa na ujemne działanie tych zjawisk. Nie mamy wpływu na pojawienie się tych zjawisk, ale wrażliwość na nie jest zdeterminowana wieloma czynnikami społecznymi, gospodarczymi, technologicznymi, politycznymi (np. niewłaściwe użytkowanie ziemi, nieracjonalne gospodarowanie wodą, w tym brak właściwego zarządzania i administrowania jej poborem, niedostosowanie rodzaju upraw do naturalnych siedlisk i warunków w nich panujących, zła lokalizacja gospodarstw), na które można mieć wpływ, regulować je i nimi sterować. Czynniki te są zmienne w czasie, w związku z czym wrażliwość na zjawiska ekstremalne i ryzyko ich ujemnych skutków może zwiększać się lub zmniejszać. Skutki tych zjawisk mogą więc być różne, nawet jeśli czas ich trwania, natężenie i zasięg przestrzenny będą identyczne.

W dziedzinie gospodarowania wodą w rolnictwie, szczególne zainteresowanie powinno być zwrócone na susze oraz nadmierne opady. Systematyczne obserwacje z ostatniego pięćdziesięciolecia wskazują na nasilanie się na obszarze naszego kraju tych zjawisk. Susze oraz powodzie, lokalne zalania i podtopienia terenu pojawiają się coraz częściej, są coraz intensywniejsze i obejmują znaczne obszary kraju; wywołują ujemne skutki w rolnictwie, zwłaszcza w produkcji roślinnej.

Praca niniejsza poświęcona jest zdefiniowaniu obszarów problemowych gospodarowania wodą w rolnictwie w obliczu występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, identyfikacji problemów, wskazaniu kierunków działań mających na celu przeciwdziałanie ujemnym skutkom tych zjawisk oraz wskazaniu kierunków studiów i badań w tym zakresie.

Rodzaje susz i powodzi

W zależności od wielkości niedoboru opadów oraz ich rozkładu w wieloletnim, roku czy okresie wegetacyjnym oraz jego wpływu na atmo-, hydro-, pedo- i agrosferę, wyróżnia się suszę meteorologiczną, hydrologiczną, glebową lub rolniczą. Bezpośrednim skutkiem suszy jest zakłócenie bilansu wodnego obszaru, spowodowane niedoborem opadów i dużym parowaniem terenowym (susza meteorologiczna), a także nadmierne przesychnianie gleb (susza glebowa) oraz obniżanie poziomu wód gruntowych i zmniejszenie przepływu wody w rzekach (susza hydrologiczna). W rolnictwie przez suszę rozumie się niedobór wody niekorzystnie wpływający na wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Wyróżnia się jeszcze suszę socjoekonomiczną, w warunkach ograniczonej dostępności i zapotrzebowania na dobra ekonomiczne, które zależą od innych rodzajów susz.

Najczęściej susze definiuje się jako okres bezopadowy lub o małych opadach, powodujący znaczny spadek dostępności wody w określonym czasie i obszarze [19]. Do oceny intensywności i częstotliwości suszy stosuje się różne wskaźniki. Bazują one na wielkościach meteorologicznych (opad, temperatura, parowanie potencjalne lub wskaźnikowe), hydrologicznych (przepływy, stany wody, pojemności zbiorników wodnych), glebowych (zdolności retencyjne gleby, wilgotność gleby), rolniczych (ewapotranspiracja, zapasy wody glebowej dostępne dla roślin, bilans wody glebowej), ekonomicznych (straty w plonach roślin, produkcji przemysłowej), społecznych (niedobór wody dla celów pitnych i sanitarnych).

Obecnie powódzie definiuje się jako wszelkie wystąpienia wody na powierzchni terenu. Jeśli powszechnie przez powódzie rozumie się wystąpienie wody z koryta rzeki lub czaszy zbiornika i zalanie sąsiadujących terenów, to w szerszym ujęciu należy mówić o okresowych zalaniach obszaru, spowodowanych nadmiernymi opadami lub innymi przyczynami związanymi z okresowym nadmiernym przychodem wody na dany obszar, który znacznie przewyższa możliwości jej rozchodu w drodze parowania lub odpływu powierzchniowego i gruntowego. Zalanie to dotyczy obszarów, które w normalnych warunkach nie charakteryzują się nadmiarowym bilansem wodnym (przewagą przychodu nad rozchodem wody) i których naturalne właściwości nie predestynują do takiej kwalifikacji (chodzi o wyłączenie z definicji powodzi obszarów charakteryzujących się w sposób naturalny dodatnim bilansem wodnym, np. obszarów mokradłowych). Wyróżnia się różne rodzaje powodzi, w zależności od zasięgu (lokalne, regionalne, krajowe), wielkości (zwyčajne, wielkie, katastrofalne), pory roku (półrocza zimowego i letniego) oraz przyczyn je wywołujących (opadowe, roztopowe, zatorowe).

Susze i powódzie w Polsce

Zjawiska suszy na terenie Polski notowano w kronikach od XIV wieku. Susza w Polsce pojawia się raz na 4–5 lat, przy czym obserwuje się ciągi lat z niedoborem opadu wywołującym susze i następujące po nich ciągi lat z nadmiarem opadu lub z opadem zbliżonym do średniego [1, 2, 5, 8, 10, 11, 15, 18]. W ostatnich 60 latach głębokie susze wystąpiły w Polsce w latach: 1951, 1953, 1959, 1963, 1964, 1969, 1971, 1976, 1982–1984, 1989, 1991, 1992, 1994, 2000, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2010.

Najbardziej posusznymi regionami Polski są: prawie cała środkowa, północno-zachodnia i środkowo-wschodnia Polska. Są to regiony najbardziej zagrożone występowaniem suszy. Susze występują tutaj najczęściej i charakteryzują się największą intensywnością.

Ujemne skutki susz w rolnictwie ujawniają się w postaci zmniejszenia plonu upraw i zależą od gatunku roślin, rodzaju gleb i regionu geograficznego. Susze jesienne i wczesnowiosenne na ogół wywołują zmniejszenie plonów zbóż ozimych, wiosenne zaś – zbóż jarych, pierwszego odrostu siana oraz wydajności pastwisk.

Susze letnie wpływają zwykle ujemnie na plon ziemniaków, buraków cukrowych i drugiego odrostu siana, a także pastewnych upraw polowych.

Susze w latach 1951–2006 charakteryzowały się różnym nasileniem, różnym czasem trwania i okresem wystąpienia. W tym okresie stwierdzono wystąpienie 30 susz atmosferycznych. Łączny czas ich trwania wyniósł około 200 miesięcy, co stanowi 30% analizowanego okresu [6, 11]. Najdłużej trwające susze wystąpiły w latach: 1982 – 11 miesięcy, 1959 – 10 miesięcy, 1951–1952 – 9 miesięcy, 1954 – 9 miesięcy, 1983 – 7 miesięcy, 1989 – 7 miesięcy. Susze te charakteryzowały się różnym nasileniem, czasem trwania i okresem wystąpienia. Jednak najsilniejsza i o największym zasięgu susza wystąpiła w 1992 roku; przybrała ona charakter kłęski i objęła swym zasięgiem prawie cały obszar Polski, przy czym najbardziej dotkliwe skutki wystąpiły w północno-zachodniej i środkowej części kraju. W niektórych regionach trwała ona nawet przez cały okres wegetacyjny (kwiecień–wrzesień).

W dwóch bardzo suchych latach 1982–1983 średni spadek plonów zbóż wynosił w różnych regionach Polski 5–30%, a ziemniaków – 10–40%, w stosunku do plonów w latach średnich 1985–1987 [8, 17]. Na Kujawach i w północnej Wielkopolsce w sezonie wegetacyjnym 1982 roku opady były prawie o połowę mniejsze od średnich opadów z lat 1951–1990. W bardzo suchym 1989 roku, w którym wielkość opadów odpowiadała prawdopodobieństwu mniejszemu od 1%, w dolinie Górnej Noteci, obejmującej część Kujaw i Wielkopolski Północnej, plon siana z nienawadnianych użytków zielonych wynosił około $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, podczas gdy w średnim roku 1987 uzyskano w tym regionie $8\text{--}10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Ocenia się, że susza 1992 roku spowodowała zmniejszenie zbiorów ziemiopłodów o 25%. Łączne zbiory zbóż, ziemniaków i pasz objętościowych, wyrażone w jednostkach zbożowych, w 1992 roku w porównaniu z rokiem 1991 zmniejszyły się o 31%. Plony siana z łąk (średnio w kraju) obniżyły się o 27% w stosunku do średniej z lat 1986–1990. W rejonie Kujaw długotrwałej suszy w 1992 roku towarzyszyły wysoka temperatura powietrza i gleby, bardzo duże nasłonecznienie i ujemny klimatyczny bilans wodny. Od połowy kwietnia występowały opady nieprzekraczające 50% normy, a w drugiej połowie okresu wegetacyjnego ilość opadów stanowiła 40–55% średniej z wielolecia [12]. W regionie zlewni Górnej Noteci w warunkach nawodnień uzyskano $6\text{--}10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ siana, podczas gdy z użytków zielonych nienawadnianych na lepszych glebach uzyskano nie więcej niż $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ siana, a na gorszych rośliny zasychały.

Susze w latach 2005–2006 spowodowały znaczne straty w rolnictwie, zwłaszcza w województwach lubuskim, kujawsko-pomorskim, pomorskim, podlaskim i wielkopolskim. Według ocen Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, w 2006 roku z powodu kilkutygodniowych upałów i braku opadów w czerwcu i lipcu, największe straty w plonach wystąpiły na łąkach i pastwiskach (40–100%), zbóż jarych (20–60%), zbóż ozimych (15–50%), rzepaku (15–45%), ziemniaków i buraków cukrowych (20–60%), warzywa (30–60%).

Występowanie powodzi notuje się w Polsce od X wieku, ale systematyczne obserwacje i zapisy dokumentują występowanie tego zjawiska od XIX w. W XX wieku wystąpiło około 35 powodzi o charakterze katastrofalnym, przy czym powodzi o różnym stopniu nasilenia i zasięgu wystąpiło prawie 600 w drugiej połowie tego stulecia. Powodzie opadowe półrocza letniego występują najczęściej w południowej Polsce, w dorzeczu górnej Wisły oraz górnej i środkowej Odry, natomiast wiosenne powodzie roztopowe w środkowej części kraju. Średnio w dorzeczu Wisły większe powodzie zdarzają się co 5 lat, a w dorzeczu Odry co 7 lat [4, 16]. Zjawiska lokalnych zalań czy podtopień terenu na skutek krótkotrwałych nawalnych deszczy lub długich okresów opadowych mogą zdarzać się w każdym regionie Polski, ale szczególnie w obszarach nizinnych. Charakteryzują się one dużą czasową nieregularnością występowania, co praktycznie uniemożliwia jakiegokolwiek przewidywania i oceny ryzyka ich występowania. Przykładem takiego zjawiska może być zalanie znacznych obszarów łąk w dolinie górnej Noteci i dolnej Wisły na skutek bardzo intensywnych opadów w czerwcu i lipcu 1980 r. W rejonie Bydgoszczy jeden dobowy opad 15 czerwca tego roku wyniósł 93 mm, a suma opadu w czerwcu – 317 mm. Opady te spowodowały utrzymywanie się zalania i podtopienia do końca września.

Skutki podtopień, zalań i powodzi są bardzo zróżnicowane i zależą głównie od okresu, w którym te zjawiska wystąpiły, czasu ich trwania, zasięgu i od zagospodarowania terenu. W okresie powodzi letnich związanych z wystąpieniem wody z koryta rzeki dominują straty rolnicze (częściowa lub całkowita strata plonów), w okresie powodzi zimowo-wiosennych straty na obszarach rolniczych dotyczą infrastruktury technicznej, przemysłu, transportu, budownictwa. Lokalne podtopienia i zalania terenu w wyniku ulewnych opadów w różnych porach roku mogą powodować głównie obniżenie lub straty plonów.

W ostatnich 50 latach występowały w Polsce wszystkie możliwe rodzaje powodzi. Jako przykład zimowych powodzi można podać powódź w marcu i kwietniu 1979 r. i w styczniu 1982 r. Powódź roztopowa w 1979 r. spowodowana była dużymi opadami śniegu i niską temperaturą powietrza zimą 1978/1979, co doprowadziło do dużego nagromadzenia zapasów wody w pokrywie śnieżnej. Ocieplenie na początku marca spowodowało nagłe topnienie śniegu i bezpośredni spływ wody do rzek w warunkach zamrożonej gleby. Wysokie stany wody w ciekach spowodowały zalanie znacznych obszarów zlewni Warty, Noteci, Narwi i Bugu. Na Wiśle w okolicy Włocławka powstał zator, który spowodował zagrożenie na odcinku od Wyszogrodu do Płocka. Straty spowodowane przez tę powódź ocenia się na 5 mld zł, z czego około 60% to straty w rolnictwie (wg ówczesnych cen) [3].

Drugi przykład powodzi zimowej to powódź zatorowo-śryżowa w styczniu 1982 r. w dorzeczu Wisły Środkowej, spowodowana zatorem śryżowym w wyniku nagłego krótkotrwałego ocieplenia po dużych opadach śniegu. Była to powódź o dużym zasięgu – zalanych zostało ponad 10 tys. ha terenów, głównie rolniczych [3]. Zostało uszkodzonych wiele budynków i obiektów energetycznych, łączności, komunikacji.

Spośród powodzi letnich, które wywołują największe straty w rolnictwie, wymienić należy przede wszystkim powódź opadową w dorzeczu Górnej Odry i Nysy Kłodzkiej w lipcu i sierpniu 1977 r. Przyczyną były wysokie krótkotrwałe opady. Zalanych zostało 45 tys. ha użytków rolnych, zniszczonych wiele budynków, mostów wałów i dróg. Kolejny przykład powodzi letniej to powódź w 1980 r., która objęła swym zasięgiem znaczną część kraju. Straty w rolnictwie oszacowano wg ówczesnych cen na 16,7 mld zł [3], a największe wystąpiły w województwach bydgoskim, toruńskim i wrocławskim. Za katastrofalną powódź należy uznać powódź opadową w lipcu 1997 r., która wystąpiła w dorzeczu Górnej Wisły i Górnej Odry. Pod wodą znalazło się ponad 500 tys. gruntów.

Gospodarowanie rolniczymi zasobami wodnymi dla przeciwdziałania skutkom ekstremalnych zjawisk pogodowych w rolnictwie

Rolnictwo może się w większym niż dotychczas stopniu borykać z nierównomiernym rozkładem opadów w ciągu roku oraz występowaniem okresów suszy glebowej lub nadmiernego uwilgotnienia. Do utrzymania produkcji na odpowiednim poziomie konieczne będą różne przedsięwzięcia i działania agrotechniczne i melioracyjne o charakterze inwestycyjnym i organizacyjnym, w różnej skali czasowej i przestrzennej, podejmowane przez rolników, odpowiednie służby rolne i melioracyjne, jednostki administracji państwowej i samorządowej.

Ponieważ jednym z ważniejszych skutków ekstremalnych zjawisk pogodowych jest wpływ na zasoby wodne, głównie ich ograniczenie i wzrost deficytów wody w rolnictwie, działania mające łagodzić te skutki powinny prowadzić do polepszenia warunków wodnych produkcji rolniczej, a szerzej – do stworzenia korzystnych warunków prowadzenia gospodarki wodnej w rolnictwie.

W zakresie ograniczania deficytów wody przedsięwzięcia te powinny być podporządkowane osiągnięciu czterech podstawowych celów kierunkowych:

1. Zwiększeniu lokalnych zasobów wodnych i ich dostępności dla rolnictwa.
2. Zwiększeniu efektywności wykorzystania wody w produkcji rolniczej.
3. Zmniejszeniu zapotrzebowania na wodę i zużycia wody przez uprawy rolnicze.
4. Intensyfikacji nawodnień.

Szczegółowe działania i zabiegi, prowadzące do osiągnięcia tych celów, można pogrupować następująco:

1. Zwiększenie retencji powierzchniowych zasobów wodnych i ich dostępności dla rolnictwa, przez:
 - gromadzenie wody w okresach jej nadmiaru (okres wiosenny, nadmierne opady latem) w lokalnych małych zbiornikach retencyjnych;

- zatrzymywanie wody i spowalnianie odpływu wody w małych ciekach (rowach, strumieniach) za pomocą małych budowli piętrzących;
 - utrzymanie w dobrym stanie małych cieków mających znaczenie dla rolnictwa.
2. Zwiększenie zasobów wody w glebie i jej dostępności dla roślin, przez:
- technologie uprawy gleby, które zwiększają zapasy wody glebowej i stopień ich wykorzystania przez rośliny, mające na celu:
 - spulchnianie gleby,
 - poprawę struktury gleby,
 - zwiększanie zawartości próchnicy,
 - poprawę fizycznych i wodnych właściwości głębszych warstw gleby,
 - zatrzymywanie opadów na polu,
 - zwiększenie infiltracji,
 - ograniczenie spływów powierzchniowych,
 - ograniczenie parowania z powierzchni gleby,
 - powiększanie aktywnej strefy korzeniowej poboru wody,
 - stwarzanie warunków do głębokiego korzenienia się roślin;
 - dobór odpowiednich gatunków i odmian roślin odpornych na suszę, o krótszym okresie wegetacji, o mniejszych potrzebach wodnych, o głębszym systemie korzeniowym;
 - nawożenie i zabiegi melioracyjne wspomagające rozwój silnych systemów korzeniowych;
 - stosowanie nawodnień.
3. Modyfikacja technologii użytkowania wody w gospodarstwie i na polu, w kierunku:
- oszczędzania wody;
 - zwiększenia efektywności wykorzystania wody przez wielokrotne jej użytkowanie;
 - minimalizacji bezużytecznych odpływów wody z systemów melioracyjnych;
 - zatrzymywania i gromadzenia wody z odpływów drenarskich;
 - zmniejszenia zużycia wody przez rośliny przez ograniczanie ewapotranspiracji;
 - poprawy prowadzenia i zarządzania nawodnieniami;
 - wprowadzenia wodo- i energooszczędnych metod i technik nawadniania.
4. Poprawa zarządzania zasobami wodnymi i ich dystrybucji w rolnictwie, przez:
- ulepszenie i rozwój istniejących metod rozrządu wody w systemach melioracyjnych w kierunku dynamicznego, elastycznego zarządzania gospodarką wodną z wykorzystaniem nowoczesnego systemu monitorowania stanu systemu wodnego (stany wody gruntowej, przepływy i stany wody w ciekach, monitoring obiektów hydrotechnicznych);
 - dostosowanie algorytmów sterowania nawodnieniami do zmiennych warunków meteorologicznych i występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych;
 - rozwój regionalnych systemów monitorowania suszy dla potrzeb sterowania nawodnieniami i systemami wodnymi na obszarach rolniczych;
 - rozwój systemów łączności opartych na GSM;

- zastosowanie metod teledetekcyjnych i systemu informacji przestrzennej w sterowaniu systemem wodnym.
5. Rozwój świadomości społecznej w zakresie skutków susz i przeciwdziałań, poprzez szkolenia dla rolników, wydawanie i upowszechnianie broszur, ulotek i biuletynów, rozpowszechnianie informacji przez radio, telewizję, prasę i internet.

Działania te obejmują różne metody, zabiegi i narzędzia w zakresie rolniczych zasobów wodnych i ich użytkowania. Mogą mieć charakter krótkoterminowych dostosowań oraz długoterminowych działań adaptacyjnych.

Krótkoterminowe działania dostosowujące powinny optymalizować produkcję rolną bez większych zmian systemowych (np. wcześniejsze siewy, zmiana odmian roślin, głęboka orka). Długoterminowe działania adaptacyjne odnoszą się do większych zmian systemowych (np. zmiany użytkowania ziemi, zmiany systemów produkcji rolniczej, wprowadzanie nowych upraw, nowe techniki gospodarowania ziemią, nowoczesne technologie prowadzenia i zarządzania nawodnieniami, rozwój małej retencji wodnej, zmiana świadomości społecznej).

Najbardziej widoczne obecnie działania to strategia zwiększania zasobów wody realizowana w wielu regionach Polski w ramach opracowanych w układzie nowych województw programów rozwoju małej retencji wodnej, których realizację należy kontynuować i dokończyć, wprowadzając bieżące korekty i weryfikacje.

Skuteczną metodą łagodzącą ujemny wpływ susz na plon roślin uprawnych są nawodnienia. Nawodnienia w Polsce mają charakter interwencyjny i uzupełniają okresowy niedobór opadów. Są potrzebne w krótszych bądź dłuższych okresach w czasie trwania okresu wegetacyjnego, szczególnie w regionach, w których występują częste i silne susze. Można więc przyjąć, że statystycznie raz na 3 lata istnieje potrzeba stosowania nawodnień. Występują lata, kiedy nawodnienia nie są potrzebne, jednak w latach takich jak np. 1992 i 2000, kiedy około 40% powierzchni kraju było dotknięte ekstremalnymi suszami, nawodnienia mają ogromne znaczenie. W chwili obecnej w Polsce nawodnienia odgrywają znikomą rolę zarówno w produkcji rolnej, jak i gospodarce wodnej. Są stosowane zaledwie na około 0,5% powierzchni użytków rolnych (łącznie wszystkie rodzaje nawodnień) [13, 14]. W wielu przypadkach czynnikiem uniemożliwiającym prowadzenie nawodnień jest brak wody, spowodowany występowaniem w okresie suszy niskich stanów wody w rzekach i zmniejszeniem pojemności użytkowej jezior i zbiorników retencyjnych. Wtedy wielką rolę odgrywa właściwe gospodarowanie wodą oraz racjonalne zarządzanie systemami nawodnień i sterowanie nimi. W systemach nawodnień podsiąkowych taką efektywną metodą gospodarowania wodą w przypadku jej niedoboru jest metoda regulowanego (hamowanego) odpływu, polegająca na kontrolowaniu odprowadzania wody z systemów na wiosnę i po dużych opadach w celu zatrzymania jej w glebie i sieci rowów [7]. W systemach nawodnień deszczownianych i mikronawodnień, w warunkach niedoboru wody można stosować nawodnienia deficytowe. Polegają one na niepełnym zaspokajaniu zapotrzebowania roślin na wodę i nawadnianiu tych upraw,

dla których niedobór wody w danym czasie (w danej fazie fenologicznej) spowoduje najmniejsze straty w plonach.

Powyższe działania powinny wspomagać adaptację polskiego rolnictwa do zmian klimatu i prowadzić do osiągnięcia celów kierunkowych w zakresie łagodzenia niekorzystnego wpływu zmian klimatu na zasoby wodne istotne dla rolnictwa.

Walka ze skutkami susz i powodzi i wynikające z niej zadania są wyzwaniem dla Polski w zakresie poszukiwania nowych, doskonalszych rozwiązań i wdrażania ich w regionach o dużym stopniu ryzyka ich występowania. Podstawą przedsięwzięć w tym zakresie musi być program strategiczny określający, w jaki sposób i przez realizację jakich zadań, można zapobiegać ujemnym skutkom ekstremalnych zjawisk pogodowych.

Obecne uwarunkowania różnych działań związanych z przeciwdziałaniem negatywnym skutkom susz i powodzi w rolnictwie polskim są silnie związane ze stanem gospodarki wodnej w rolnictwie. Dotyczy to zwłaszcza melioracji. Podstawową przyczyną ograniczonych możliwości przeciwdziałania tym skutkom na obszarach rolniczych są zaniedbania w zakresie eksploatacji systemów i urządzeń melioracyjnych, ograniczające możliwości wykorzystania tych obiektów. Zaniedbania te obejmują:

- brak właściwej konserwacji cieków i rowów, uniemożliwiający wykonywanie nawodnień i szybkie odprowadzenie nadmiaru wody;
- brak instrukcji eksploatacyjnych i urządzeń kontrolno-pomiarowych, utrudniający kontrolę przebiegu nawodnień;
- brak uzgodnień regulujących pobór wody do nawodnień w latach suchych, ograniczający wielkość obszarów nawadnianych w kraju;
- zmniejszenie zainteresowania rolników wykorzystywaniem użytków zielonych w gospodarstwie rolnym, wpływające na zaniedbania agrotechniczne, a tym samym na efektywność gospodarowania na obiektach melioracyjnych;
- wzrastającą liczbę obiektów melioracyjnych wymagających odbudowy i modernizacji.

Występują również poważne zaniedbania w zakresie szeroko rozumianej gospodarki wodnej na obszarach rolniczych. Spośród wielu zadań koniecznych do wykonania jako przykładowe można wymienić:

- zmodyfikowanie oceny zapotrzebowania na wodę przez rolnictwo w kierunku jego zmniejszenia i optymalnego wykorzystania wody w produkcji roślinnej;
- zmniejszenie strat wody w wyniku zmian technologii upraw, agromelioracji, hodowli nowych odmian roślin;
- opracowanie zasad magazynowania i wykorzystywania wód z własnej zlewni;
- opracowanie zasad kompleksowego zabezpieczenia rolników przed stratami w produkcji roślinnej w oparciu o aktualne uwarunkowania ekonomiczne;
- opracowanie i wdrożenie metod sterowania uwilgotnieniem gleb w sposób umożliwiający pogodzenie interesów rolnictwa i ochrony środowiska;
- opracowanie metod zwiększania naturalnych zasobów wodnych gleb i możliwości ich wykorzystania;

- zintensyfikowanie prac związanych z gromadzeniem wody w zbiornikach retencyjnych w okresach ich nadmiaru i opracowanie sposobów najefektywniejszego jej wykorzystywania;
- opracowanie i wdrożenie na różnym poziomie (regionalne, zlewniowe, obszarowe, w skali gospodarstwa) systemów optymalnego rozrządu wody;
- znowelizowanie zasad funkcjonowania służby wodnej w rolnictwie;
- znowelizowanie prawa wodnego pod kątem zabezpieczenia rolnictwa w latach klęskowych pod względem niedoborów opadów.

Niebagatelne znaczenie będą miały działania instytucjonalne w planowaniu i realizacji tych zadań. Obejmują one: stosowanie operacyjnych modeli gromadzenia i przerzutów wody w skali zlewni, modele decyzyjne gospodarowania wodą w zbiornikach retencyjnych i systemach wodnych, zmiany w zarządzaniu rozdziałem wody z miejscowego na centralny (w skali systemu), zmiany w organizacji administracyjnej zarządzania gospodarką wodną, nowe regulacje prawne. Rozwiązania instytucjonalne powinny uwzględniać lokalne problemy w regionie wynikające z częstotliwości susz i powodzi, ich charakteru i oddziaływania na różnych użytkowników wody, jak również wynikające z przewidywanych strat ekonomicznych. Specyfika regionalnych rozwiązań jest szczególnie istotna, gdy rolnictwo (nawodnienia) jest znaczącym konsumentem wody. Ciągły wzrost potrzeb wodnych w rolnictwie powinien znaleźć odbicie w adekwatnym udziale w procesach decyzyjnych specjalistów z dziedziny gospodarki wodnej w rolnictwie.

Do utrzymania produkcji rolniczej na odpowiednim poziomie konieczne będą różne przedsięwzięcia inwestycyjne i nakłady finansowe. Niezbędne będzie również kompleksowe urządzenie i zrównoważone zagospodarowanie obszarów wiejskich, a w szczególności usprawnienie gospodarki wodnej.

Wśród działań łagodzących należy przewidzieć zwiększone finansowanie wszelkich działań dotyczących gospodarowania rolniczymi zasobami wodnymi (zwiększanie retencji, w tym małej retencji wodnej, czynna i bierna ochrona przeciwpowodziowa, odwadniające i nawadniające melioracje rolne itp.). Działania związane z gospodarką wodną powinny szczególnie dotyczyć Polski, gdyż stan przedsięwzięć gospodarowania rolniczymi zasobami wodnymi (melioracji wodnych) w kraju jest krytyczny. Dotychczasowe doświadczenie, stan ilościowy i jakościowy istniejących systemów melioracyjnych, systemów retencionowania i rozrządu wody oraz organizacji utrzymania i eksploatacji urządzeń melioracji szczegółowych nie gwarantują realizacji zadań melioracyjnych, w przypadku wystąpienia głębokiej suszy oraz potrzeby odprowadzenia nadmiaru wody.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy problemów gospodarowania wodą w rolnictwie, wynikających z występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, można wskazać najbardziej istotne kierunki działań mających na celu łagodzenie skutków tych zjawisk. Najważniejszym celem działań związanych z występowaniem obecnych i potencjalnych zagrożeń w rolnictwie związanych z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi jest opracowanie strategii adaptacyjnych dostosowania produkcji rolnej do tych zjawisk. Bardzo istotne jest identyfikowanie tych zjawisk i ich prognozowanie. W konsekwencji pozwoli to określić zagrożenia zarówno obecne jak i potencjalne, które wystąpią w późniejszym okresie. Wydaje się też, że istotne jest uświadomienie zarówno decydentom jak i rolnikom, że nie należy spodziewać się jednoznacznych recept proponujących sposoby uniknięcia zagrożeń. Wynika to z bardzo dużej zmienności procesów zachodzących w środowisku i niemożności precyzyjnego przewidywania nadchodzących zmian. Duże tempo zmian cywilizacyjnych i wynikających z tego możliwych zmian w środowisku, może powodować, że identyfikowane obecnie zagrożenia okażą się mniej istotne za kilka lat, a pojawią się inne lub też zmieni się ich znaczenie.

Istotnym wyzwaniem dla Polski jest wzrost ryzyka dotyczącego produkcji rolnej, spowodowanego warunkami pogodowymi. Zmiany klimatyczne potęgują ryzyko produkcji związane z czynnikiem pogodowym. Minimalizacji tego ryzyka powinien sprzyjać wzrost nakładów na melioracje (gospodarowanie rolniczymi zasobami wodnymi), w tym na melioracje nawadniające. Należy wypracować metody zarządzania tym ryzykiem, poprzez mechanizmy finansowe o charakterze ubezpieczeń. Takie rozwiązania należy popierać, pod warunkiem, że będą one traktowane jako komplementarne w stosunku do rozwoju przedsięwzięć melioracyjnych – gospodarowania rolniczymi zasobami wodnymi.

Dla łagodzenia skutków ekstremalnych zjawisk pogodowych (niedostatki wody, susze, powodzie) mechanizmy finansowe o charakterze ubezpieczeń mogą być niewystarczające. Należy przewidzieć zwiększone finansowanie wszelkich działań dotyczących gospodarowania rolniczymi zasobami wodnymi (zwiększanie retencji, w tym małej retencji wodnej, czynna i bierna ochrona przeciwpowodziowa, odwadniające i nawadniające melioracje itp.).

Przed nauką jak i praktyką rolniczą staną nowe różne wyzwania, szczególnie w zakresie adaptacji polskiego rolnictwa, agroekosystemów, systemów melioracyjnych oraz celów i zadań gospodarowania wodą w rolnictwie. Polityka rolna powinna wspierać adaptację polskiego rolnictwa do zagrożeń wynikających z występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych. Istnieje pilna potrzeba opracowania i wdrożenia programów działań w skali lokalnej, regionalnej i ogólnokrajowej, mających na celu łagodzenie ujemnych skutków tych zjawisk. Programy te powinny zawierać opisy działań długofalowych wyprzedzających, bieżących przed pojawieniem się zjawiska i w trakcie jej trwania oraz po jej zakończeniu.

Literatura

- [1] Bąk B., Łabędzki L. 2002. Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardized precipitation index (SPI). *J. Water Land Develop.* 6: 89–105.
- [2] Bobiński E., Meyer W. 1992. Susza w Polsce w latach 1982–1992. Ocena hydrologiczna. *Wiad. IMGW XV* (4): 3–23.
- [3] Ciepeliowski A. 1992. Charakterystyka zjawisk powodziowych w Polsce. W: Ochrona przed powodzią. Wydawnictwo IMUZ, Falenty: 15–50.
- [4] Ciepeliowski A. 1999. Podstawy gospodarowania wodą. Wydawnictwo SGGW, Warszawa: 326 ss.
- [5] Czaplak I. 1996. Posuchy i rejonry zagrożone jej występowaniem. W: Potrzeby i możliwości zwiększenia retencji wodnej na obszarach wiejskich. *Mat. Sem. IMUZ*, 37: 26–33.
- [6] Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Mager P. 1995. Susze na obszarze Polski w latach 1951–1990. *Mat. Bad. IMGW, Gosp. Wodna i Ochrona Wód*: 58 ss.
- [7] Kaca E., Łabędzki L., Chrzanowski S., Czaplak I., Kasperska-Wołowicz W. 2003. Gospodarowanie zapasami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. *Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. Nauk. Monog.* 9: 118 ss.
- [8] Kaca E., Stapel Z., Śniadowki Z. 1993. Gospodarka wodna w rolnictwie w świetle suszy 1992 roku. *Mat. Inf. IMUZ*, 22: 55 ss.
- [9] Kundzewicz Z. 2000. Gdyby mała wody miarka ... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 195 ss.
- [10] Łabędzki L. 2004. Problematyka susz w Polsce. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 4(1): 47–66.
- [11] Łabędzki L. 2006. Susze rolnicze – zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. *Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. Nauk. Monog.* 17: 107 ss.
- [12] Łabędzki L. 2007. Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrig. Drain.* 56 (1): 67–77, DOI: 10.1002/ird.285.
- [13] Łabędzki L. 2009. Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change. *J. Water Land Develop.* 13b: 17–29.
- [14] Łabędzki L., Kuźniar A., Lipiński J., Mioduszewski W. 2006. Irrigation management transfer in European countries – Polish report, w: Irrigation Sector Reform in Central and Eastern European Countries. W. Dirksen, W. Huppert (red), Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); New Delhi, ICID: 329–383.
- [15] Mager P., Kuźnicka M., Kępińska-Kasprzak M., Farat R. 1999. Zmiany natężenia i częstości pojawiania się susz w Polsce (1891–1995). *Mat. konf. nauk. „Zmiany i zmienność klimatu Polski”*. Łódź, 3–6 XI 1999: 159–164.
- [16] Mikulski Z. 1998. Gospodarka wodna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 202 ss.
- [17] Problemy gospodarowania wodą w rolnictwie w świetle suszy 1992 roku. 1993. E. Kaca (red). *Mater. Semin. IMUZ* 33: 159 ss.
- [18] Słota H., Bobiński E., Dobrowolski A., Fal B., Gałka S., Korol R., Lorenc H., Mierkiewicz M., Rutkowski T., Tomaszewska T., Żelaziński J. 1992. Susza 1992: zakres, intensywność, przyczyny i skutki, wnioski. *Mat. Bad. IMGW, Hydrologia i Oceanologia*: 32 ss.
- [19] Wilhite D.A., Hayes M.J., Svoboda M.D. 2000. Drought monitoring and assessment: status and trends in the United States. W: Drought and droughts mitigation in Europe. J.V. Vogt, F. Somma (red.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 149–160.

Agricultural water management in view of extreme weather phenomena

Key words: weather, agriculture, water, climate changes

Summary

Problems of agricultural water resources management are discussed in the paper in view of extreme weather phenomena. Observation regarding climate change shows that drought and flood events in Poland will become more intense and it will be a many years' trend. Definition and kinds of droughts and floods and their appearance scope in Poland are given in the paper, emphasizing the natural conditions for their occurrence, their frequency, extent, the damage they cause and the resulting consequences for agriculture. Role and tasks of amelioration and water management in mitigating harmful effects of the extreme weather phenomena in agriculture are also discussed. Various preventive measures should be undertaken. Due to climate change and related extreme meteorological and hydrological events, it is indispensable to review planning principles, design criteria, operating rules, contingency plans and management policies for agricultural water systems and to stress the role of irrigation and agricultural water management to control extreme meteorological and hydrological events. To mitigate different negative effects of extreme events the appropriate adaptation methods and adaptation strategies should be developed and implemented in agriculture and in existing irrigation and water control systems. Number of technical and organisational actions should be undertaken for the improvement of operation, management, administration and decision making.

Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę

Czesław Rzekanowski, Jacek Żarski, Stanisław Rolbiecki

*Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
e-mail: rzekan@utp.edu.pl*

Słowa kluczowe: nawadnianie roślin, obszary deficytowe w wodę, potrzeby nawadniania, efekty nawadniania, kierunki rozwoju nawodnień

Wstęp

Według danych ICID (International Commission on Irrigation and Drainage) [17] aktualnie nawadnia się na świecie wszystkimi systemami ponad 270 mln ha gruntów, co stanowi 18% powierzchni przeznaczanej pod uprawy. Przeważająca część nawadnianego arealu jest położona w strefach klimatycznych stale lub okresowo suchych bądź półsuchych, w których uprawa roślin bez nawadniania byłaby niemożliwa. Na obszarach tych główną przesłankę zastosowania nawodnień stanowi kryterium klimatyczne, a ściślej stały lub powtarzający się co roku w tej samej porze sezonowy brak opadów atmosferycznych.

W Polsce, w odróżnieniu do krajów położonych w cieplejszych strefach klimatycznych, nawadnianie roślin ma zasadniczo charakter interwencyjny. Celem nawadniania jest uzupełnianie okresowych niedoborów opadów atmosferycznych w stosunku do wymagań wodnych roślin uprawnych. W ujęciu średnim wieloletnim niedobory te wynikają ze zbyt małej ilości opadów w porównaniu z zapotrzebowaniem roślin, wyrażanym za pomocą wskaźników ewapotranspiracji lub opadów optymalnych. Dotyczy to zwłaszcza środkowej, nizinnej części kraju, określanej jako obszar szczególnie deficytowy w wodę dla rolnictwa. W konkretnych sezonach wegetacji lub fragmentach tych sezonów, niedobory te są z kolei skutkiem okresowych braków opadów, określanych mianem posuch lub susz. Susze rolnicze w warunkach klimatycznych Polski należą do zjawisk nieregularnych, lecz częstych. Ich występowanie wynika z bardzo dużej zmienności czasowej klimatu Polski, przejawiającej się

nieregularnością ilości i rozkładu opadów atmosferycznych w tych samym okresie kalendarzowych kolejnych lat.

Mimo aktualnego regresu i ograniczeń wynikających z niekorzystnych uwarunkowań ekonomicznych i wielkości źródeł wody, nawadnianie roślin w Polsce, jako jeden z elementów gospodarowania wodą w rolnictwie, wydaje się rozwiązaniem przyszłościowym. Do czynników przyspieszających rozwój nawodnień, obok podniesienia wydajności produkcji roślinnej i zapewnienia stabilnych plonów dobrej jakości, zaliczyć można potrzebę wzrostu nowoczesności i konkurencyjności rolnictwa oraz przewidywane zmiany klimatyczne.

Celem pracy jest przedstawienie kierunków rozwoju nawadniania roślin w Polsce na tle kryteriów klimatycznych i glebowych, uzyskiwanych efektów produkcyjnych oraz aktualnych uwarunkowań gospodarczych i ekonomicznych.

Potrzeby nawadniania roślin

Potrzeby nawadniania w Polsce wynikają z występowania niedoborów opadów atmosferycznych, które w okresie wegetacyjnym stanowią główne źródło bieżącego zaopatrywania roślin w wodę. Niedobory opadów definiuje się jako różnicę między wskaźnikami potrzeb wodnych roślin, a rzeczywistymi opadami, jakie wystąpiły w całym okresie wegetacji lub niektórych fazach wzrostu i rozwoju roślin. Oblicza się je najczęściej w odniesieniu do całego wielolecia, co pozwala na ocenę zmienności przestrzennej, lub dla kolejnych sezonów wegetacji roślin, a to umożliwia ocenę ich zmienności czasowej. W warunkach przejściowego klimatu Polski ważniejsza wydaje się analiza zmienności czasowej niedoborów opadów, a zatem potrzeb nawadniania, gdyż warunki zaopatrzenia roślin w wodę w poszczególnych latach różnią się bardziej niż średnio w poszczególnych rejonach i miejscowościach.

Mimo wielu badań liczbowe ujęcie potrzeb nawadniania roślin napotyka na duże trudności. Wynika to między innymi z niezwykle złożonej zależności wskaźników potrzeb wodnych roślin od kompleksu czynników glebowych i meteorologicznych, a także od różnic gatunkowych i odmianowych uprawianych roślin. Te ostatnie zależą od długości okresów wegetacji, zmienności faz rozwojowych roślin i różnej w nich wrażliwości roślin na niedostatki wody (okresy wzmożonego zapotrzebowania na wodę) oraz od stopnia odporności na warunki posuszne.

Potrzeby wodne określa się wskaźnikowo, najczęściej za pomocą opadów optymalnych, potrzeb opadowych lub wyznaczając ewapotranspirację łąnu roślin w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby. Wskaźniki opadowe są szczególnie przydatne do klimatycznej oceny potrzeb nawadniania, natomiast wskaźniki ewapotranspiracji mają większe znaczenie w operacyjnym monitorowaniu zużycia wody glebowej, niezbędnym do umiejętnego dozowania dawek nawodnieniowych, czyli sterowania nawadnianiem.

Spośród bardzo wielu prób dokonania rejonizacji potrzeb nawadniania roślin w Polsce wymienić można pracę Grabarczyka [6], który jako wskaźnik potrzeb wodnych przyjął opady optymalne Klatta oraz liczne prace Dzieżyca i in. [2, 3, 4], wykorzystujące tzw. potrzeby opadowe, wyznaczone na podstawie plonowania roślin w doświadczeniach COBORU. W skali regionalnej ocena potrzeb nawadniania była prezentowana w wielu pracach, na podstawie różnych metod, założeń i wskaźników [8, 12, 14]. Szczegółową charakterystykę zmienności przestrzennej potrzeb nawadniania roślin w Polsce na podstawie prac różnych autorów przedstawił Rojek [20]. Z nowszych prac na szczególną uwagę zasługuje „Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce” [16], przygotowany pod redakcją naukową J. Ostrowskiego i L. Łabędzkiego, syntetyzujący zależność tych niedoborów od wskaźników klimatycznych, możliwości retencyjnych gleb i rzeczywistej pokrywy glebowej oraz czynnika biologicznego (roślinnego).

Biorąc pod uwagę kryterium klimatyczne, największe potrzeby nawadniania występują w Polsce na obszarach określanych jako szczególnie deficytowe w wodę, obejmujących środkową, nizinną część Polski, określoną przez Romera jako Kraina Wielkich Dolin. Obszary te charakteryzują się najniższymi opadami atmosferycznymi w okresie wegetacyjnym, wybitnie niekorzystnymi klimatycznymi bilansami wodnymi oraz zwiększoną częstotliwością występowania długotrwałych okresów bezopadowych. Ze względu na kryterium glebowe, wielkość potrzeb nawadniania roślin uzależniona jest przede wszystkim od ich właściwości wodnych, określanych za pomocą stopnia zwięzłości. Znaczenie ma nie tylko zwięzłość poziomu orno-próchnicznego, ale również rodzaj podłoża. Dobór gatunków i odmian na pola wyposażone w instalacje nawadniające (kryterium roślinne) zależy w mniejszym stopniu od ich sumarycznego i okresowego zapotrzebowania na wodę, zależnego od długości okresów wegetacji, zmienności okresów wzmożonego zapotrzebowania na wodę i stopnia odporności na warunki posuszne, a w większym stopniu od przewidywanych efektów ekonomicznych zastosowania zabiegu.

Potrzeby nawadniania w Polsce były w praktyce dostrzegane i przygotowywano w tym zakresie stosowne plany rozwojowe. Dotyczyło to głównie metod powierzchniowych w dolinach rzek, czyli nawodnienia zalewowego, stokowego i podsiąkowego. Przygotowany na lata 1965–1975 perspektywiczny kompleksowy plan gospodarki wodnej, opracowany przez Komitet Gospodarki Wodnej PAN, przewidywał zastosowanie takich systemów na 90% powierzchni trwałych użytków zielonych. Nigdy nie został jednak zrealizowany i zupełnie rozminął się z praktyką. Z tego okresu rozwoju nawodnień powierzchniowych pozostały takie sztandarowe obiekty jak: Dolina Obry, Górna Narew, Kuwasy, Wizna czy rejon Kanału Wieprz-Krzna, na których najczęściej gospodarowały PGR-y. Ostatnim dużym przedsięwzięciem było hasło zagospodarowania zlewni Górnej Noteci, nazwanym Górnonoteckim Systemem Wodno-Gospodarczym, realizowanym w latach 1981–1990. Zastosowano tutaj nowoczesne i kompleksowe podejście do rozwiązania gospodarki wodnej w całej zlewni Noteci, wybudowano

zbiorniki wodne, przewidywano nawodnienia na obszarze 110 tys. ha, w tym deszczowniane na 88,5 tys. ha. Zrealizowane w tym programie systemy nawodnień podsiąkowych można uznać za wzorcowe pod względem rozwiązań projektowych oraz rozrządu wody i do dziś są w niezłym stanie technicznym [21].

Jeszcze w 1990 r. statystyki podawały, że w różne systemy nawadniające wyposażone było około 464 tys. ha, w tym: zalewowe – 80 tys. ha, podsiąkowe – 314 tys. ha, deszczowniane – 57 tys. ha i mikronawodnienia (głównie kropłowe) – 3 tys. ha [19, 21]. Obecnie areał ten jest oceniany na 415 tys. ha, z tego 365 tys. ha to systemy grawitacyjne na trwałych użytkach zielonych, a 49 tys. ha nawodnienia ciśnieniowe na gruntach ornych [13]. Taki stan już w 1989 r. należało uznawać, w porównaniu do krajów sąsiednich, na wysoce niewystarczający jak na warunki glebowo-klimatyczne Polski. Szczególnie mały był areał uzbrojony w nowoczesne systemy deszczowniane i kropłowe, które składają się na wizytówkę techniki nawodnieniowej danego kraju.

Efekty nawadniania roślin

Podstawowym wskaźnikiem efektów produkcyjnych nawadniania roślin są przeciętne (średnie wieloletnie) przyrosty plonów osiągane pod wpływem zastosowania tego zabiegu. Duże znaczenie gospodarcze mają także zmiany jakości plonu. W przypadku roślin pastewnych ważne jest określenie zmian wartości paszowej, a w przypadku roślin towarowych poznanie wpływu nawadniania na kompleks cech jakościowych, składających się na przydatność plonu do bezpośredniej konsumpcji lub do technologii przetwórstwa surowców. Mniejsze znaczenie dla bezpośredniej wyceny efektów produkcyjnych nawadniania roślin ma oszacowanie zmian plonów ubocznych oraz masy resztek pozbiorowych. Warto jednak pamiętać, że ewentualne przyrosty plonów ubocznych zwiększają korzyści związane z zastosowaniem nawodnień, przyczyniając się do zwiększenia produkcji obornika i zapobiegając ubytkom materii organicznej w glebach.

Bezpośredni efekt produkcyjny nawadniania w postaci wzrostu plonu i zmian jego jakości jest pochodną powodowanych przez ten zabieg modyfikacji wzrostu i rozwoju roślin. W szczególności nawadnianie wpływa na zmiany aktywności procesów fizjologicznych, budowę morfologiczną i anatomiczną, a w konsekwencji na elementy struktury plonu. Z kompleksowych badań prowadzonych na przykładzie roślin zbożowych w ośrodku szczecińskim pod kierunkiem Karczmarczyka [10] wynika, że nawadnianie połączone z nawożeniem optymalnymi dawkami NPK powodowało istotne zwiększenie intensywności procesów fizjologicznych, zachodzących w liściach roślin, a więc wyższą asymilację CO₂, transpirację oraz przewodność aparatów szparkowych. Intensyfikacja procesów fizjologicznych oraz przedłużenie okresu fizjologicznej sprawności roślin nawadnianych prowadziły do ich bujniejszego wzrostu, wytworzenia wyższych i grubszych źdźbeł, większych kłosów, a także zwiększenia liczby i masy ziaren w kłosie.

Na temat efektów produkcyjnych nawadniania w różnych warunkach glebowych i klimatycznych przeprowadzono w Polsce bardzo dużo badań naukowych. Rezultaty pojedynczych doświadczeń były następnie przedmiotem licznych syntez. Do najbardziej znanych i najczęściej cytowanych prac syntetycznych z tego zakresu zaliczyć można przede wszystkim obszerną monografię Dzieżyca [1], pracę Dzieżyca i Nowaka [5] oraz Grabarczyka [7]. Analiza zwyczajek plonów uzyskiwanych pod wpływem nawadniania zarówno w poszczególnych doświadczeniach, jak i prezentowanych w wymienionych syntezach prowadzi do wniosku, że wielkość efektów produkcyjnych nawadniania roślin uzależniona jest przede wszystkim od rodzaju gleb, a szczególnie ich właściwości wodnych, określanych najczęściej za pomocą stopnia zwięzłości. Znaczenie ma nie tylko zwięzłość poziomu orno-próchnicznego, ale również rodzaj podłoża. Zgodnie z wynikami wielu doświadczeń, wielkość bezwzględnych i względnych zwyczajek plonu pod wpływem nawadniania oraz efekty jednostkowe wyrażone przyrostem plonu na 1 mm wody nawodnieniowej są tym większe, im gleba jest lżejsza. Największe efekty występują na glebach piaskowych o niskim poziomie wód gruntowych, charakteryzujących się małą pojemnością wodną, a zatem małą zdolnością do ciągłego zaopatrywania roślin w wodę. Wraz ze wzrostem stopnia zwięzłości i retencji wodnej gleb, efekty nawadniania systematycznie maleją. W nielicznych doświadczeniach prowadzonych na glebach ciężkich lub bardzo ciężkich (mada żuławska, gleba lessowa) nie uzyskano istotnych różnic w plonowaniu roślin nie nawadnianych i nawadnianych. W niektórych latach zaznaczyło się nawet ujemne oddziaływanie nawadniania, np. wskutek zwiększenia stopnia wylegania roślin [22].

W przypadku rozpatrywania wpływu czynnika glebowego na osiągnięte zwyczajki plonów poszczególnych gatunków i odmian ważne jest nie tylko określenie ich bezwzględnych, względnych i jednostkowych wielkości, ale również ocena możliwości plonotwórczych roślin, uprawianych na różnych glebach w warunkach nawadniania. Zwraca uwagę fakt, że plonowanie roślin nawadnianych na glebach niższych kategorii zaledwie dorównuje plonowaniu uzyskiwanemu na lepszych glebach bez nawadniania. W związku z tym nawadnianie roślin na glebach słabszych (kompleks żytni bardzo słaby, słaby i dobry) jest zabiegiem zaledwie wyrównującym ich szanse produkcyjne, w stosunku do gleb lepszych (kompleks żytni bardzo dobry i kompleksy pszenne).

W konkretnym sezonie wegetacji, w danych warunkach glebowych, efekty produkcyjne nawadniania roślin są często bardzo różne, korelując istotnie z ilością opadów atmosferycznych w okresie wzmożonego zapotrzebowania roślin na wodę. Zależność ta pozwala określić wielkość przewidywanych zwyczajek plonów w wydzielonych strefach opadów atmosferycznych. Na istotną zależność między przyrostami plonów pod wpływem deszczowania i sumą opadów atmosferycznych zwrócił uwagę Grabarczyk [7]. Na podstawie rezultatów doświadczeń prowadzonych na glebach lekkich o przewadze IV klasy bonitacyjnej, zaproponował formułę prostoliniowej, odwrotnie proporcjonalnej zależności:

$$Q = (P_{\text{OPT}} - P_{\text{RZ}}) \cdot k$$

gdzie: Q – spodziewany przyrost plonu pod wpływem deszczowania [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 k – przyrost plonu na 1 mm deficytu opadów atmosferycznych [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 P – suma opadów atmosferycznych optymalnych i rzeczywistych w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę danego gatunku [mm].

Zależności te pozwoliły na szeroką interpolację wyników doświadczeń na różne regiony kraju i uściślenie prognozowanych efektów nawadniania roślin w różnych strefach opadowych Polski. W strefie o opadach atmosferycznych niższych od 350 mm w okresie wegetacji obejmującej Niż Polski (co można utożsamiać z rejonami szczególnie deficytowymi w wodę), spodziewane przeciętne zwyczki plonu były największe, na obszarach zaś o opadach przekraczających w okresie od kwietnia do września 400 mm odpowiednio mniejsze [22].

Niezależnie od wyników wielu doświadczeń polowych i czytelnych syntez, generalnie należy uznać, że w praktyce rolniczej nawodnienia powierzchniowe nie dawały w Polsce wysokich efektów produkcyjnych, a nadto okazywały się na owe czasy kłopotliwe do konserwacji i sprawiały problemy eksploatacyjne. Systemy zalewowe i stokowe ulegały zatem marginalizacji, ograniczono je do nawodnień pozawegetacyjnych, bądź ściekami. Znacznie lepiej sprawdzały się systemy podsiąkowe, w szczególności oparte na dwustronnym regulowaniu poziomu wód gruntowych, bądź wykorzystujące zasoby własne zlewni, czyli z regulowanym odpływem [1]. Ambitne programy rozwojowe, jak chociażby rządowy „Program Wisła”, przewidywały w latach 1980–2000 instalacje deszczowni na obszarze 800 tys. ha, łącznie zaś planowano nawadniać tym sposobem ponad 1 mln ha gruntów. W praktyce sytuacja była jeszcze gorsza, bowiem z owych 464 tys. ha naprawdę nawadniało się kilkakrotnie mniej [11, 18]. Po przemianach ustrojowych nastąpił głęboki spadek nawadnianej powierzchni upraw rolniczych. Łabędzki [13] podaje, że powierzchnia ta zmniejszyła się o 75%, to jest z 301 500 ha w 1990 r. do 79 991 ha w 2007 r., z czego 75 222 ha stanowiły systemy podsiąkowe na trwałych użytkach zielonych, a zaledwie 4 653 ha nawodnienia ciśnieniowe deszczowniane. Mikronawodnienia, uchodzące w świecie za najnowocześniejsze, stosuje się w Polsce w uprawach ogrodniczych na szacowanej przez różnych autorów powierzchni 5000–10000 ha [9, 13, 21]. O skali regresu nawodnień w Polsce świadczy również spadek poboru wody z 519 do 99,1 hm^3 , tj. o 83% [13]. Zjawisko tak ogromnej recesji było praktycznie nie do uniknięcia, a złożyło nie na nią kilka podstawowych przyczyn:

- zmiany systemowe w krajowej gospodarce i rolnictwie oraz brak perspektyw na stabilną politykę rolną;
- zlokalizowanie urządzeń nawadniających w gospodarstwach państwowych i spółdzielczych, niezależnie od oczekiwań użytkowników oraz w oderwaniu od rachunku ekonomicznego;
- techniczne zużycie urządzeń nawadniających (dekapitalizacja), nie odnawianych z braku pieniędzy bądź gospodarza;

- słabe zainteresowanie użytkowników korzystaniem z urządzeń, wynikające z niskich efektów produkcyjnych, nie gwarantujących zwrotu poniesionych nakładów na eksploatację;
- zła organizacja służb eksploatacyjnych oraz niewłaściwa lub zupełny brak konserwacji, powodujące dużą obniżkę sprawności technicznej urządzeń (zdemastowane rowy, groble, doprowadzalniki i urządzenia piętrzące);
- niski poziom wiedzy technicznej użytkowników i nieumiejętność wykorzystywania potencjalnych możliwości, jakie mogło dawać nawadnianie;
- błędy w projektowaniu i słaba jakość stosowanych na owe czasy rozwiązań technicznych, w połączeniu z niską jakością prac wykonawczych oraz dużą awaryjnością urządzeń.

Perspektywy nawadniania roślin

Rolnictwo w dobrze funkcjonującej gospodarce kraju musi być nowoczesne i konkurencyjne. Nowoczesne, aby było zdolne do wprowadzania technologii dostosowanych precyzyjnie do wymagań nowych odmian roślin, w tym technologii ekologicznych, a nadto nowego sprzętu i nowych środków ochrony. Wymogi jakościowe stawiane żywności wymagają stosowania na szeroką skalę precyzyjnych technik nawodnieniowych, umożliwiających fertygację i zaawansowaną automatyzację. Techniki nawodnieniowe przechodzą w większości krajów zmiany jakościowe, w wyniku czego grawitacyjne systemy powierzchniowe są zastępowane systemami ciśnieniowymi, zapewniającymi oszczędne gospodarowanie wodą. Szczególnie ważny jest ostatni argument, bowiem obserwowane ostatnio zmiany klimatyczne przyczyniają się do wzrostu częstotliwości i intensywności susz w rolnictwie.

Możliwe do pozyskania w celach nawodnieniowych zasoby wody powinny być w Polsce wykorzystywane w sposób szczególnie racjonalny. Większość naukowców jest zgodna, że największe możliwości stwarzają tu mikronawodnienia, dające szanse na wzrost areału nawadnianej powierzchni przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia wody [9, 13, 15, 21]. Dopiero w dalszej kolejności przewidywany jest rozwój deszczowania i na końcu nawodnień podsiąkowych, głównie opartych na retencji własnej zlewni. Problem skoku jakościowego, w którym na pierwszym miejscu stawiana jest efektywność wykorzystania wody, z dużym sukcesem rozwiązywano już w innych krajach, np. w Izraelu.

Biorąc pod uwagę omówione wcześniej problemy, jak też pojawiające się ostatnio nowe grupy potencjalnych inwestorów należy oczekiwać, że nawodnienia mogą znaleźć zastosowania w następujących obszarach związanych z rolnictwem:

- 1. Polowe towarowe warzywnictwo i sadownictwo.** Chodzi tu głównie o mikronawodnienia, stworzone z myślą o dostarczaniu wody uprawom sadzonym rzędowo, gdzie nie trzeba zwilżać całej powierzchni pola, a jedynie ściśle określone jego miejsca. Woda jest dostarczana punktowo pojedynczymi kroplami lub niewielkimi strużkami, w pobliże roślin lub bezpośrednio do systemu korzenio-

wego. Optymalnie nawilżona gleba pozwala na produkowanie wysokiej jakości warzyw i owoców, zgodne z najwyższymi standardami gwarantującymi zachowanie odpowiednich norm jakościowych. Takie nawadnianie zapewni równocześnie utrzymanie wierności plonowania, przy zmiennych czasowo w Polsce warunkach klimatycznych. Należy zatem w tym obszarze przewidywać dużą dynamikę w powiększaniu się areálu nawadnianych upraw ogrodniczych, szczególnie przy dostępie na naszym rynku renomowanych światowych firm, produkujących najwyższej jakości sprzęt nawodnieniowy. Oczekuje się, że w ciągu 3–4 lat powierzchnia plantacji uzbrojona w mikronawodnienia przekroczy 10 tys. ha i ta rosnąca tendencja będzie się utrzymywać przez najbliższe 10–15 lat. W tabeli 1 przedstawiono bardzo wysokie efekty mikronawadniania wybranych roślin ogrodniczych na obszarach szczególnie deficytowych w wodę, uzyskane w doświadczeniach ośrodka bydgoskiego.

Tabela 1. Efekty produkcyjne mikronawadniania wybranych upraw ogrodniczych w rejonie Bydgoszczy [23]

Gatunek	Średni wieloletni przyrost plonu (w nawiasie zakres przyrostów plonów w wieloleciu)	
	t · ha ⁻¹	kg · mm ⁻¹
Burak ćwikłowy	17,4 (3,6–24,8)	108 (89–113)
Marchew jadalna	22,6 (6,8–37,2)	140 (44–162)
Rzodkiewka	6,5 (5,7–7,1)	100 (88–110)
Cukinia	26,2 (15,1–32,8)	104 (75–119)
Dynia zwyczajna	39,4 (33,5–45,2)	323 (266–447)
Dynia olbrzymia	32,9 (27,6–41,4)	143 (113–180)
Aronia czarnoowocowa	6,2 (0,1–9,2)	35 (0,3–44)
Porzeczka czarna	8,4 (1,6–11,8)	46 (9–63)
Truskawka	7,2 (0,5–10,6)	48 (2–84)

- Szklarnie i uprawy pod osłonami**, co jest związane z intensywną produkcją, opartą na uprawie bezglebowej lub aeroponicie. Całość bazuje na pełnej automatyzacji dawkowania wody, regulacji mikroklimatu i dostarczania nawozów w postaci pożywek. Systemy kropłowe oraz mikrozaszanie gwarantują oszczędność nakładów pracy, wody i precyzję. W takich warunkach uprawiane są rośliny ozdobne, warzywa, truskawki, poziomki, a nawet winna latorośl. Oczekuje się tu dalszego wdrażania nowoczesnych technik nawadniania.
- Deszczowanie upraw polowych.** Systemy te najwyższą efektywność zapewniają na stosunkowo słabych glebach, czyli na kompleksach żytnich średnich i słabych, których w Polsce jest bardzo dużo. Poczesne miejsce zajmuje tu Kraina Wielkich Dolin, którą można utożsamiać z obszarami szczególnie deficytowymi w wodę, gdzie znajduje się 1872,3 tys. ha gleb kompleksu żytniego słabego, 1226,9 tys. ha żytniego bardzo słabego i 791,9 tys. ha żytniego dobrego, wchodzących enklawami w te dwa pierwsze, bądź z nimi sąsiadujące [3, 8]. Jak wiadomo, na większości takich gleb nie można uzyskać zadawalających rezultatów ekono-

micznych, stąd rolnictwo na nich nie ma charakteru towarowego, lecz raczej socjalny. W przyszłości są one widziane jako potencjalne użytki ekologiczne (zalesienie lub ugorowanie), ale nie wszystkie gleby słabe uda się zmarginalizować. Na tych słabych glebach gospodaruje wiele rodzin, a nadto Polska powinna posiadać rezerwy gruntów uprawnych, możliwe do szybkiego uruchomienia w razie nagłych potrzeb, bądź wybitnie korzystnej koniunktury na rynkach światowych. Taką rezerwę mogą stanowić gleby lekkie i bardzo lekkie, łatwe w uprawie i mogące zapewnić nie tylko przyzwoite plonowanie wielu roślin, ale także dać surowce roślinne o wysokich parametrach jakościowych. W tabeli 2. przedstawiono efekty produkcyjne nawadniania deszczownianego wybranych upraw rolniczych, uzyskane w wieloletnich doświadczeniach polowych na glebie bardzo lekkiej w rejonie Bydgoszczy. Są to najwyższe efekty, spośród podawanych w literaturze krajowej.

Tabela 2. Efekty produkcyjne deszczowania wybranych upraw rolniczych na glebie bardzo lekkiej w rejonie Bydgoszczy [23]

Gatunek	Średni wieloletni przyrost plonu (w nawiasie zakres przyrostów plonów w wieloleciu)	
	t · ha ⁻¹	kg · mm ⁻¹
Pszonica jara	2,27 (1,95–2,65)	19,2 (16,1–21,7)
Jęczmień jary	2,37 (1,14–3,73)	19,5 (15,2–20,0)
Owies	2,09 (1,28–3,32)	16,3 (12,8–21,1)
Burak cukrowy	19,8 (4,3–37,7)	115 (60–141)
Ziemniak wczesny	13,1 (6,7–22,6)	135 (62–231)
Ziemniak późny	19,8 (15,4–23,6)	138 (110–175)
Łubin żółty	1,04 (0,77–1,48)	9,5 (5,4–17,0)
Bobik	3,07 (1,38–4,20)	35,0 (22,3–46,7)
Mieszanka strączkowo-zbożowa	2,36 (1,53–2,87)	25,1 (23,5–31,9)
Kupkówka pospolita	4,47 (2,14–8,13)	16,0 (12,7–21,0)
Kukurydza na ziarno	4,12 (1,80–6,42)	28,0 (31,1–38,9)
Mieszanka traw z motylkowymi	6,40 (4,13–13,98)	31,2 (21,7–50,8)

- Szkółkarstwo i produkcja leśnego materiału nasadzeniowego.** Jest już wielu producentów posiadających gospodarstwa wyposażone w odpowiedni sprzęt nawadniający, którzy dążą do wprowadzenia pełniejszej mechanizacji lub automatyzacji w oparciu o mikronawodnienia.
- Tereny poddawane rekultywacji:** hałdy pokopalniane, wysypiska, wyrobiska po wyeksploatowaniu surowców powierzchniowych (żwirownie, piaskownie) i górnictwie odkrywkowym – mikronawodnienia i systemy deszczowniane.
- Przydomowe trawniki, ogrody i tereny rekreacyjne** (np. pola golfowe). Jest to nowy w Polsce i perspektywiczny obszar całkowicie zautomatyzowanych nawodnień, wykonywanych przy użyciu stałych instalacji, opartych o wynurzające się z murawy zraszacze. Spotyka się tu wysoko zaawansowane technicznie systemy zraszające, sprzężone z automatycznymi stacjami meteorologicznymi

i pełną automatyzacją. Należy przewidywać szybkie powiększanie się powierzchni zraszanych ogrodów, głównie za przyczyną pojawiania się coraz liczniejszej grupy zasobnych finansowo inwestorów, wprowadzających zachodnie standardy zabudowy otoczenia domów oraz chętnych do korzystania z odpowiednio wyposażonych obiektów rekreacyjnych (np. pola golfowe).

7. Nawodnienia podsiątkowe użytkowników zielonych na obszarach dolinowych, głównie oparte na retencji własnej zlewni.

Rozpatrując perspektywy rozwoju nawodnień, trzeba również uwzględnić źródła wody i możliwość jej pozyskiwania. Według różnych ocen, nawodnienia ciśnieniowe w Polsce do 2025 roku powinny objąć około 1 mln ha. Największe możliwości będą miały gospodarstwa z bezpośrednią dostępnością do wody lub łatwością jej pozyskania, a więc położone w pobliżu rzek, jezior i różnych zbiorników wodnych, bądź mające możliwość eksploatacji odnawialnych i płytko zalegających zasobów wód podziemnych. Takie warunki spełniają przykładowo obszary niecki mazowieckiej i łódzkiej. Z poczynionych przez nas analiz wynika, że w Krainie Wielkich Dolin takie warunki spełniają gospodarstwa producenckie na około 750 tys. ha gleb. Są to potencjalne tereny, na których w pierwszej kolejności powinno się propagować i wspierać rozwój nawodnień deszczownianych.

Według naszej analizy źródeł wody do nawodnienia 750 tys. ha jest wystarczająco dużo. Przyjmując bowiem, że średnio w sezonie wegetacyjnym należałoby dostarczyć 1500 m^3 wody na 1 ha, potrzeba byłoby łącznie 1125 mln m^3 . Tymczasem potencjalne zasoby wód w Krainie Wielkich Dolin wynoszą według naszych szacunków kilkakrotnie więcej, nawet biorąc pod uwagę, że jest to obszar o najniższym odpływie jednostkowym w Polsce (średnio $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$). Składało by się na to:

- zatrzymanie 10% odpływu powierzchniowego, co jest w dużej części możliwe nawet w ramach małej retencji wodnej – daje to 2250 mln m^3 wody, wystarczającej do nawodnienia ponad 1,5 mln ha;
- wykorzystanie 30% odpowiednio podczyszczonych ścieków, czyli 750 mln m^3 umożliwiające nawodnienia na obszarze około 0,5 mln ha;
- wykorzystanie na szerszą skalę gnojowicy i gnojówki, co wiąże się między innymi z akcją wyposażania gospodarstw w płyty gnojowicowe, oraz sięgnięcie po nisko zasolone wody – to kolejne 225 mln m^3 wystarczające do nawodnienia 0,15 mln ha;
- eksploatacja łatwo odnawialnych zasobów wód podziemnych – 1800 mln m^3 wody do nawodnienia 1,2 mln ha.

Przedstawione potencjalne zasoby liczą zatem 5.025 mln m^3 wody, co wystarczyłoby do nawodnienia $3,35 \text{ mln ha}$ gruntów. Wspomniane 750 tys. ha można byłoby właściwie nawodnić od ręki, bez podejmowania większych inwestycji w zakresie gospodarki wodnej. W perspektywie po 2025 roku, kiedy pojawi się w Polsce konieczność realizacji nawodnień na większych powierzchniach gleb uprawnych, nowe inwestycje dla zgromadzenia niezbędnych zasobów wody staną się jednak koniecznością, co będzie realizowane jako jedno ze składowych przedsięwzięć w regulowaniu całej gospodarki wodnej kraju.

Podsumowanie

Na podstawie powyższych rozważań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Spośród ogólnego areалу 464 tys. ha wyposażonych w urządzenia nawadniające gruntów uprawnych w Polsce, na najnowocześniejsze metody ciśnieniowe przypada 60 tys. ha. Z tego jednak aktualnie nawadnia się 79,991 ha, a reszta istnieje tylko w ewidencji. Ten stan w porównaniu do innych krajów europejskich, świadczy o dużym zapóźnieniu krajowej techniki nawodnieniowej.
2. Efekty produkcyjne i ekonomiczne osiągnięte w wyniku nawadniania w Polsce są w praktyce dość niskie, co jest głównie spowodowane błędną lokalizacją urządzeń oraz złym funkcjonowaniem służb eksploatacyjno-konserwacyjnych. Niski zysk nie zachęcał do rozwoju nawodnień, zaś istniejące systemy powierzchniowe i deszczowniane przez nikłe zainteresowanie użytkowników, ulegały dekapitalizacji lub dewastacji.
3. W dobie unowocześniania polskiego rolnictwa należy preferować do nawadniania upraw polowych rozwój systemów ciśnieniowych, a do upraw sadowniczych i warzywnych mikronawodnień.
4. Ocenia się, że do roku 2025 nawodnienia powinny objąć w Polsce powierzchnię około 1 mln ha i być lokalizowane głównie na lżejszych glebach Krainy Wielkich Dolin. Ich rozwój mógłby być stymulowany przez odpowiednią politykę kredytową państwa.
5. W pierwszej kolejności urządzenia deszczowniane powinny być instalowane w gospodarstwach, gdzie występuje naturalna łatwość pozyskania wody, bez konieczność ponoszenia dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Ocenia się, że w Krainie Wielkich Dolin warunki te spełniają gospodarstwa na około 750 tys. ha, leżące w pobliżu rzek i jezior oraz mające dostęp do łatwo odnawialnych źródeł wody podziemnej.
6. Do nawodnienia areалу 0,75 mln ha potrzebne byłoby 1,125 mln m³ wody, którą to ilość można byłoby pozyskać przez racjonalniejsze retencjonowanie znajdującej się na terenie zlewni rolniczych. Potencjalne zasoby wody możliwe do wykorzystania do celów nawodnieniowych, obliczane są na około 5 mln m³, co mogłoby wystarczyć do nawodnienia 3,35 mln ha gruntów.

Literatura

- [1] Dzieżyc J. 1988. Rolnictwo w warunkach nawadniania. PWRiL, Warszawa: 1–416.
- [2] Dzieżyc J. 1989. Potrzeby wodne roślin uprawnych (praca zbiorowa). PWN Warszawa: 1–420.
- [3] Dzieżyc J., Nowak L., Panek K. 1987. Średnie regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania roślin uprawnych na glebach lekkich i średnich. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 314: 35–47.
- [4] Dzieżyc J., Badura U., Nowak L., Panek K. 1990. Zarys rejonizacji potrzeb deszczowania podstawowych roślin uprawnych w Polsce. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 387: 103–115.
- [5] Dzieżyc J., Nowak L. 1993. Deszczowanie. Rozdział w pracy zbiorowej „Czynniki plonotwórcze-plonowanie roślin” pod red. J. Dzieżycy. PWN Warszawa-Wrocław: 329–352.

- [6] Grabarczyk S. 1983. Melioracje rolne. Rozdział w pracy zbiorowej „Podstawy agrotechniki” pod red. W. Niewiadomskiego. PWRiL Warszawa: 79–129.
- [7] Grabarczyk S. 1987. Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 314: 49–64.
- [8] Grabarczyk S., Peszek J., Rzekanowski Cz., Żarski J. 1990. Rejonizacja potrzeb deszczowania w Krainie Wielkich Dolin. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 387: 73–88.
- [9] Jeznach J. 2009. Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN, 6: 83–94.
- [10] Karczmarczyk S. 1999. Zbiór referatów dotyczących problematyki nawadniania zbóż. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 193, *Agricultura* (73): 1–220.
- [11] Kosturkiewicz A., Przybyła C. 1992. Problemy eksploatacji deszczowni wielkoobszarowych w regionie Wielkopolski. *Roczniki AR w Poznaniu CCXXXIV*, 10: 37–47.
- [12] Koźmiński C., Karczmarczyk S. 1990. Rejonizacja potrzeb nawadniania roślin uprawnych na Pomorzu. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 387: 9–37.
- [13] Łabędzki L. 2009. Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN 3: 7–18.
- [14] Malicki L., Podstawka E., Kapusta B. 1990. Rejonizacja potrzeb deszczowania ważniejszych upraw polowych w środkowowschodniej Polsce. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 387: 89–102.
- [15] Nyc K., Pokładek R. 2009. Eksploatacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym. Ser. Współczesne problemy inżynierii środowiska, UP Wrocław, XIV: 1–87.
- [16] Ostrowski J., Łabędzki L. 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Wydawnictwo IMUZ Falenty-Warszawa.
- [17] Pierzgański E., Karczmarczyk S. 2006. Rozwój nawodnień na świecie i w Polsce. Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin” pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka. PWRiL Poznań: 15–25.
- [18] Przybyła Cz., Kozaczyk P. 1995. Problemy eksploatacji deszczowni w warunkach gospodarki rynkowej. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 266: 39–45.
- [19] Rocznik Statystyczny GUS. 2008.
- [20] Rojek M. 2006. Potrzeby nawadniania w Polsce. Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin” pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka. PWRiL Poznań: 91–108.
- [21] Rzekanowski Cz. 2000. Perspektywy nawodnień roślin wobec nadchodzących przemian w polskim rolnictwie. *Ekologia i Technika* VIII 3: 83–91.
- [22] Żarski J. 2006. Potrzeby i efekty nawadniania zbóż. Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin” pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka. PWRiL Poznań: 383–403.
- [23] Żarski J., Rolbiecki S., Dudek S., Rolbiecki R., Rzekanowski C. 2004. Potrzeby i efekty nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. Rozdział w monografii pod red. M. Rojka pt. Bilanse wodne ekosystemów rolniczych, Seria: Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska, t. III, Rozdział 11: 187–203.

Requirements, results and perspectives of plant irrigation on the areas characterized by distinct water deficits

Key words: irrigation of plants, areas with water deficits, irrigation needs, results of irrigation, directions of irrigation development

Summary

Paper presents the directions of plant irrigation development in Poland on the background of climatic and soil criterions, production results obtained in field experiments and production practice as well as current economic conditions. It was found that at the present time of modernization in Polish agriculture the development of pressure systems should be preferable for irrigation of field crops and that of micro-irrigation – for orchards and vegetables. Irrigation installations in Poland should cover an area about 1 mln ha till the year 2025, and they should be localized first of all on light soils in the central, lowland part of Poland.

Gospodarowanie wodą w krajobrazie wyżynnym

*Andrzej Mazur, Magdalena Patro, Roman Rybicki, Tadeusz Węgorzek,
Tomasz Zubala*

*Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin,
e-mail: tadeusz.wegorek@up.lublin.pl*

Słowa kluczowe: retencja mikrozelewni, linie okresowego spływu, ścieki opadowe, zadrzewienia

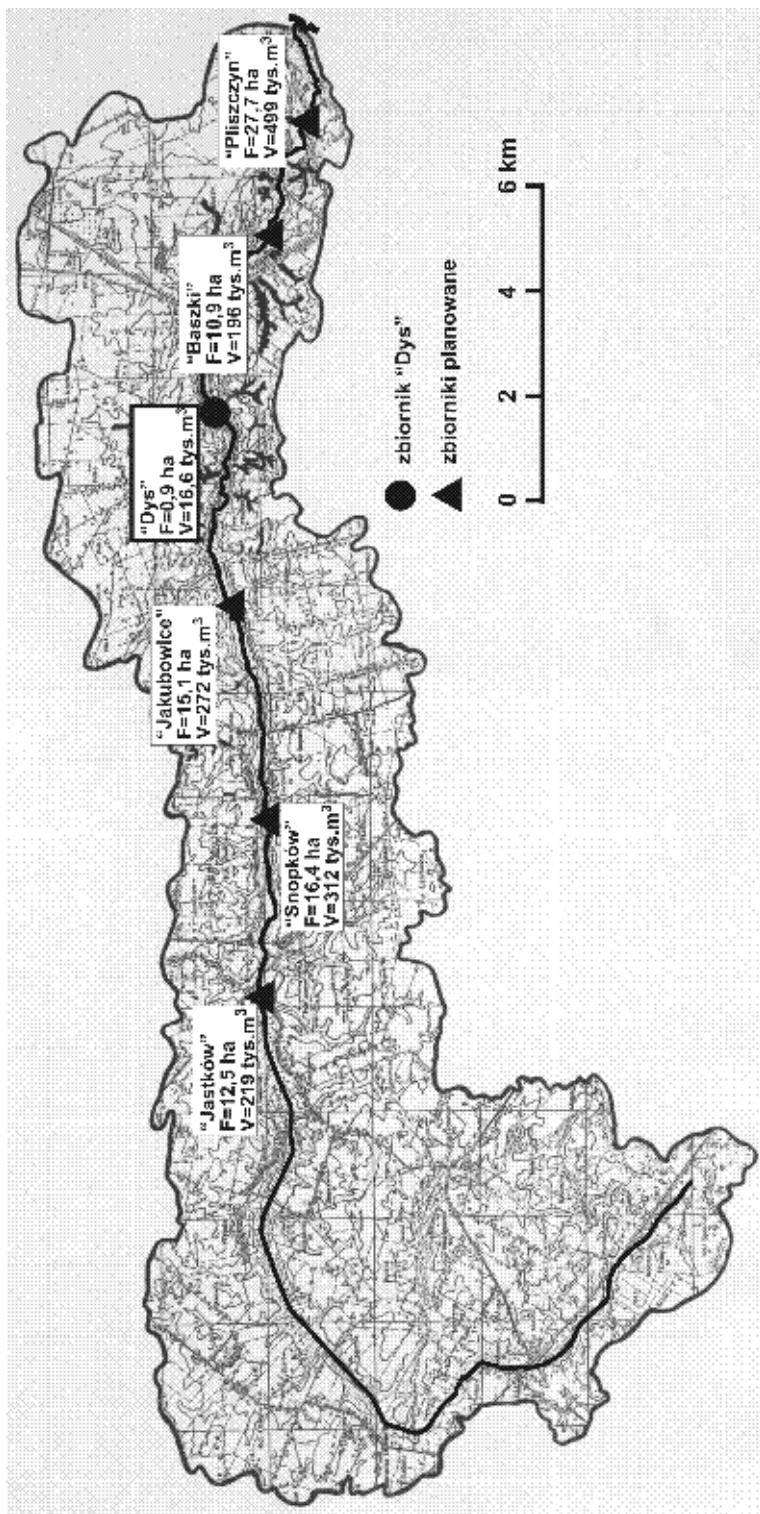
Wstęp

Pas wyżyn rozciąga się równoleżnikowo w południowo-środkowej i południowo-wschodniej Polsce. Jest to głównie prowincja fizyczno-geograficzna Wyżyny Polskie (36,4 tys. km²: Wyżyna Śląsko-Krakowska, Wyżyna Małopolska, Wyżyna Lubelsko-Lwowska) oraz mały skrawek zachodniej części Wyżyn Ukrainskich (1,6 tys. km² Wyżyny Wołyńsko-Podolskiej). Wyżyny łącznie zajmują 12% powierzchni kraju [6]. Warunki geomorfologiczne, specyfika opadów atmosferycznych, dominacja użytkowania rolniczego bez barier, korytarzy i zbiorników (w znaczeniu Koncepcji Terytorialnych Systemów Stabilności Ekologicznej), powodują przyspieszenie odpływu, zanieczyszczenie wód, degradację gleb.

Celem pracy jest wykazanie efektywności działań w ochronie jakości i zwiększaniu retencji wód powierzchniowych w mikrozelewniach rolniczych i zurbanizowanych przez stosowanie prostych rozwiązań konstrukcyjnych typu przegrody ziemne, zadrzewienia, oczyszczalnie ścieków opadowych – na podstawie wyników badań skuteczności takich obiektów na Wyżynie Lubelskiej.

Zbiorniki na rzekach

Na Wyżynie Lubelskiej w latach 1999–2009 wykonano jedynie 8 małych zbiorników retencyjnych o łącznej objętości 349,2 tys. m³ (powierzchnia 18,3 ha) oraz jeden duży zbiornik (Nielisz) o objętości 15,5 mln m³ (950 ha). W realizacji jest mały zbiornik w Wąwolnicy – 279 tys. m³; 2,4 ha. W najbliższym czasie planuje się wykonanie 6 zbiorników małej retencji o łącznej pojemności 2879,8 tys. m³ – 169,3 ha [30].



Rysunek 1. Zlewnia rzeki Ciemięgi z lokalizacją zbiornika „Dys” oraz zbiorników planowanych: F – powierzchnia, V – pojemność (opracowanie T. Zubala)

W latach 90. XX w. opracowano koncepcję zabudowy zbiornikowej doliny rzeki Ciemięgi (rys. 1) [27], w celu złagodzenia skutków leja depresji powstałego w związku z poborem wód podziemnych na zaopatrzenie aglomeracji lubelskiej [10]. Z sześciu planowanych obiektów, do użytku oddano jeden – (powierzchnia zalewu około 0,9 ha) w miejscowości Dys. Obserwacje prowadzone w latach 2004–2007 [36] potwierdziły konieczność zagospodarowania zlewni zbiornika w sposób ograniczający migrację składników biogenych i rumowiska [14]. Wody zasilające akwen charakteryzowały się przeważnie niezadowalającą jakością. Składnikami pogarszającymi ich jakość były przede wszystkim: PO_4^- , NO_2^- , BZT_5 , ChZT_{Cr} . Koncentracja fosforanów w rzece przekraczała niekiedy $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, co w połączeniu z dużą zdolnością zbiornika do zatrzymywania niektórych związków azotu oraz zawiesiny zadecydowało o jego poważnym zagrożeniu procesami eutrofizacji. Postępująca akumulacja zanieczyszczeń (w tym osadów dennych) w krótkim czasie ograniczyła przydatność gospodarczą akwenu i uniemożliwiła jego dalszą eksploatację [36].

Skutki erozji w zlewniach rolniczych

Przyczyną złej jakości wód zasilających zbiorniki na ciekach wyżynnych są spływy w zlewni powodujące erozję gleb, transport zawiesin i substancji rozpuszczonych (w tym biogenów). Procesy erozji wodnej niekorzystnie wpływają na zmianę warunków przyrodniczych i gospodarczo-organizacyjnych, mają istotny wpływ nie tylko na jakość ale i na bilans wody w środowisku. Spływ powierzchniowy, powiększający deficyt wodny zlewni, jest procesem epizodycznym. O jego kształtowaniu się decydują warunki geologiczno-geomorfologiczne, meteorologiczne oraz agrotechnika i organizacja przestrzeni. Spływ następuje po przekroczeniu tzw. fazy detencji, po której równocześnie z infiltracją istnieje odpływ powierzchniowy.

Badania prowadzone na Wyżynie Lubelskiej wykazały, że dopiero opad rzędu $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ i czasie trwania co najmniej 10 minut, może wywołać spływ powierzchniowy, a więc wielkość tę można uznać za progową dla opadu efektywnego [9]. Z badań Rejmana [21] wynika, że spływy powierzchniowe, jak i procesy erozyjne na stokach lessowych użytkowanych rolniczo przebiegają w sposób niezwykle dynamiczny i zróżnicowany. Współczynnik spływu (stosunek spływu powierzchniowego do wielkości opadu efektywnego) może wynosić od kilku aż do 50%, a zmienność ta wynika z erozyjności deszczów, warunków występujących w powierzchniowej warstwie gleby i rozwoju roślinności. Odpływ wody poza zlewnię kształtuje się przeważnie na poziomie od 1 do 10% opadu efektywnego, ale w warunkach sprzyjających może dochodzić nawet do 60%. Natomiast średnioroczny odpływ wody poza zlewnie wynosi od 0,9 do 2,1% średniorocznego opadu, z czego około 65% stanowi odpływ wody podczas wiosennego tajania śniegu [9].

W wyniku procesów denudacyjnych woda spływająca po powierzchni terenu i przemywająca profile glebowe zostaje zanieczyszczona zmieniając mętność oraz

barwę. Cząstki stałe materiału fluwialnego jak i rumowisko rozpuszczone w wodzie decydują o jej jakości i przydatności oraz przyspieszają proces eutrofizacji wód powierzchniowych. Badania erozyjne prowadzone na stokach lessowych uprawianych rolniczo pokazują, że pojedyncze opady efektywne uruchamiają do 60 tys. $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ materiału glebowego oraz 0,004–1,606 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ azotu ogółem, 0,0002–0,524 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ fosforu i 0,003–2,3 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ potasu [21, 38]. Natomiast poza zlewnię średniorocznie odpływa 400–510 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ materiału glebowego oraz 5–20 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ azotu, fosforu około 0,5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i potasu 2,5–17 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ [9, 25, 38]. Ilość, jak i koncentracja materiału glebowego oraz rumowiska rozpuszczonego wykazują dużą zmienność i zależność od miejsca lokalizacji w rzeźbie stoku, wielkości spływu powierzchniowego i śródglebowego, erozyjności deszczu i czasu trwania opadu, rodzaju uprawianych roślin i faz ich rozwoju.

Zbiorniki małej retencji poza dolinami rzek

Rozwiązaniem korzystnym z punktu widzenia zwiększania zasobów wodnych zlewni i poprawy jakości wód, ochrony przed erozją, zwiększania różnorodności biologicznej i atrakcyjności krajobrazu, kształtowania warunków siedliskowych, jest tworzenie małych zbiorników poza dolinami rzek [3, 4, 5, 11, 13, 19, 33].

Badania wielkości i możliwości retencionowania odpływów z małych rolniczych zlewni zboczowych prowadzono w dorzeczu Ciemiegi (tab. 1) w latach hydrologicznych 2001/02–2002/03 [35]. Stwierdzono, że odpływy z pojedynczych zlewni mogą rocznie wynosić 46 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, przy czym zdecydowanie większa część odpływu powierzchniowego przypada na półroczu zimowe (80–98% rocznego odpływu). W pierwszym roku badań suma opadów atmosferycznych zbliżona była do średniej z wielolecia – wyniosła 541,6 mm. Natomiast drugi rok charakteryzował się wyjątkowo dużym niedoborem opadów – zaledwie 422,2 mm (tab. 1). W efekcie w miesiącach letnich wystąpiło zjawisko suszy hydrologicznej. Wyniki pomiaru przepływów wskazują, że o rytmie odpływu ze zlewni decyduje przede wszystkim charakter zasilania. Jego źródłem jest opad deszczowy, który szczególnie w chłodnej porze roku poprzez spływ powierzchniowy bierze natychmiastowy udział w odpływie oraz opad śnieżny, który zasila odpływ w okresie roztopów. W ciepłym półroczu dochodzi do stopniowego zmniejszania się odpływu. Opady letnie, dzięki wysokim temperaturom powietrza oraz wegetacji roślin zużywane są w większej części na procesy ewapotranspiracji. W lipcu i sierpniu pojawiają się dłuższe okresy z całkowitym zanikiem odpływu. Korzystne warunki do lokalizacji małych zbiorników występują w podtapianych ujściowych odcinkach badanych zlewni, w których od wielu lat nie prowadzi się konserwacji urządzeń melioracyjnych. Wykonanie w takich miejscach piętrzenia około 1 m dałoby możliwość retencionowania dodatkowo 4–6 tys. m^3 wody, przy powierzchni rozlewiska 0,5–1 ha [37].

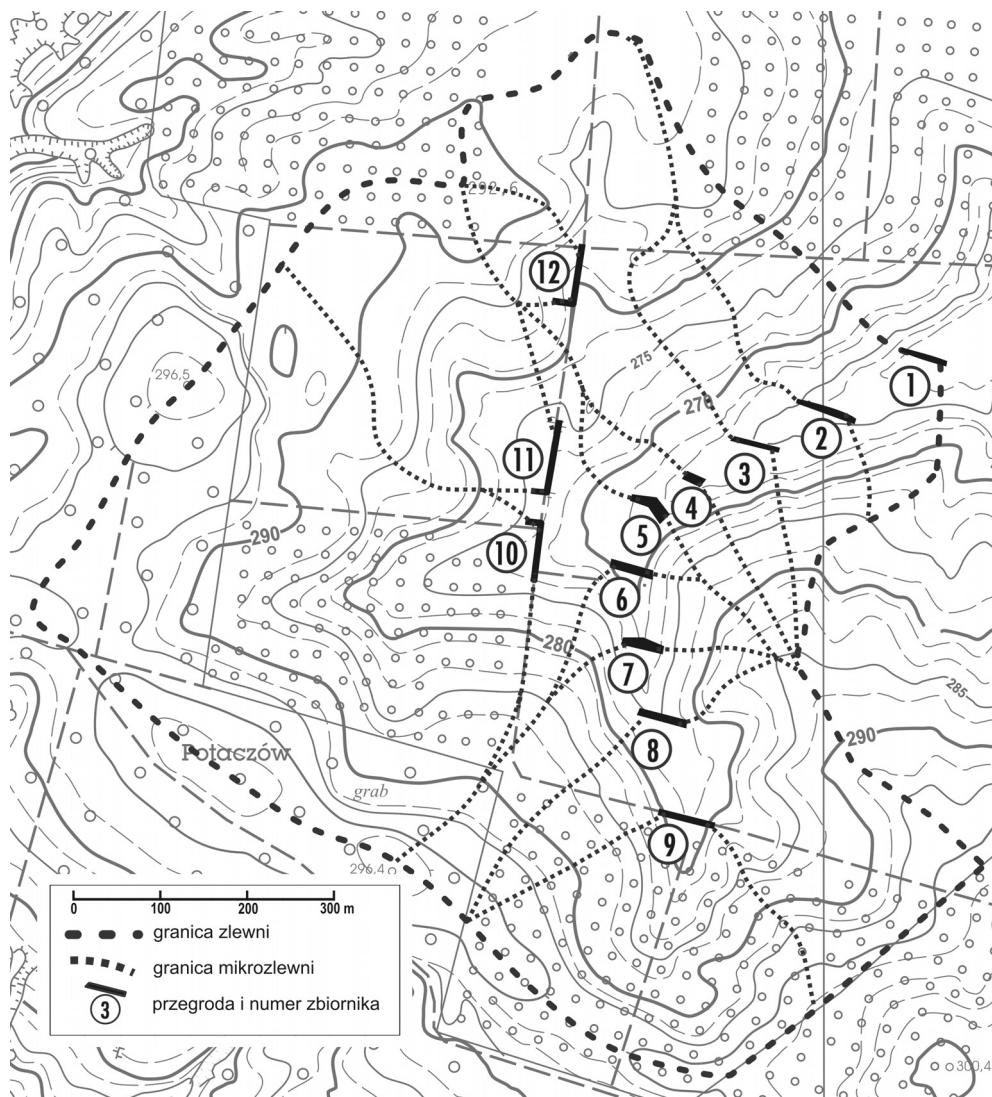
Tabela 1. Sumy opadów atmosferycznych oraz wielkości okresowych wskaźników odpływu powierzchniowego w zlewniach w dolinie Ciemięgi

Rok	Opad [mm]	Zlewnia 1 (4,5 km ²)			Zlewnia 2 (2,3 km ²)		
		przepływ średni [dm ³ · s ⁻¹]	Q _{sr}	odpływ V [tys. m ³ · km ⁻²]	przepływ średni [dm ³ · s ⁻¹]	Q _{sr}	odpływ V [tys. m ³ · m ⁻²]
2001/2002	XI–IV	204,1	10,7	37,0	5,0	33,9	
	V–X	337,5	2,5	9,0	0,3	2,1	
	XI–X	541,6	6,6	46,0	2,6	36,0	
2002/2003	XI–IV	130,1	8,2	28,5	3,9	26,4	
	V–X	292,1	1,6	5,8	0,06	0,4	
	XI–X	422,2	4,9	34,3	2,0	26,8	

Jednym ze sposobów ograniczania odpływu wody i gleby ze zlewni rolniczych jest zastosowanie przegród ziemnych w liniach okresowego spływu. Kompleksowa zabudowa zlewni użytkowanej rolniczo i sadowniczo z zastosowaniem przegród ziemnych została wprowadzona przez Rubaję [22] w Olszance na Działach Grabowieckich – w zlewni o powierzchni 73,41 ha zainstalowano 12 przegród. Przegrody usytuowano zgodnie z kierunkiem uprawy pól (nie stanowią przeszkody przy wykonywaniu zabiegów agrotechnicznych), lub trasą dróg rolniczych, dlatego najczęściej bieżą nie prostopadle do den dolin (linii koncentracji spływu wód). Powyżej przegród (o wysokości około 1 m, z koroną w poziomie) powstały zbiorniki retencjonujące spływy z mikrozelewni o bardzo zróżnicowanych wielkościach, kształtach i urzeźbieniu (rys. 2).

W latach 2001/2002–2003/2004 prowadzone były badania skuteczności przegród w ograniczaniu erozji wodnej oraz zdolności retencyjnych w stosunku do materiału glebowego i wody [16, 17, 18]. System zabudowy linii okresowych spływów wykazał dużą skuteczność w ograniczaniu odpływu wyerodowanego materiału glebowego poza zlewnię, powodował przerywanie ciągłości i koncentracji spływu wody. Przegrody umożliwiły także retencjonowanie wód w powstałym (powyżej przegród) systemie „kaskadowych” zbiorników.

Namuly gromadzące się w zbiornikach były okresowo usuwane i odkładane na skarpach odpowietrznych i koronach przegród. W związku z tym, wysokości przegród – piętrzeń były zmienne i wynosiły od 0,5 do 2,1 m (w okresie badań). Pojemności maksymalne poszczególnych zbiorników także ulegały zmianom – od 102 do 740 m³, przy czym np. pojemności zbiorników 2, 3 oraz 5 (rys. 2) w trzyletnim okresie badań zmieniały się o ponad 100% (tab. 2). Powierzchnia wszystkich zbiorników przy wypełnieniu wodą do poziomu koron przegród wynosiła 0,7–0,8 ha, co stanowiło około 1% całkowitej powierzchni zlewni. Łączna (zmienna) pojemność zbiorników odpowiadała ilości wody jaką na powierzchnię zlewni dostarczał opad wielkości 3,5–4,8 mm. W wypadku kolmatacji zbiorników materiałem glebowym transportowanym ze spływem z mikrozelewni, ich zdolności retencjonowania wody



Rysunek 2. Lokalizacja przegród ziemnych w zlewni w Olszance [17]

były ograniczane. Zmniejszanie przez namuły łącznej objętości zbiorników wynosiło od 6% w 2004 r. do 36% w roku 2003. Z reguły, najintensywniej zamulane były zbiorniki 1–5 (jako położone najniżej, „zasilane” prawdopodobnie były zawiesiną nie zretencjonowaną w zbiornikach położonych wyżej), natomiast zbiorniki 9 i 10 praktycznie utrzymywały pełną pojemność (93–100%), z racji pokrycia ich zlewni przez sady w pełnym zadarnieniu (rys. 2, tab. 2) [17].

Tabela 2. Zdolności retencyjne zbiorników powstałych powyżej przegród ziemnych w zlewni w Olszance na koniec okresów wegetacyjnych: V_{\max} – maksymalna pojemność zbiornika; V_n – wielkość zakolmatowania; $V_{\max} - V_n$ – zdolność retencjonowania wody

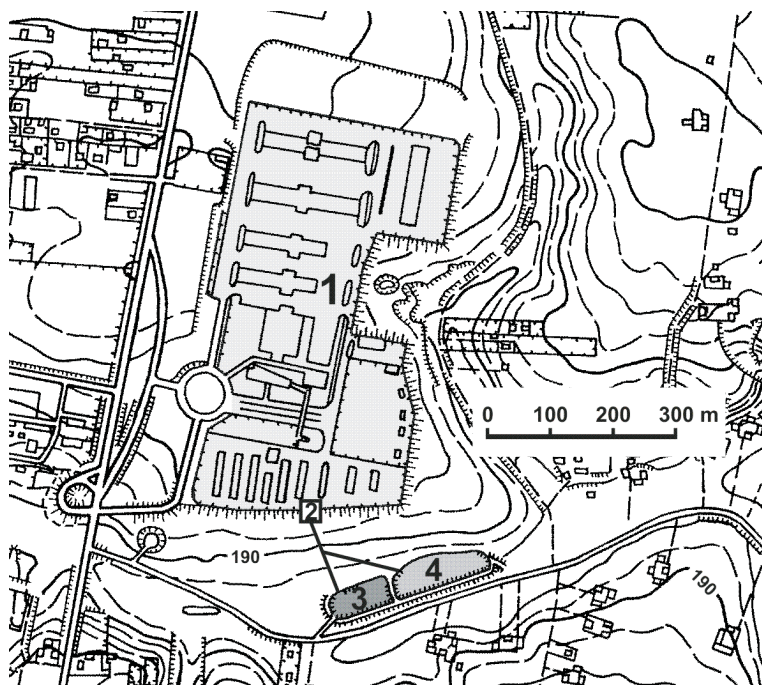
Zbiornik	Okres wegetacyjny 2002 r.				Okres wegetacyjny 2003 r.				Okres wegetacyjny 2004 r.			
	V_{\max}	V_n	$V_{\max} - V_n$		V_{\max}	V_n	$V_{\max} - V_n$		V_{\max}	V_n	$V_{\max} - V_n$	
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	% V_{\max}	[m ³]	[m ³]	[m ³]	% V_{\max}	[m ³]	[m ³]	[m ³]	% V_{\max}
1	259	151	108	42	384	85	299	78	300	53	247	82
2	210	98	112	53	102	93	9	9	214	52	162	76
3	154	105	49	32	210	203	7	3	335	16	319	95
4	166	84	82	49	144	123	21	15	114	19	95	83
5	136	50	86	63	276	206	70	25	290	15	275	95
6	325	66	259	80	386	196	190	49	228	11	217	95
7	337	81	256	76	517	164	353	68	375	14	361	96
8	313	79	234	75	426	167	259	61	382	—	382	100
9	273	10	263	96	264	13	251	95	251	—	251	100
10	553	20	533	96	523	36	487	93	511	—	511	100
11	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	406	84	322	79	299	31	268	90
12	740	137	603	82	684	189	495	72	447	—	447	100
Suma	3466*	881*	2585	75	4322	1559	2763	64	3746	211	3535	94

n.o. – nie oznaczono, * bez zbiornika 11.

Retencjonowanie ścieków opadowych

Kształtując zasoby wodne i ich znaczenie w funkcjonowaniu krajobrazu należy zwrócić większą uwagę na konieczność racjonalnego postępowania ze ściekami opadowymi – retencjonowania i oczyszczania oraz stworzenia warunków do ich infiltracji i zasilania zbiorników wód podziemnych.

Przykładowym rozwiązaniem może być oczyszczalnia ścieków opadowych w Elizówce koło Lublina (rys. 3). Obiekt zbiera spływy z 20 ha uszczelnionej powierzchni giełdy rolno-ogrodniczej. Ścieki po przepłynięciu przez komorę sita łukowego trafiają kolejno do dwóch zbiorników, z których pierwszy pełni rolę szczelnego osadnika (powierzchnia 0,43 ha, pojemność 3900 m³), a drugi zbiornika infiltracyjnego (powierzchnia 0,6 ha, pojemność 5600 m³). Urządzenia zaprojektowano na deszcz miarodajny $p = 50\%$, czas trwania opadu 10–120 minut i jednorazową objętość ścieków odpływającą z terenu giełdy 1242–2839 m³. Obiekt charakteryzuje wysoka skuteczność oczyszczania ścieków – w roku hydrologicznym 2001/2002 przeciętna efektywność usuwania zawiesiny wyniosła 92%, a wartość przewodności elektrolitycznej zmniejszała się średnio o 62%. Zadowolający był również stopień eliminacji składników biogenych. Przykładowo, koncentracja mineralnych związków azotu zmniejszała się o 40–54% [34]. W początkowym okresie funkcjonowania oczyszczalni w zbiornikach zamontowane były studzienki z pompami zatopionymi,



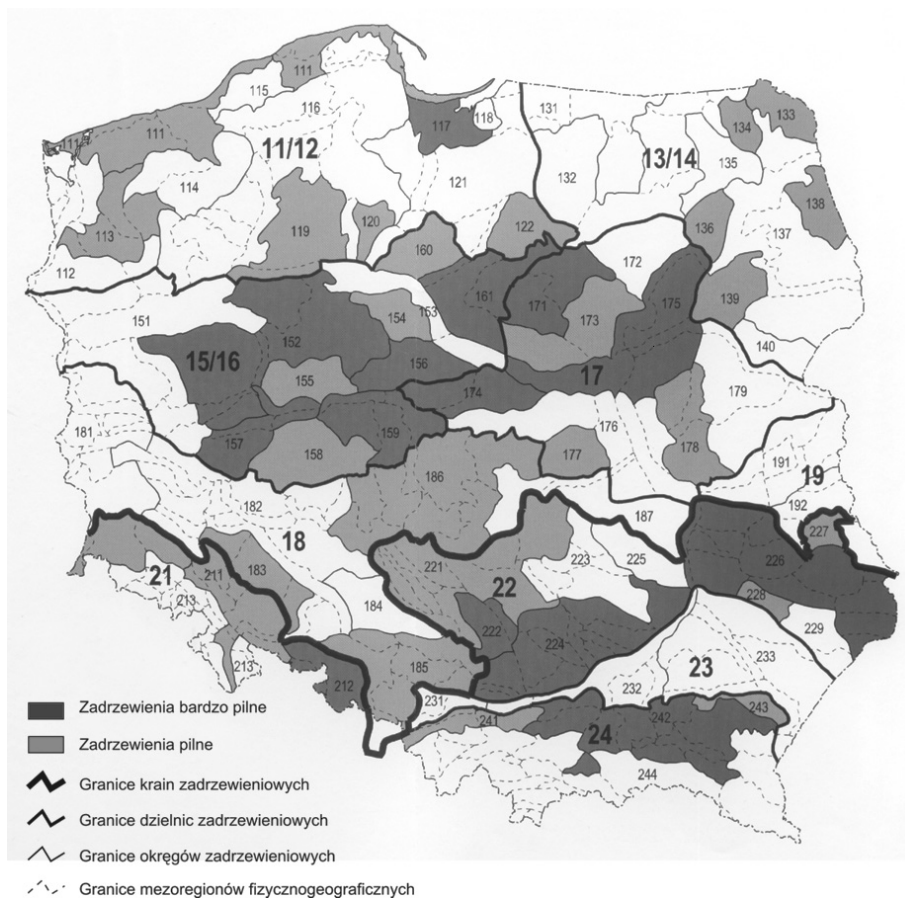
Rysunek 3. Oczyszczalnia ścieków opadowych w Elizówce: 1 – giełda rolno-ogrodnicza, 2 – sito łukowe, 3 – osadnik, 4 – zbiornik infiltracyjny (opracowanie T. Zubala)

które umożliwiały transport oczyszczonych ścieków z powrotem na teren giełdy, gdzie wykorzystywano je do zmywania nawierzchni ulic i placów targowych. Stworzenie swoistego obiegu wód opadowych pozwoliło na oszczędność wody wodociągowej, co ma szczególne znaczenie w obszarze pogłębiającego się deficytu wodnego, jednak powtarzające się kradzieże uniemożliwiły eksploatację przepompowni.

Zadrzewienia śródpolne

Zadrzewienia pełnią szereg funkcji stymulujących korzystne procesy w otwartych krajobrazach rolniczych. Ich wpływ na zwiększenie retencji wodnej polega przede wszystkim na ograniczaniu parowania terenowego, akumulacji śniegu, ułatwianiu infiltracji, zwiększaniu zawartości substancji organicznej w glebie [24, 32].

Zadrzewienia liniowe właściwie rozmieszczone w terenie, w zimie pełnią istotną funkcję w ograniczaniu zwiewania śniegu z pozbawionych roślinności pól, a znaczne ilości śniegu zatrzymują na obszarze swych obrzeży. Badania wykonane po intensywnych opadach śniegu w czasie zmiennych kierunków wiatru, w sąsiedztwie zadrzewienia pasowego (o szerokości 7–9 m, odcinkami o różnym zwarcie), wykazały tworzenie się zasp o szerokości do kilkunastu metrów po obu stronach bariery. Kulminacja wysokości zasp miała miejsce w środku lub na obrzeżach zadrzewienia,



Rysunek 4. Regiony o najpilniejszych potrzebach zadrzewieniowych [32]

natomiast zapas wody w śniegu zawsze był największy w strefie obrzeży zadrzewienia, nie wykazując związku z miąższością zasp. W efekcie sumarycznego opadu atmosferycznego 53 mm (w czasie kształtowania się pokrywy śnieżnej – 7 tygodni, średnie dobowe temperatury powietrza od $-14,0$ do $1,2^{\circ}\text{C}$ – z reguły ujemne) i działalności transportowej wiatru oraz akumulacyjnej zadrzewienia, zasoby wody w zaspach osiągnęły z reguły około 75 mm, a w rejonie obrzeży zadrzewienia 100–140 mm [28].

Zadrzewienia wpływają korzystnie na jakość wód podziemnych, szczególnie w zakresie zmniejszania zagrożeń eutrofizacją. Badania Bartoszewicz [1] prowadzone na terenie Równiny Kościańskiej wykazały wyraźne (3–13-krotne) zmniejszenie zawartości azotanów w wodach gruntowych pod zadrzewieniami w stosunku do wód pod sąsiednimi polami uprawnymi. Szajdak i Jaskulska [26] stwierdzili, że w wodach gruntowych pod zadrzewieniami mniejsza jest także zawartość fosforu fosforanowego.

Na rysunku 4 przedstawiono istniejące potrzeby zadrzewieniowe w różnych regionach Polski [32]. W dzielnicach zadrzewieniowych na nizinach środkowo-

polских są okręgi o pilnych oraz bardzo pilnych potrzebach zadrzewieniowych chroniących przed szkodliwymi wiatrami. W prowincji fizycznie geograficznej Wyżyny Polskie, znaczne części Wyżyn Małopolskiej i Śląsko-Krakowskiej oraz cała Wyżyna Lubelska, bardzo pilnie potrzebują wprowadzenia systemowych zadrzewień (rys. 4) ze względu na ochronę przed szkodliwymi wiatrami, ale przede wszystkim zadrzewień pełniących funkcje barier ograniczających spływy powierzchniowe – zwiększających retencję krajobrazową.

Struktura rolniczej przestrzeni produkcyjnej

W ochronie zasobów wodnych i glebowych na obszarach wyżynnych, duże znaczenie ma prawidłowe rozmieszczenie użytków, granic oraz kształt i wielkość pól [2, 7, 12, 20, 24, 29, 31]. Najlepsze efekty ochronne uzyskuje się przy warstwicowym przebiegu między i poprzecznostokowej uprawie roli, stanowiących w tym układzie bariery ograniczające spływ wody. O ile stosowanie tej reguły nie stwarza problemów w dużych gospodarstwach, gdzie w toku prac urządzeniowo-rolnych można wydzielić pola o takim układzie, to w przypadku małych gospodarstw występują trudności z jej upowszechnieniem.

Obszary wyżynne charakteryzują się względnie najgorszym rozłogiem gruntów rolnych – zdarzają się tu gospodarstwa o powierzchni do 5,0 ha, składające się z 8 i większej liczby działek. Szerokość większości działek przy takim rozdrobnieniu jest zbyt mała, aby była możliwa uprawa poprzecznostokowa, a scalenia z projektowaniem warstwicowego układu granic, przy skupionym lub liniowym systemie zabudowy podważałyby zasady sprawiedliwości społecznej (jeden rolnik miałby grunty przy zabudowaniach, inny zaś w znacznej od nich odległości). Utrudnienia w kształtowaniu optymalnego rozłogu gruntów potęgowane są dodatkowo rozproszeniem działek w terenie – średnie odległości gruntów od ośrodka gospodarczego są tu większe niż 3 km [29].

Na terenach wyżynnych pożądanym i koniecznym jest zwiększenie powierzchni lasów. Zwiększanie lesistości na obszarach z glebami o dużej przydatności rolniczej (np. tereny lessowe) powinno odbywać się przede wszystkim przez wyrównywanie granicy rolno-leśnej – szczególnie w sąsiedztwie zalesionych wąwozów i innych nieużytków poerozcyjnych [15, 23].

Podsumowanie i wnioski

Krajobrazy wyżynne Polski, szczególnie krajobrazy wyżyn lessowych cechuje silnie rozregulowany obieg wody i okresowo duże natężenie procesów erozji gleb. Retencja wodna jest ograniczona z powodu braku lub niewłaściwego usytuowania barier ograniczających spływy. Zbyt mała jest lesistość, a sieć zbiorników retencyjnych bardzo uboga. Rozbudowa systemu zbiorników wodnych w wielu przypadkach jest działaniem nieefektywnym z powodu zagrożenia ich funkcji wodochronnych akumulacją materiału wyerodowanego w zlewniach.

Warunkiem ochrony i kształtowania zasobów wodnych jest kompleksowe rozwiązanie problemu, z zachowaniem hierarchii potrzeb. Podstawą jest realizacja działań spowalniających odpływ wody w zlewni – zwiększenie retencji krajobrazowej zlewni:

- właściwe rozmieszczenie podstawowych sposobów użytkowania gruntów – orne, lasy, użytki zielone (zadarnienia);
- zwiększenie lesistości – powiększenie istniejących kompleksów leśnych (często silnie rozczłonkowanych) oraz tworzenie małych lasków (minimalna powierzchnia 0,1 ha) na stromych partiach zboczy i fragmentach powierzchni, które z różnych przyczyn nie są lub nie powinny być użytkowane rolniczo;
- budowa systemu zadrzewień stanowiących bariery przeciwwietrzne oraz ograniczających spływy powierzchniowe, będących jednocześnie korytarzami ekologicznymi;
- ochrona w formie użytków ekologicznych małych powierzchniowo zabagnień, zadarnień, oczek wodnych itp.;
- budowa systemu tras (korytarzy) bezpiecznego transportu rolniczego (drogi rolnicze) oraz transportu nadmiaru wód i rumowiska;
- zabudowa linii okresowego spływu systemami umożliwiającymi retencjonowanie wody i produktów erozji – np. systemem przegród ziemnych;
- budowa zbiorników małej retencji w dnach dolin zboczowych;
- budowa oczyszczalni ścieków opadowych z terenów uszczelnionych, z wyposażeniem w zbiorniki retencyjne ścieków oczyszczonych.

Zwiększenie retencji zlewni jest warunkiem tworzenia retencji zbiornikowej dolin rzecznych.

Należy podkreślić, że prawidłowa realizacja kompleksowych działań w zakresie ochrony i kształtowania zasobów wodnych obszarów wiejskich, szczególnie w warunkach drobnej własności indywidualnej musi być poprzedzona scaleniami gruntów.

Literatura

- [1] Bartoszewicz A. 2004. Wpływ zadrzewień śródpolnych na zwiększenie odporności środowiska wodnego agroekosystemów na degradację chemiczną. *Roczn. Glebozn.* 55(2): 17–28.
- [2] Hernik J. 2005. Model zarządzania przeciwerozyjną ochroną gleb. *Acta Agrophysica* 5(1): 31–38.
- [3] Józefaciuk Cz., Józefaciuk A. 1998. Erozja gleb i melioracje przeciwerozyjne w regionie wyżyn południowo-wschodniej Polski. Cz. III. Zagospodarowanie wąwozów. *Bibl. Fragm. Agronom.* 4A: 197–229.
- [4] Kaca E. 2007. Gospodarka wodna w rolnictwie w warunkach niedoboru wody. *Wiad. Melior. i Łąk.* 3: 129–132.
- [5] Koc J., Cymes I., Skwierawski A., Szyperek U. 2001. Znaczenie ochrony małych zbiorników w krajobrazie rolniczym. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 476: 397–407.
- [6] Kondracki J. 1998. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa: 440 ss.
- [7] Koreleski K. 1997. Ochrona gruntów przed erozją w gospodarce przestrzennej. *Rocz. AR w Poznaniu.* CCXCIV: 195–202.
- [8] Łabędzki L. 1997. Funkcje i efekty małej retencji wodnej na obszarach rolniczych w świetle programu małej retencji dla województwa bydgoskiego. Mat. konf. „Woda jako czynnik warunkujący wielofunkcyjny i zrównoważony rozwój wsi i rolnictwa”. Wyd. IMUZ, Falenty: 38–45.

- [9] Mazur A., Pałys S. 2006. Erozja wodna gleb w rolniczej zlewni lessowej na Wyżynie Lubelskiej w latach 1987–2005. *Roczn. AR w Poznaniu* 375: 75–80.
- [10] Michalczyk Z. 1995. Stosunki wodne dorzecza Ciemięgi. Mat. konf. nauk. „Proekologiczne zagospodarowanie zlewni rzeki Ciemięgi”. Wyd. AR w Lublinie: 25–35.
- [11] Mioduszewski W. 2003. Mała retencja. Ochrona zasobów wodnych i środowiska naturalnego. Wyd. IMUZ, Falenty: 166 ss.
- [12] Noga K., Pijanowski Z. 1993. Sposób ujmowania i rozwiązywania zagadnień ochrony środowiska w pracach scaleniovych. *Prace Nauk. Politech. Warszawskiej, Geodezja* 32: 81–89.
- [13] Nyc K., Pokładek R. 2007. Celowość i kierunki rozwoju melioracji w Polsce. *Wiad. Melior. i Łqk.* 3: 101–105.
- [14] Orlik T., Węgorek T. 1995. Zagrożenie erozyjne w zlewni rzeki Ciemięgi i koncepcja przeciwdziałania. Mat. konf. nauk. „Proekologiczne zagospodarowanie zlewni rzeki Ciemięgi”. Wyd. AR Lublin: 51–63.
- [15] Orlik T., Węgorek T. 2000. Renaturyzacja gruntów porolnych na terenie Krzczonowskiego Parku Krajobrazowego. W: Renaturyzacja obiektów przyrodniczych – aspekty ekologiczne i gospodarcze. Z. Michalczyk (red.), Wyd. UMCS Lublin: 273–277.
- [16] Patro M. 2004. Jakość wód w małych zbiornikach wodnych w zlewni rolniczej. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inżynieria Środowiska XIII*, 502: 381–389.
- [17] Patro M. 2007. Przegrody ziemne linii ciekowej jako element kształtowania retencji i ochrony przed erozją. Praca doktorska (maszynopis), AR w Lublinie: 184 ss.
- [18] Patro M. 2008. Influence of in-field retention reservoirs on soil outflow from a catchment. *Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam.* 39: 103–109.
- [19] Pierzgański E. 2007. Specyfika obiektów małej retencji w lasach. *Wiad. Melior. i Łqk.* 3: 120–124.
- [20] Rajda W. 2005. Woda w zagospodarowaniu przestrzennym obszarów wiejskich. *Post. Nauk Rol.* 3: 33–42.
- [21] Rejman J. 2006. Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcanie gleb i stoków lessowych. *Acta Agrophysica*. 136: 90 ss.
- [22] Rubaj J. 2004. Sposób zabezpieczania gruntów przed erozją wodną powierzchniową i wąwozową. Urządzenie do zabezpieczenia gruntów przed erozją wodną powierzchniową i wąwozową. Patent nr P.345788.
- [23] Rybicki R. 2006. Zagospodarowanie gruntów zagrożonych erozją w świetle rolnictwa zrównoważonego. *Inżynieria Roln.* 6(81): 55–61.
- [24] Ryszkowski L., Błazy S., Kędziora A. (red). 2003. Kształtowanie i ochrona zasobów wodnych na obszarach wiejskich. Wyd. Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN: 70 ss.
- [25] Stachowicz K. 1990. Zanieczyszczenia obszarowe ze zlewni rolniczych o różnym sposobie zagospodarowania i ukształtowania terenu. W: Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych. Mat. Semin. 26, Falenty: 221–232.
- [26] Szajdak L., Jaskulska R. 2006. Rola zadrzewień śródpolnych w ograniczaniu migracji związków chemicznych wodą gruntową. *Rocz. AR w Poznaniu* 375: 187–192.
- [27] Szczepaniak Z., Olak P. 1995. Projekt budowy zbiorników wodnych w dolinie rzeki Ciemięgi. Mat. konf. nauk. „Proekologiczne zagospodarowanie zlewni rzeki Ciemięgi”. Wyd. AR Lublin: 65–83.
- [28] Węgorek T., Rybicki R. 2006. Wpływ budowy zadrzewienia śródpolnego na kształtowanie pokrywy śnieżnej. *Acta Agrophysica* 7(1): 265–273.
- [29] Woch F. 2007. Urzędniowe metody zmniejszania zagrożenia erozyjnego gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. 10: 79–101.
- [30] WZMiUW w Lublinie, 2009. Informacje i opracowania Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Lublinie.
- [31] Zajączkowski K. 1989. Zadrzewienia w przestrzennym planowaniu terenów wiejskich. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 380: 133–141.
- [32] Zajączkowski K. 2005. Regionalizacja potrzeb zadrzewieniowych w Polsce. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i Monografie, 4: 127 ss.
- [33] Ziemiński S. 1978. Ochrona gleb przed erozją. PWRiL, Warszawa: 123 ss.
- [34] Zubala T. 2003. Oczyszczanie ścieków opadowych odpływających z giedy rolno-ogrodniczej. *Acta Scientiarum Polonorum – Formatio Circumiectus* 2(2): 81–91.
- [35] Zubala T. 2005. Możliwości zwiększenia retencji wodnej w małych lessowych zlewniach rolniczych. Praca doktorska (maszynopis), Akad. Roln. w Lublinie: 227 ss.
- [36] Zubala T. 2009. Oddziaływanie zbiornika zaporowego na jakość wód małej rzeki wyżynnej. Mat. 21 Zjazdu Hydrobiologów Polskich „21 wiek – czy zabraknie nam czystej wody?”, Wyd. UP w Lublinie: 86–87.

- [37] Zubala T., Pałys S. 2008. Przyrodniczo-gospodarcze warunki kształtowania retencji wodnej suchej doliny lessowej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 528: 341–347.
- [38] Żmuda R. 2006. Funkcjonowanie systemu transportu fluwialnego w małej zlewni zagrożonej erozją wodną gleb. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 544: 165 ss.

Water management in the upland landscape

Key words: retention in micro-catchment, periodic flow lines, precipitation runoff, afforestations

Summary

Uplands occupy 12% area of Poland. Geomorphologic conditions, specificity of precipitations, domination of agricultural usage without barriers, passageways and reservoirs, cause accelerating of outflow, water contamination, soil degradation. Effectiveness of simple solutions in landscape open (ground dykes, afforestations) and urbanized (precipitation sewage treatment) was shown by citing the newest results of research on the techniques of increasing surface water retention in agricultural and urbanized micro-catchments. It should be emphasized that realization of effective water- and soil-protective systems on agricultural areas is determined by carrying out complex land consolidations.

Gospodarowanie wodą w obszarach dolinowych

Krzysztof Nyc, Ryszard Pokładek
*Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska
Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław
e-mail: nyc@miks.up.wroc.pl
e-mail: pokl@miks.up.wroc.pl*

Słowa kluczowe: doliny rzeczne, hydrologia zlewni nizinnych, gospodarka wodna zlewni

Wstęp

Przegląd warunków geomorfologicznych Polski [2] wskazuje na przewagę terenów nizinnych i występowanie szerokich dolin rzecznych. Z przeglądu zlewni rzek nizinnych wynika, że 27% obszaru kraju obejmują zlewnie o średnim spadku powierzchni poniżej 1%. Są to głównie zlewnie Baryczy (dopływ Odry), Kanału Mosińskiego, Obry, Noteci (dopływy Warty), Narwi (dopływ Wisły), Krzyny (dopływ Bugu). Zlewnie o spadku powierzchni do 2 ‰ zajmują kolejne 40% obszaru Polski. Pionowy układ powierzchni Kraju wskazuje, że tereny wzniesione 0–100 m zajmują 25,2%, a w przedziale 100–200 m n.p.m. 49,7% ogólnej powierzchni Polski [1]. Obszary dolinowe zlewni rzecznych oraz o małych spadkach zajmują w Polsce ponad 60% powierzchni. Są one przeważnie pod wpływem zasilania w wodę typu opadowo-gruntowego. Na nich też zlokalizowanych jest najwięcej technicznych urządzeń melioracyjnych przeważnie o działaniu odwadniająco-nawadniającym.

Doliny rzeczne należą do obszarów o szczególnych walorach przyrodniczych z bogatą fauną i florą. Najczęściej są pokryte glebami hydrogenicznymi wytworzonymi w wyniku procesów i zjawisk hydrologicznych (silnie uwodnione gleby organiczne i organiczno-mineralne oraz mady przepuszczalne). Uwilgotnienie tych gleb uzależnione jest w znacznym stopniu od przebiegu zjawisk hydrologicznych, np. okresowych wylewów rzek, infiltracji wody z ich koryta, zasilania podsiąkowego z zasobów wód gruntowych, a także z opadów atmosferycznych. Gleby obszarów dolinowych bywają dość żyzne, lecz dla ich rolniczego użytkowania najczęściej wymagają uregulowania stosunków wodnych. Obecność gleb organicznych, zwłaszcza pokrytych trwałymi użytkami zielonymi, bardzo korzystnie wpływa na stosunki

wodne sąsiadujących gleb przepuszczalnych, znacząco poprawiając ich (z natury małe) zdolności retencyjne. Melioracje terenów dolinowych, zwłaszcza gleb organicznych należą do zabiegów trudnych. Często wymagają złożonych rozwiązań i etapowej realizacji poprzedzonej wnikliwym rozpoznaniem lokalnych warunków siedliskowych. Problem ten wynika ze różnicowania sposobu i intensywności zasilania obszarów w wodę, różnej wrażliwości gleb hydrogenicznych na zmianę uwilgotnienia oraz różnicowanych potrzeb wodnych zbiorowisk roślinnych porastających doliny rzeczne. Zbiorowiska te mogą korzystnie wpływać na poprawę jakości wód płynących i gruntowych przyległych obszarów. Ważną więc rolę odgrywa tu przestrzenne zagospodarowanie zlewni rzecznych i racjonalne użytkowanie terenów dolinowych, by przy udziale prawidłowo eksploatowanych urządzeń melioracyjnych optymalizować warunki powietrzno-wodne gleb i równocześnie uzyskiwać polepszoną jakość wód.

W opracowaniu przytoczono wybrane informacje z wieloletnich badań gospodarowania wodą, prowadzonych przez autorów w kilku niedużych, lecz różniących się wielkością powierzchni i warunkami glebowymi, zlewniach rolniczych doliny środkowej Odry. Ich na ogół małe i różnicowane naturalne zasoby wodne stawały się wystarczające do zaspokojenia lokalnych potrzeb rolnictwa i środowiska przyrodniczego, pod warunkiem prowadzenia dobrej eksploatacji urządzeń wodno-melioracyjnych.

Podstawy gospodarowania wodą w dolinach rzecznych

Doliny rzeczne będące pod wpływem procesów hydrologicznych mają na ogół dość płytkie, lecz okresowo zmieniające się poziomy wód gruntowych. Dobrze zagospodarowane ich powierzchnie z uregulowanymi korytami cieków w sposób przyjazny środowisku, mają duże zdolności retencjonowania wody. Nauka i praktyka rolnicza wskazują, że zimowe i wczesno-wiosenne zalewy użytków zielonych mogą trwać 2–3 tygodnie bez szkody dla środowiska przyrodniczego, natomiast w okresie wegetacyjnym tylko 1–2 dni. W tej sytuacji wymagana jest ich skuteczna ochrona przed zalewem letnim, a w okresie deficytu wody w glebie stosowanie nawodnień przeważnie grawitacyjnych. Nawodnienia ciśnieniowe (głównie deszczowniane) stają się tu mało opłacalne i mogą jedynie dotyczyć wyżej usytuowanych gruntów ornych (w warunkach występowania głęboko zalegających wód gruntowych).

Bioróżnorodność, a przy tym duża wartość przyrodnicza i gospodarcza obszarów dolinowych, szczególnie z udziałem gleb torfowych wymaga dużo rozważań przy ich melioracji. Są one jednak niezbędne przy rolniczym użytkowaniu doliny. Prace Tołpy [13], Prończuka [12], Ostromęckiego [10], Okruszki [8], Lipki [3] i wielu innych badaczy, wskazują na celowość ograniczenia zakresu melioracji gleb torfowych, a w miarę możliwości wyłączenia ich z rolniczego użytkowania.

Zmeliorowane użytki zielone na glebach torfowych przez kilka lat wysoko plonują w wyniku uwalniania się łatwo przyswajalnych związków azotowych. Z cza-

sem, na skutek murszenia masy torfowej i powstawania struktury ziarnistej torfu, zanika podsiąk kapilarny oraz zmniejsza się zdolność retencyjna gleby. Usunięcie nadmiaru wody z górnych poziomów torfowiska umożliwi ich natlenienie, przez co uruchamiają się intensywne procesy mikrobiologiczne powodujące murszenie i zaniekanie pokładów torfowych. Stwierdzono, że w naszych warunkach klimatycznych, przeciętnie w ciągu roku zanika powierzchnia gleb torfowych grubości 3 cm przy uprawie polowej i 1 cm w warunkach użytkowania łąkowo-pastwiskowego. W Polsce, dla ochrony gleb torfowych po ich zmeliorowaniu, przeznaczano je na trwałe użytki zielone. Biorąc pod uwagę te niekorzystne zmiany gleb torfowych, a równocześnie doceniając bardzo pozytywne działanie roślinności bagiennej z torfowym podłożem jako dużego biologicznego filtra wód gruntowych i powierzchniowych, melioracje torfowisk należy w wysokim stopniu ograniczyć, a na terenach o szczególnych walorach przyrodniczych zaniechać. Doliny rzeczne lub ich części przeznaczone do rolniczego użytkowania z reguły wymagają melioracji. Są one powiązane funkcjonalnie z regulacją rzek, które bezpośrednio lub pośrednio oddziałują na gospodarkę wodną doliny.

W uzasadnionych przypadkach, zwłaszcza w szerokich dolinach z glebami bagiennymi możliwe jest zastosowanie systemu polderowego, zamiast grawitacyjnego odprowadzania okresowego nadmiaru wody. Takie rozwiązanie ogranicza zakres regulacji rzek, włącza do systemu przepompownie melioracyjne, zmniejsza ryzyko lokalnego przesuszenia doliny i daje możliwość skuteczniejszej ochrony zasobów przyrody. Jest jednak kapitało- i energochłonne.

Sposób melioracji obszarów dolinowych, pokrytych glebami hydrogenicznymi, a następnie ich eksploatacja powinny uwzględniać warunki zbliżone do takich, w jakich te gleby powstały, czyli okresowe zalewy i możliwie wysoki poziom wód gruntowych. Korzystne działanie ma też okresowa kolmatacja gleb hydrogenicznych, zwłaszcza torfowych, rumowiskiem unoszonym przez zmaczone wiosenne wody rzeczne występujące w procesie naturalnych lub sterowanych zalewów.

Uzyskanie optymalnych rezultatów w zakresie racjonalnego uporządkowania gospodarki wodnej obszarów dolinowych możliwe jest przez wprowadzenie tam głównie systemów podsiąkowych, a na terenach z przewagą gleb organicznych zalewowo-podsiąkowych. Wieloletnie badania autorów potwierdzają, że w okresie wczesno wiosennym zasoby wodne cieków często pozwalają na przeprowadzenie nawodnień zalewowych. Później, w miarę zmniejszania się przepływów dyspozycyjnych należy przejść na regulacje uwilgotnienia wprowadzając do eksploatacji różne formy nawodnienia podsiąkowego. Podstawy takiego działania wynikają z bogatego dorobku naukowego w tej dziedzinie profesora Jerzego Ostromeckiego [10]. W celu wytworzenia dobrych warunków powietrzno-wodnych w glebie obszarów dolinowych sprzyjających produkcji rolniczej, a także ochrony naturalnych zasobów przyrody, należy je wyposażyć w dobrze eksploatowane systemy melioracyjne odwadniająco-nawadniające, odpowiednio dostosowane do lokalnych warunków hydrogeolo-

gicznych i hydrologicznych. Nawodnienia podsiąkowe, które można traktować w Polsce jako wiodące na zmeliorowanych obszarach dolinowych, należy eksploatować przy różnych i zmiennych w czasie zasobach wody dyspozycyjnej. Jest to wyjątkowa, bardzo korzystna cecha tego sposobu melioracji nawadniających, potwierdzona również badaniami autorów [5, 11]. Zależnie od wielkości zlewni rzecznych i jej dyspozycyjnych zasobów wodnych, system o charakterze nawodnień podsiąkowych można eksploatować jako:

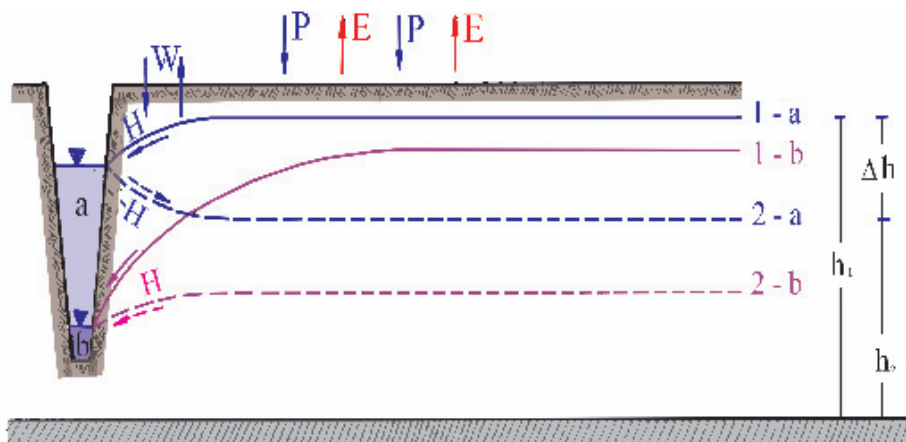
- nawodnienie ze zmiennym poziomem wody gruntowej,
- nawodnienie ze stałym zwierciadłem wody gruntowej,
- nawodnienie przez regulowanie odpływu,
- nawodnienie przez eliminowanie niedoborów wodnych z lokalnych zasobów retencji gruntowej.

Sposób pierwszy wymaga zagwarantowania zasobów dyspozycyjnych wynoszących przeciętnie $1,0\text{--}1,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy współczynniku wykorzystania wody $\eta = 0,60\text{--}0,75$. Jest to najintensywniejsza forma nawadniania podsiąkowego, umożliwiająca również cykliczną, dobrą wymianę powietrza w profilu glebowym.

W przypadku drugim utrzymuje się stały poziom wody gruntowej zapewniający optymalne uwilgotnienie warstwy korzeniowej roślin. Zapotrzebowanie na wodę wynika z wielkości ewapotranspiracji rzeczywistej, praktycznie kształtuje się w przedziale $0,3\text{--}0,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Współczynnik wykorzystania wody η zwiększa się do wartości około 0,85. W sytuacji, kiedy zasoby wód dyspozycyjnych wynoszą około $0,1\text{--}0,3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ i nie pokrywają ubytków wynikających z ewapotranspiracji, można realizować nawodnienie przez regulowanie odpływu (sposób trzeci). Wówczas zatrzymywanie odpływu wody z obiektu należy rozpocząć wczesną wiosną po uzyskaniu minimalnej przewodności wierzchniej warstwy gleby (dla użytków zielonych – ok. 6% powietrza). Praktycznie odpowiada to głębokości zwierciadła wody gruntowej 30–40 cm od powierzchni terenu. W warunkach przewagi ewapotranspiracji nad zasilaniem profilu glebowego z zasobów wody dyspozycyjnej cieków, następuje powolne zmniejszanie się uwilgotnienia gleby, a w konsekwencji obniżanie zwierciadła wody gruntowej (rys. 1). Do czasu gdy głębokość zwierciadła wody gruntowej zapewnia jeszcze skuteczny podsiąk w okresie wzrostu roślin, efekt takiego nawadniania jest zadawalający. W gorszej sytuacji hydrologicznej są obiekty, które nie mają większej od siebie zlewni hydrologicznej. Pozostaje wówczas korzystanie z zasobów odpowiednio zwiększonej retencji własnej (sposób czwarty).

Skuteczność działania „nawodnienia z zasobów retencji własnej” jest różna, lecz zawsze pozytywna. Taka forma nawadniania występuje np. na 100 ha obiekcie doświadczalnym w Samotworze koło Wrocławia, w dolinie rzeki Bystrzycy [6]. Tę najskromniejszą formę gospodarowania wodą wspomagają działania na rzecz tworzenia małej retencji.

W sytuacji całkowitego zahamowania odpływu wody z doliny, która pojawia się w przypadku regulowanego odpływu, a w pełni występuje przy nawodnieniu z zasob-



Rysunek 1. Schemat hydrauliczny działania systemu melioracyjnego z regularnym odpływem: a - regulowany odpływ, b - naturalna gospodarka wodna, 1 - krzywa depresji wiosną, 2 - krzywa depresji latem, W - zmiana uwilgotnienia gleby, H - odpływ, -H - zasilanie P - opad atmosferyczny, E - ewapotranspiracja

bów retencji własnej, zwierciadło wody gruntowej w czasie (Δt) i przy niedoborze opadu (N) obniża się o wartość Δh wg. zależności:

$$\Delta h_{(\Delta t)} = \frac{N_{(\Delta t)}}{\alpha}$$

gdzie: α - współczynnik wykorzystania wody (stosunek zmian zapasów wody w glebie do wynikających z tego zmian poziomów wody gruntowej Δh). Jego wartość wyznaczona empirycznie na obiektach badawczych w dolinie rzeki Baryczy [5] dla gleb hydrogenicznych wynosiła:

- piasek gliniasty lekki $\alpha = 0,33$
- piasek gliniasty $\alpha = 0,30$
- piasek gliniasty mocny $\alpha = 0,28$
- torf silnie zmurszały podścielony piaskiem słabo gliniastym $\alpha = 0,26$.

Efekty gospodarowania wodą w dolinie rzecznej

Na przykładzie obiektu doświadczalnego Miękinia k. Wrocławia użytkowanego rolniczo, przez który przepływa ciek podstawowy Zdrojek o ogólnej powierzchni zlewni 27 km^2 , przedstawione zostaną efekty gospodarowania wodą przez regulowanie jej odpływu. Zlewnię rzeczną pokrywają grunty orne (36,6%), użytki zielone (17,3%), lasy (19,2%) oraz tereny zabudowane i inne (26,9%). Glebę tworzą piaski gliniaste i słabo gliniaste, a na znacznej części użytków zielonych torfy niskie namulone, średnio głębokie. System urządzeń melioracyjnych obiektu Miękinia stanowi centralnie usytuowany ciek Zdrojek z regularną zabudową koryta jazami

Tabela 1. Miesięczne i okresowe sumy opadów atmosferycznych w mm i w % odniesionych do lat 1950–2008; stacja: Wrocław-Strachowice, obiekt: Miękinia, Samotwór

Rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X-III	IV-IX	I-XII
1950–1999	26	25	29	38	58	73	88	68	47	39	37	34	190	372	562
1999–2008	30	29	38	29	56	47	85	72	37	31	38	29	195	326	521
%	115	116	131	76	97	64	97	106	78	79	102	85	103	88	93
1999	18	42	53	32	28	56	76	17	36	17	32	24	186	245	431
%	69	168	183	84	48	77	86	25	77	44	86	71	98	66	77
2000	32	37	73	11	104	22	124	35	31	9	36	19	215	327	533
%	123	148	252	29	179	30	141	51	66	23	97	56	113	88	95
2001	13	17	64	32	45	56	183	58	92	25	32	21	158	466	638
%	50	68	221	84	78	77	208	85	196	64	86	62	83	125	114
2002	21	40	16	27	28	40	63	108	50	48	47	16	155	316	504
%	81	160	55	71	48	55	72	159	106	123	127	47	82	85	90
2003	31	2	16	15	106	22	72	25	31	48	16	34	160	271	418
%	119	8	55	39	183	30	82	37	66	123	43	100	84	73	74
2004	28	23	45	18	35	45	58	55	18	38	68	15	194	229	446
%	108	92	155	47	60	62	66	81	38	97	184	44	102	62	79
2005	32	39	9	26	104	32	105	66	22	5	26	96	201	355	562
%	123	156	31	68	179	44	119	97	47	13	70	282	106	95	100
2006	24	35	24	46	21	68	23	229	21	54	59	23	210	408	627
%	92	140	83	121	36	93	26	337	45	138	159	68	111	110	112
2007	48	42	47	5	52	95	97	47	45	26	38	20	273	341	562
%	185	166	162	13	89	130	111	70	95	67	103	59	143	92	100
2008	51	18	33	74	39	31	49	75	22	36	23	20	186	290	471
%	196	72	114	195	67	42	56	110	47	92	62	59	98	78	84

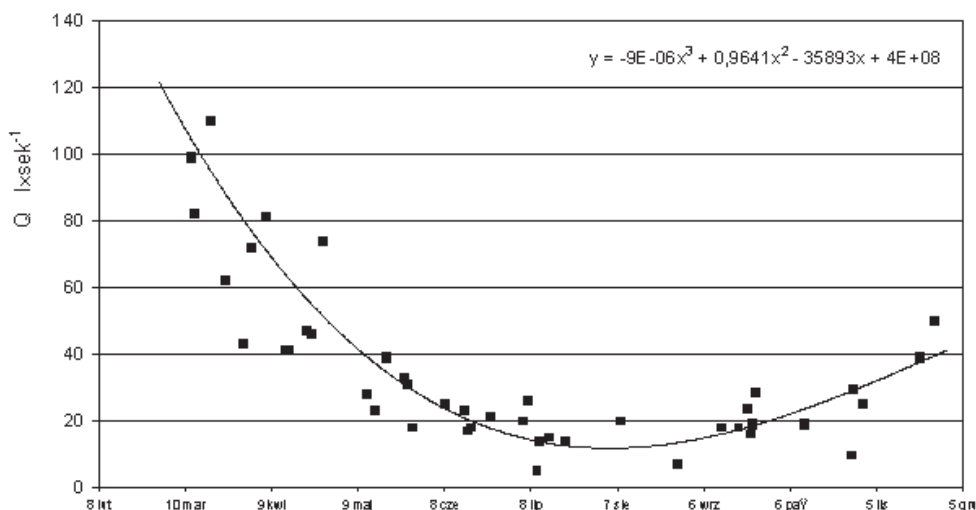
Tabela 2. Średnie miesięczne, okresowe i minimalne przepływy (Q) oraz spływy jednostkowe (q) w kilku zlewniach nizinnych doliny środkowej Odry

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostki	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII	IV–IX	Min.	
Rzeka Zdrojek – zlewnia F = 26 km ² , śr. opad z okresu 1999–2008 P = 521 mm																		
1	Śr. Przepływ Q	l · s ⁻¹	70	84	97	63	37	21,3	13,7	12,6	16,6	24,7	35	47	43,5	27,4	12	
		%	161	193	223	145	85	49	32	29	38	57	80	108	100	63	27	
2	Śr. Spływ jednost. q	l · s ⁻¹ · km ⁻²	2,69	3,23	3,73	2,42	1,42	0,82	0,53	0,48	0,64	0,95	1,31	1,82	1,67	1,05	0,46	
Rzeka Bogacica – zlewnia F = 115 km ² śr. opad z okresu 1966–1973 P = 762 mm																		
3	Śr. Przepływ Q	l · s ⁻¹	1097	1310	1380	816	579	791	698	348	329	397	736	1003	790	593	329	
		%	139	166	175	103	73	100	88	44	42	50	93	127	100	75	42	
4	Śr. Spływ jednost. q	l · s ⁻¹ · km ⁻²	9,54	11,39	12,00	7,09	5,03	6,88	6,07	3,03	2,86	3,45	6,40	8,72	6,87	5,16	2,86	
Rzeka Rów Śląski – zlewnia F = 595 km ² śr. opad z okresu 1975–1980 P = 593 mm																		
5	Śr. Przepływ Q	l · s ⁻¹	520															
		%	24															
6	Śr. Spływ jednost. q	l · s ⁻¹ · km ⁻²	0,87															
			2130												980		520	
			100												46		24	
			3,58												1,65		0,87	

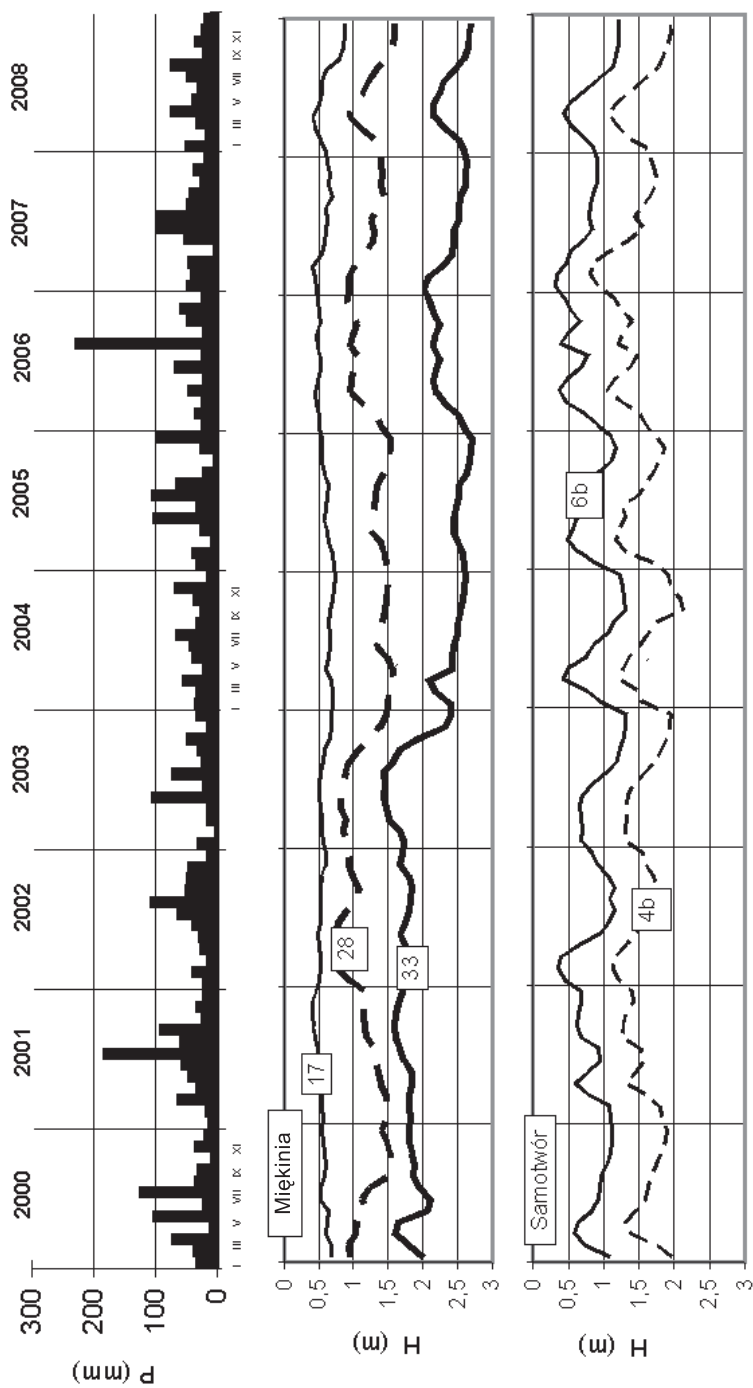
zastawkowymi. Wodę z ciekę głównego rozprowadza niesystematyczna sieć rowów szczegółowych z zastawkami.

W analizowanym przykładowo okresie ostatnich 10 lat (1999–2008) w stosunku do 50-lecia (1950–1999) nastąpiło zmniejszenie zasilania opadem rocznym (I–XII) średnio o 7%, a okresu wegetacyjnego (IV–IX) o 12% (tab. 1). W półroczu zimowym (X–III) opady wzrosły przeciętnie o 3%. Szczególnie niskie opady (< 50%) z miesiący okresu wegetacyjnego pojawiły się: w kwietniu, czerwcu i wrześniu 4-krotnie, w maju 3-krotnie, w sierpniu 2-krotnie, w lipcu 1-krotnie.

Konsekwencją takiej sytuacji było odpowiednie kształtowanie się objętości przepływów w Zdrojku. Przeciętnie w roku (I–XII) na stanowiskach kontrolnych odległych od siebie o 3 km, przepływy kolejno wynosiły 33,4 i 43,5 l · s⁻¹, a odpowiadające im spływy jednostkowe 1,52 i 1,67 l · s⁻¹ · km⁻². W okresie wegetacyjnym uległy one zmniejszeniu odpowiednio do 60 i do 63% wartości rocznych [7]. Podobną sytuację hydrologiczną obserwowano w innej znacznie większej, nizinnej zlewni rzeki Rów Śląski (595 km²) w dolinie Baryczy [5] oraz rzeki Bogacicy (115 km²) [4]. Zarejestrowane tam przepływy okresu wegetacyjnego spadały nawet do 46% wartości rocznej (tab. 2). Spływ jednostkowy (*q*) wynosił tu 1,65, a w lipcu spadał do 0,87 l · s⁻¹ · km⁻². W tych różnej wielkości zlewniach rzecznych najwyższe przepływy występowały w lutym i w marcu. Sytuacja wskazuje, że na przełomie luty–marzec, w niedużych zlewniach nizinnych doliny środkowej Odry, należy być przygotowanym do wczesno-wiosennej odbudowy zasobów retencji wody gruntowej, a w miarę realnych możliwości technicznych wynikających z warunków meteorologicznych należy rozpocząć proces piętrzenia i kierowania wody na obiekty (rys. 2). Realizacja procesu odbudowy



Rysunek 2. Kształtowanie się objętości przepływów (*Q*) w ciekę Zdrojek (zlewnia $F = 26 \text{ km}^2$)



Rysunek 3. Miesięczne sumy opadów (P) {mm} i średnie temperatury powietrza (T) {°C} oraz głębokości zw. wody gruntowej (H) w zasięgu piętrzeń (piezometr nr 6b, 17) i poza zasięgiem piętrzeń (piezometr nr 4b, 28, 33) na obiektach Samotwór i Miękinia

retencji wymaga ciągłej kontroli kształtowania się poziomu wód gruntowych. W kwietniu zasoby wody dyspozycyjnej dość szybko kurczą się nie dając gwarancji pełnej obudowy retencji glebowo-gruntowej, a także realizacji ewentualnego zalewu użytków zielonych, szczególnie zalecanych na glebach organicznych. Obserwacje i pomiary wykazały, że pomimo stosunkowo małych spływów jednostkowych w zlewni cieków Zdrojek, obszar zasilającego oddziaływania systemu piętrzeń ze skutecznym podsiąkiem wody gruntowej dochodził do około 400 ha. Przyczyniał się do stabilizacji głębokości zwierciadła wód gruntowych przeciętnie w przedziale 35–55 cm z bardzo małymi wahaniami. Poza zasięgiem oddziaływania piętrzeń następował spadek poziomu wody gruntowej do głębokości 90–150 cm, a nawet lokalnie więcej (rys. 3).

W warunkach realizowanych piętrzeń stwierdzano poprawę jakości wód płynących, a zwłaszcza: zwiększenie zawartości tlenu o ok. 20%, natomiast zmniejszeniu uległo ChZT o ok. 18–35%, azotu całkowitego 8–30%, fosforu 30–50%, potasu 20–30%. Korzystniejsze wskaźniki poprawy jakości wód uzyskiwano w sytuacji dobrze realizowanych procesów eksploatacyjnych, czyli prawidłowych piętrzeń oraz prowadzenia bieżących i gruntownych konserwacji cieków. W warunkach braku usuwania roślinności, a także osadów z koryta cieków i występowania tam procesów gnilnych pogarszała się ich hydrauliczna sprawność oraz jakość odprowadzanych wód. Funkcje melioracyjne, czyli polepszające jakość środowiska zanikały.

Wnioski

1. Doliny rzeczne zajmują znaczną powierzchnię Kraju, pokryte są na ogół żyznymi glebami hydrogenicznymi, mineralnymi, mineralno-organicznymi i organicznymi. Należą do obszarów o szczególnych walorach przyrodniczych z bogatą fauną i florą; potrzebują starannego zagospodarowania i ochrony.
2. Rolnicze użytkowanie obszarów dolinowych wymaga ich uprzedniej melioracji i dobrej eksploatacji; są wrażliwe na występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych (powódzie, susze). Często potrzebują skutecznych nawodnień przeważnie systemem grawitacyjnym (zalewowe, zalewowo-podsiąkowe i podsiąkowe).
3. Dyspozycyjne zasoby wodne szczególnie małych zlewni rolniczych na obszarach dolinowych są na ogół skromne. Zależnie od ich wielkości można stosować tu odmienne formy nawodnienia podsiąkowego angażujące bardzo różne ilości wody od $1,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ przy nawodnieniach ze zmiennym poziomem zwierciadła wody gruntowej, do $0,3\text{--}0,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ przy stałym. W przypadku skromniejszych zasobów wodnych, stosowanie regulowanego odpływu staje się najbardziej przydatne. Nawodnienie zalewowe wymaga zagwarantowania min. przepływu w ilości $2,5\text{--}3,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$.
4. Obszary o szczególnych walorach przyrodniczych (przewaga gleb organicznych, bogata fauna i flora) zaleca się wyłączyć z rolniczego użytkowania i ich intensywnych melioracji.

Literatura

- [1] GUS. 2006. Rocznik statystyczny Polski.
- [2] Klimaszewski M. 1978. Geomorfologia PWN. Warszawa.
- [3] Lipka K. 2000. Torfowiska w dorzeczu Wisły jako element środowiska przyrodniczego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Kollątaja w Krakowie*. Rozprawy.
- [4] Nyc K. 1976. Stosunki hydrologiczne zlewni rzeki Bogacicy w latach 1966-1973. *Wiad. Melior. i Łąk*, 4: 99–101.
- [5] Nyc K. 1985. Sterowanie zasobami retencji gruntowej w dolinach rzek nizinnych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 53, Rozprawy. Wrocław: 67.
- [6] Nyc K., Pokładek R. 1996. Rola małych piętrzeń w kształtowaniu zasobów retencji gruntowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 438: 83–90.
- [7] Nyc K., Pokładek R., Zachary M. 2008. Zasoby wodne małej zlewni rolniczej w gminie Miękinia. *Wiad. Melior. i Łąk*. 2: 67–70.
- [8] Okruszko H. 1976. Zasady gospodarowania i podziału gleb hydrogenicznych z punktu widzenia potrzeb melioracji. *Wiad. IMUZ* nr 52.
- [9] Ostromecki J. 1973. Podstawy melioracji nawadniających. PWN. Warszawa.
- [10] Ostromecki J. 1969. Obliczanie nawodnień podsiąkowych. *Bibl. Wiad. IMUZ* nr 30, PWRil Warszawa.
- [11] Pokładek R., Nyc K. 2007. Możliwości gospodarowania wodą w małych zlewniach rolniczych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 519: 259–268.
- [12] Prończuk J. 1973. Zmiany hydrologiczne i cenotyczne w dolinie Narwi na przestrzeni 33 lat – jako podstawa rozwiązań melioracyjnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 134:131–145.
- [13] Tołpa S. 1979. Rola torfowisk w rolnictwie i ochronie środowiska. Sesja Naukowa PAN. Komitet Nauk o Ziemi: Ocena degradacji naturalnego środowiska ziem Południowo-Zachodnich Polski. Wrocław 11–12 listopada 1977 r.

Water management on the valley areas

Key words: river valleys, lowland catchments hydrology, water management basin

Summary

River valleys occupy a large area of the country and generally are covered with fertile soils (organic-mineral and mineral). Their agricultural use requires prior drainage procedures. Often they need efficient irrigation, mainly gravity systems (flooding – subsurface and surface). In small agricultural catchments, lowland areas, disposable water resources during growing season are generally insufficient to achieve intensive forms of irrigation. In Lower Silesia, the largest water resources are most common in March and then to use them. Drainage and ecological effects of water management, particularly on the valley areas significantly increased in the event of well-organized and well run operation of water-drainage systems.

Hydrochemiczne uwarunkowania realizacji programu małej retencji na terenach górskich i podgórskich

**Krzysztof Ostrowski, Włodzimierz Rajda, Tomasz Kowalik,
Włodzimierz Kanownik, Andrzej Bogdał**

*Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
Al. A. Mickiewicza 24/28, 30–059 Kraków*

*e-mail: rmostrow@cyf-kr.edu.pl, rmrajda@cyf-kr.edu.pl, rmkowali@cyf-kr.edu.pl,
rmkanown@cyf-kr.edu.pl, rmbogdal@cyf-kr.edu.pl*

Słowa kluczowe: zasoby wodne, jakość wód powierzchniowych, mała retencja

Zasoby wodne

Woda jest podstawowym czynnikiem kształtującym środowisko oraz wpływającym na życie i zdrowie człowieka [6]. Racjonalne gospodarowanie jej zasobami jest więc nieodzowne dla wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich, prowadzącego do poprawy warunków życia lokalnych społeczności [7]. Zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości wody w naszym kraju wymaga działań zmierzających do zwiększenia dostępności jej użytecznych zasobów, ponieważ pod tym względem Polska zajmuje przedostatnie miejsce wśród krajów europejskich [19]. Przyczyną tego jest między innymi bardzo mała pojemność zbiorników retencyjnych, nie przekraczająca 6% średniego rocznego odpływu [3].

Tereny górskie i podgórskie dorzecza górnej Wisły, stanowiące 15% powierzchni kraju, dostarczają 29% zasobów wód powierzchniowych. Odpływy na tych terenach charakteryzują się dużą zmiennością w czasie. Wody podziemne stanowią tu zaledwie 14% zasobów tych wód w Polsce, gdyż flisz karpacki charakteryzuje się niską wydajnością poziomów wodonośnych. W przeliczeniu na jednego mieszkańca Polski średnie roczne zasoby wodne wynoszą około 1580 m³, a dla terenów górskich i podgórskich regionu karpackiego około 2720 m³, tj. o 1140 m³ (ponad 72%) więcej niż średnio dla całego kraju [19].

Dużym problemem jest też niska jakość wód powierzchniowych. Podlegają one znacznym wpływom antropogenicznym, ograniczającym dostępność wody dobrej jakości. W wyniku monitoringu rzek w ostatnich latach stwierdzono, że:

- w żadnym z 1544 punktów pomiarowo-kontrolnych nie występowały wody I klasy,
- w 34 punktach (2%) wody spełniały wymagania II klasy,
- w 548 (36%) – III klasy,
- w 662 (43%) – IV klasy,
- w 300 punktach (19%) wody należały do V klasy.

Na jakość wód powierzchniowych negatywnie wpływa przemysł, rolnictwo i osadnictwo. Analiza danych monitoringowych wskazuje, że w Polsce głównym źródłem nadmiernego zanieczyszczenia staje się obecnie gospodarka komunalna.

Program małej retencji

Jednym ze sposobów rozwiązywania niełatwych problemów gospodarki wodnej mogą być różnego rodzaju działania przyrodniczo-techniczne i organizacyjne, sprzyjające gromadzeniu wody, opóźniające odpływ i zwiększające jej dostępność dla gospodarki, w tym dla produkcji rolniczej i kształtowania krajobrazu, określane ogólnie jako mała retencja wodna. Realizacja programu małej retencji pozwoli na gromadzenie wody dla odbiorców pozostających poza dużymi systemami wodnymi, a także na rozwiązanie lokalnych, istotnych problemów ekologicznych i społecznych. W atrakcyjnych turystycznie terenach, gdzie brak jest warunków do uprawiania rekreacji wodnej, funkcję tę mogłyby pełnić małe zbiorniki wodne, które mogą ponadto poprawić walory krajobrazu. Przy zachowaniu cech rekreacyjnych zbiorniki mogłyby pełnić również inne funkcje gospodarcze i społeczne [4, 5]. Można więc przyjąć, że zbiorniki wodne małej retencji są pożądane na terenach wiejskich.

Wychodząc naprzeciw potrzebom zwiększenia lokalnej retencji wód powierzchniowych firma HYDROPROJEKT KRAKÓW Sp. z o.o. opracowała w 2004 roku, na zlecenie władz samorządowych „Program małej retencji województwa małopolskiego”. Obejmuje on wstępne projekty 69 małych zbiorników, w zlewniach najczęściej kilku do kilkunastu km² (w tym 4 poldery), o pojemnościach od 12 tys. m³ (Łętownia 2) do 1774 tys. m³ (Gosprzydowa 2). Zaplanowano je w różnych rejonach województwa, głównie, na terenach wiejskich. Ich łączna pojemność wynosi około 50 mln m³, pojemność wyrównawcza – 20 mln m³, a koszt około 912 mln PLN [12].

Zbiorniki te są planowane głównie na ciekach, na których nie była i nie jest prowadzona systematyczna ocena jakości wód. Badania jakości wód są konieczne, ponieważ zlewnie małych cieków, narażone są na wpływy antropogeniczne związane z działalnością rolniczą, osadnictwem o nie uporządkowanej gospodarce wodno-ściekowej, a także z innego rodzaju działalnością gospodarczą.

Z dotychczasowych badań hydrochemicznych w małych zlewniach na terenach górskich i podgórskich wynika, że nawet przy ich częściowym osadniczym zagospo-

darowaniu zanieczyszczenie wód odpływających było większe niż w zlewniach rolniczych [1, 2, 9, 14, 15, 16]. Wykazano, że zanieczyszczenie wody wzrastało poniżej osiedla wiejskiego [11], a tym bardziej poniżej kilkunastotysięcznego miasta [10]. Stwierdzono też, że zanieczyszczenie wody wzrastało stopniowo, gdy trasa ciekłu przebiegała kolejno przez tereny o rosnącej antropopresji – wiejskie, podmiejsko-osadnicze i zurbanizowane (duże miasto). Miało to miejsce nawet wówczas, gdy w zlewni znajdowały się czynniki, ale nie w pełni sprawne oczyszczalnie ścieków [13].

Ponadto wykazano [8], że na właściwości fizyko-chemiczne wód odpływających z małych zlewni istotny wpływ ma gęstość zaludnienia zlewni, stopień zabudowy terenu, udział gruntów ornych, obsada zwierząt gospodarskich oraz poziom nawożenia mineralnego i organicznego. Do niskiej jakości kwalifikowały wodę najczęściej stężenia NO_3^- i NH_4^+ oraz $\text{O}_2_{\text{rozp.}}$, Mn^{+2} i BZT₅, [14, 15], a w niektórych zlewniach także zawiesiny, których duże stężenie może być związane z potencjałem erozyjnym bogato urzeźbionych zlewni podgórskich i górskich [17].

Ocena jakości wód na podstawie systematycznych badań w różnych warunkach użytkowania małych zlewni górskich i podgórskich

W 2004 roku, w porozumieniu z Małopolskim Zarządzeniem Melioracji i Urzędzeń Wodnych, rozpoczęto wstępne badania jakości wód w wybranych małych ciekach, na których planowana jest budowa zbiorników objętych programem małej retencji [12]. Badania takie, jak wykazano powyżej i stwierdzono w opracowanym Programie, są konieczne dla podejmowania działań ochronnych przed zanieczyszczeniem i eutrofizacją wód w planowanych zbiornikach.

Celem badań jest ocena oddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych na jakość wód odpływających z obszaru niekontrolowanych małych zlewni górskich i podgórskich. Systematyczne badania rozpoczęto w 2007 roku w 12 zlewniach, w których planowana jest budowa zbiorników małej retencji. Przy typowaniu obiektów kierowano się zróżnicowanym zagospodarowaniem powierzchni zlewni. Wybrano po 4 zlewnie w 3 różnych rejonach województwa małopolskiego, na terenie powiatów krakowskiego i wielickiego – rejon 1, tarnowskiego – rejon 2 i suskiego rejon 3 (rys. 1). Wyniki badań mogą być wykorzystane do podejmowania decyzji przy planowaniu, projektowaniu i eksploatacji zbiorników.

Spośród 12 obiektów najmniejszą powierzchnię ma, najwyżej położona i o największym spadku terenu, zlewnia zbiornika Łętownia. Powierzchnię największą ma zlewnia zbiornika Janowice. Najniższej położona jest zlewnia zbiornika Piekary o średnim spadku tylko o 0,1% większym od najmniejszego, stwierdzonego w zlewni zbiornika Tonie. Największą pojemność będzie miał zbiornik Skrzyszów, a najmniejszą Bystra (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka badanych zlewni i pojemność (V) planowanych zbiorników małej retencji przy NPP (opracowanie własne)

Nazwa zlewni (zbiornika)	Pow. zlewni [km ²]	Charakter użytkowania	Zakres wysokości [m n.p.m.]	Średni spadek terenu [%]	V [tys. m ³]
Szczyrzawy (Piekary)	6,26	osadniczo-rolnicze	210–277	4,2	515,0
Sudoł (Tonie)	14,69	osadniczo-rolnicze	221–373	4,1	73,2
Wilga (Janowice)	22,93	osadniczo-leśno-rolnicze	263–426	11,1	258,2
Sudoł Dominikański (Węgrzce)	6,69	rolniczo-osadnicze	235–320	7,1	203,5
Korzeń (Skrzyszów)	9,65	leśno-rolnicze + zabudowa rozproszona	231–397	10,9	982,7
Rygliczanka (Bistuszowa)	7,21	leśno-rolnicze + zabudowa rozproszona	236–358	15,4	337,0
Wolninka (Joniny)	7,10	leśno-rolnicze + zabudowa rozproszona	255–376	14,7	473,5
Uniszowski (Uniszowa)	5,07	rolniczo-leśne + nieliczna zabudowa	234–534	17,5	467,0
Głaza (Sidzina)	8,94	rolniczo-leśne + nieliczna zabudowa	515–787	18,0	138,6
Mostowy Potok (Bystra)	6,35	rolniczo-leśne + nieliczna zabudowa	493–1018	21,2	58,1
Osielczyk (Osielec)	4,92	rolniczo-leśne	427–810	22,2	102,0
Bąbola (Łętownia)	3,25	rolniczo-leśne	528–841	22,5	210,0

Dwie spośród 12 zlewni charakteryzują się użytkowaniem osadniczo-rolniczym, jedna – rolniczo-osadniczym, jedna – osadniczo-leśno-rolniczym, trzy – leśno-rolniczym z rozproszoną zabudową, trzy – rolniczo-leśnym z nieliczną zabudową oraz dwie – rolniczo-leśnym.

Oznaczenia wybranych wskaźników jakości wody wykonywano raz w miesiącu, w przekrojach pomiarowo-kontrolnych usytuowanych w miejscach planowanych zapór zbiorników. Bezpośrednio w terenie mierzono: temperaturę wody, pH, stężenie tlenu rozpuszczonego i stopień nasycenia tlenem, a także przewodność elektryczną właściwą, natomiast w laboratorium oznaczano: zawiesinę ogólną, fosforany (PO_4^{3-}), amoniak (NH_4^+), azotyny (NO_2^-), azotany (NO_3^-), substancje rozpuszczone, siarczany (SO_4^{2-}), chlorki (Cl^-), wapń (Ca^{2+}), magnez (Mg^{2+}), żelazo ogólne ($\text{Fe}^{2+/3+}$), mangan (Mn^{2+}), chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT-Mn) i biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT₅). Stężenia metali ciężkich (Cr, Zn, Cd, Cu, Ni, Pb) oraz liczebność bakterii coli i coli typu kałowego oznaczano raz na kwartał.

Dla każdej zlewni opracowano parametry morfometryczne, fizjograficzne i hydrograficzne oraz określono warunki glebowe i użytkowanie terenu. Uwarunkowania społeczno-gospodarcze oraz potencjalne źródła zanieczyszczeń wód ustalono na podstawie badań ankietowych przeprowadzonych w granicach badawczych zlewni.

Jakość wód odpływających oceniono zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 roku, obowiązującym w okresie podejmowania badań [18].

Tabela 2. Ocena jakości wód powierzchniowych badanych potoków (opracowanie własne)

Wskaźniki jakości wody	Klasy ¹ jakości wody [18]											
	Szczy- rzawy	Wilga	Sudół Dominikański	Sudół	Korzeń	Uni- szowski	Rygli- czanka	Wolninka	Bąbola	Osiel- czyk	Mostowy	Głaza
Fizyczne												
temperatura	I	I	I	V	I	I	I	I	I	I	I	I
zawiesiny ogólne	III	III	V	III	II	II	II	II	II	II	II	II
pH	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Tlenowe												
tlen rozpuszczony	I	I	V	V	I	I	I	I	I	I	I	I
BZT ₅	II	I	V	V	I	I	I	II	I	I	I	I
ChZT-Mn	III	III	IV	III	III	III	III	III	II	II	II	III
Biogenne												
NH ₄ ⁺	I	I	V	V	I	I	I	I	I	I	I	I
NO ₃ ⁻	IV	II	II	III	II	II	II	II	I	I	I	I
NO ₂	III	III	III	IV	II	II	II	III	I	I	I	I
PO ₄ ³⁻	II	II	V	V	II	II	II	II	I	I	I	I
P _{og.}	I	I	V	V	I	I	I	I	I	I	I	I
Zasolenia												
przewodność	I	III	III	III	I	I	I	I	I	I	I	I
substancje rozpuszczone	II	III	III	III	II	II	II	II	I	I	I	I
Cl ⁻	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Ca ²⁺	II	II	III	III	II	II	II	II	II	II	II	II
Mg ²⁺	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SO ₄ ²⁻	I	II	II	III	I	I	I	I	I	I	I	I
Metale, w tym ciężkie												
Fe ^{2+/3+}	III	III	III	III	III	III	IV	III	II	II	II	III
Mn ²⁺	III	II	III	III	III	III	III	III	I	I	I	I
Chrom (Cr)	I	I	I	IV	I	I	I	I	I	I	I	I
Cynk (Zn)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Kadm (Cd)	II	III	IV	IV	II	II	II	II	I	I	I	I
Miedź (Cu)	I	I	I	IV	I	I	I	II	II	II	I	I
Nikiel (Ni)	I	I	I	IV	I	I	I	I	I	I	I	I
Ołów (Pb)	III	I	IV	IV	I	I	I	I	I	I	I	I
Bakterie coli katowe	I	III	III	III	III	II	III	II	II	I	I	III
Bakterie coli	I	III	III	III	III	I	II	II	II	I	I	II

¹ I klasa – wody o bardzo dobrej jakości, II klasa – wody dobrej jakości, III klasa – wody zadowalającej jakości, IV klasa – wody niezadowalającej jakości, V klasa – wody złej jakości

Wstępne wyniki wykazały, że wody odpływające ze zlewni o użytkowaniu rolniczo-leśnym (Osielczyk, Bąbola) oraz rolniczo-leśnym z nieliczną zabudową (Mostowy Potok), należą do II, dobrej klasy jakości. Wody cieków w zlewniach rolniczo-leśnych z nieliczną zabudową (Głaza, Uniszowski), tylko z powodu trzech wskaźników kwalifikują się do III, zadawalającej klasy jakości. Także wody zlewni osadniczo-leśno-rolniczej (Wilga) i leśno-rolniczych z zabudową rozproszoną (Korzeń, Wolninka), kwalifikują się do III klasy, ale w zlewniach tych większa liczba badanych wskaźników, niż w zlewniach potoków Głaza i Uniszowski, osiągała wartości w granicach II lub III klasy. Wody zlewni osadniczo-rolniczej (Szczyrzawy) z powodu azotanów, a zlewni leśno-rolniczej z zabudową rozproszoną (Rygliczanka) z powodu związków żelaza kwalifikują się do IV, niezadawalającej klasy jakości. Najgorszą jakością charakteryzują się wody odpływające ze zlewni rolniczo-osadniczej (Sudół Dominikański) i osadniczo-rolniczej (Sudół). Wody tych zlewni należą do V złej klasy jakości z powodu stężeń tlenu rozpuszczonego, BZT_5 , NH_4^+ , PO_4^{3-} i P_{og} . Ponadto większość pozostałych wskaźników w tych zlewniach osiąga wartości w granicach III lub IV klasy jakości (tab. 2).

Tylko 4 wskaźniki, tj. temperatura, pH, Mg i Zn w żadnej zlewni nie przekraczały normy odpowiadającej I klasie jakości wód powierzchniowych. Podobnie tlen rozpuszczony, amoniak, fosfor ogólny, przewodność i siarczany, za wyjątkiem zlewni potoków Sudół Dominikański i Sudół, również nie przekraczały wartości normowych dla I klasy. Natomiast stężenia chlorków tylko w zlewni Sudół Dominikański, a niklu w zlewni Sudół kwalifikowały wodę do drugiej klasy jakości. Chrom tylko w wodzie zlewni Sudół osiągał stężenia w granicach klasy czwartej (tab. 2).

Wnioski

Na podstawie analizy wyników badań wód małych zlewni wybranych potoków na terenach górskich i podgórszych stwierdzono, że:

- najsilniejszy negatywny wpływ na jakość tych wód ma zagospodarowanie terenu o dużym udziale osadnictwa,
- w żadnej z badanych zlewni nie stwierdzono wody pierwszej klasy jakości,
- w przypadku złej jakości wody w zlewniach, gdzie planowana jest budowa zbiorników małej retencji, konieczne jest podjęcie działań zmierzających do jej poprawy.

Literatura

- [1] Bogdał A. 2004. Wpływ rolnictwa i osadnictwa wiejskiego na kształtowanie jakości wód powierzchniowych w mikrozelewniach podgórskich. Rozprawa doktorska. Maszynopis AR Kraków: 171 ss.
- [2] Kanownik W., Pijanowski Z. 2002. Jakość wód powierzchniowych w górskich mikrozelewniach rolniczo-leśnych. *Acta Sci. Pol., ser. Formatio Circumictus* 1–2(1–2): 61–70.
- [3] Majewski W. 1997. Powodzie a gospodarka wodna. Forum Naukowo-Techniczne – POWÓDŹ 1997. Ustroń k. Wisły, 10–12 IX 1997. Wyd. IMGW, Warszawa: 379–384.
- [4] Mioduszewski W. 1998. Woda jako czynnik zagrożenia w krajobrazie rolniczym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 459: 43–69.

- [5] Mioduszewski W. 1999. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. Wydawnictwo IMUZ, Falenty: 165 ss.
- [6] Mioduszewski W. 2003. Mała Retencja. Ochrona zasobów wodnych środowiska naturalnego. Poradnik. Wydawnictwo IMUZ Falenty: 20 ss.
- [7] Mosiej J., Somorowski Cz. 2001. Aktualne problemy gospodarowania wodą w rolnictwie dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich. *Wiad. Mel. i Łąk.* 1: 2–7.
- [8] Natkaniec J. 2004. Czynniki antropogeniczne a jakość wód odpływających z mikrozelewni w terenie podgórskim i górskim. Rozprawa doktorska. Maszynopis AR Kraków: 146 ss.
- [9] Ostrowski K., Bogdał A., Rajda W. 2005. Wpływ użytkowania wybranych mikrozelewni Pogórza Wielickiego na zawartość i sezonową zmienność cech fizyko-chemicznych w wodach odpływających. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 420, ser. *Inżynieria Środowiska* 26: 9–19.
- [10] Ostrowski K., Bogdał A., Rajda W., Policht A. 2005. Wpływ zabudowy miejskiej na jakość wody w potoku podgórskim. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 420, ser. *Inżynieria Środowiska* 26: 21–29.
- [11] Pijanowski Z., Kanownik W. 2002. Wpływ wiejskich obszarów zabudowanych na zawartość substancji chemicznych w wodach Trybskiej Rzeki (Spisz Polski). *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 393, ser. *Inżynieria Środowiska* 23: 43–51.
- [12] Program Małej Retencji Województwa Małopolskiego. 2004. Załącznik nr 1 do Uchwały nr XXV/344/04 Sejmiku Województwa Małopolskiego z 25 października 2004 r. Maszynopis Hydroprojekt Sp. z o.o., Kraków: 47 ss.
- [13] Rajda W., Kanownik W. 2005. Wpływ czynników antropogenicznych na jakość wody w potoku na terenie podmiejskim i zurbanizowanym. *Wiad. Mel. i Łąk.* 4: 176–180.
- [14] Rajda W., Natkaniec J. 2001. Jakość wody odpływającej z mikrozelewni podgórskiej o zróżnicowanym użytkowaniu. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 382, ser. *Inżynieria Środowiska* 21: 33–40.
- [15] Rajda W., Natkaniec J. 2001. The impact of select forms of antropopresion on quality of surface waters. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW*, ser. *Land Reclamation* 31: 65–74.
- [16] Rajda W., Natkaniec J., Bogdał A. 2002. Jakość wody odpływającej ze zurbanizowanej mikrozelewni podmiejskiej o zróżnicowanym użytkowaniu. *Acta Sci. Pol.*, ser. *Formatio Circumietus*: 1–2(1–2): 49–60.
- [17] Rajda W., Ostrowski K., Bogdał A. 2001. Zawartość wybranych składników fizykochemicznych w wodzie opadowej i odpływającej z mikrozelewni leśnej. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 382, ser. *Inżynieria Środowiska* 21: 21–31.
- [18] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanów wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. *Dz. U.* Nr 32, poz. 284.
- [19] Zieliński J., Słota H., Madej P., Korol R., Konieczny R., Grela J. 1996. Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski. Materiały Badawcze, ser. *Gospodarka Wodna i Ochrona Wód* 20. Wydawnictwo IMGW, Warszawa.

Hydrochemical conditionings for realization of small retention programme on mountain and submontane areas

Keywords: water resources, quality of surface waters, small retention

Summary

Results of research on the influence of natural and anthropogenic factors on the quality of waters flowing away from small mountain and submontane catchments, in which construction of small retention reservoirs was planned, have been presented in the paper. The research was conducted in 12 catchments situated in Malopolska province. Two of them are characterized by settlement-agricultural management, one is ag-

gricultural-settlement catchment, one is settlement-forest-agricultural catchment, three are described as forest-agricultural with scattered built-up areas, three were characterized by agricultural-forest management with sparsely built-up areas and two by agricultural-forest management. Assessments of selected water quality indices were conducted once a month. The water temperature, pH, dissolved oxygen concentration and degree of oxygen saturation, and electrical conductivity were measured in situ, whereas total suspended solids, phosphates (PO_4^{3-}), ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), sulphates (SO_4^{2-}), chlorides (Cl^-), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), total iron ($\text{Fe}^{2+/3+}$) and manganese (Mn^{2+}), as well as biochemical oxygen demand (BOD_5) were determined in laboratory. Concentrations of heavy metals (Cr, Zn, Cd, Cu, Ni and Pb), coliform bacteria count and fecal coliform bacteria count were assessed once in three months. The quality of waters outflowing from the catchments was estimated according to the Regulation of the Minister of the Natural Environment dated 11 February, 2004. The results demonstrated that water flowing away from 3 catchments belong to class II – good quality, water from 5 catchments to class III – satisfactory quality and water from 2 catchments belong to class IV – unsatisfactory quality. The worst quality (class V – bad quality) characterized waters flowing away from 2 catchments where the proportion of settlements was the highest, as compared with the others.

Wpływ wielkości zalewów na zachowanie lasów łęgowych

**Małgorzata Gregorczyk¹, Bogdan Jaroszewicz², Tomasz Okruszko³,
Stefan Ignar³**

¹ Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

² Białowieńska Stacja Geobotaniczna, Instytut Botaniki
Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

³ Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: t.okruszko@levis.sggw.pl

Słowa kluczowe: zalew, tolerancja zalewu, siedlisko, łągi wierzbowe,
topolowe, olszowe i jesionowe

Wstęp

Funkcjonowanie ekosystemów siedlisk nadrzecznych zależy w znacznej mierze od zachowania zmienności warunków hydrologicznych, w których one powstały, w tym przede wszystkim poziomu zalewów powierzchniowych wodami rzeczными oraz poziomu wód gruntowych. Wody zalewowe dostarczają osadów rzecznych, na których wyrastają siewki gatunków wchodzących w skład lasów nadrzecznych, jak wierzby (*Salix* spp.) czy topole (*Populus* spp.) oraz pozwalają na ich rozwój utrzymując wysoką wilgotność gleb. Na dalszym etapie powolny odpływ wód umożliwia głębsze ukorzenie młodych drzewek. Dodatkowo wody zalewowe stanowią istotny element zaburzenia, pozwalający na utrzymanie siedlisk typowych dla dolin rzecznych poprzez hamowanie i przerywanie procesu naturalnej sukcesji [4].

Rosnące zainteresowanie podniesieniem walorów ekologicznych terenów położonych w dolinach zalewowych wytworzyło potrzebę lepszego zrozumienia wpływu warunków hydrologicznych na poszczególne siedliska. O ile kluczowa rola wód powierzchniowych w utworzeniu i zachowaniu siedlisk nadrzecznych jest oczywista [3, 14, 17], o tyle wciąż brakuje ilościowych danych, które określałyby konkretne parametry hydrologiczne (m.in. czas trwania, okres wystąpienia i głębokość zalewu), pozwalające na ich uformowanie i zachowanie w niezmiennym stanie.

Celem pracy jest systematyczny przegląd dostępnej literatury określającej liczbowe charakterystyki reżimu hydrologicznego dolin zalewowych w odniesieniu do roz-

kładu przestrzennego trzech niżowych podtypów priorytetowego siedliska europejskiej sieci obszarów chronionych Natura 2000, oznaczonego symbolem 91E0: łągi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe (*Salicetum albae*, *Populetum albae*, *Alnetion glutinoso-incanae*, olsy źródłiskowe), obejmującego nadrzeczne lasy wierzy białej i kruchej, topoli białej i czarnej oraz nadrzeczne olszynki olszy szarej, lasy olszowe i jesionowe. Artykuł niniejszy powinien wspomóc ukierunkowanie dalszych badań nad siedliskiem, umożliwiających bardziej szczegółowe określenie przedziałów jego tolerancji na zmiany warunków hydrologicznych.

Opis siedliska 91E0

Spośród siedmiu wyróżnionych podtypów siedliska 91E0, trzy związane są bezpośrednio z nizinnymi dolinami rzecznyymi [8]. Są to niżowe łągi wierzbowe i łągi topolowe charakterystyczne dla dolin dużych rzek oraz łągi olszowo-jesionowe występujące w dolinach mniejszych rzek. Z uwagi na ograniczony zasób literatury związanej bezpośrednio z siedliskiem 91E0, swój przegląd oparliśmy na gatunkach drzew reprezentatywnych dla drzewostanów poszczególnych podtypów. I tak, jako gatunki drzew dominujące na siedliskach łągowych w Europie wymienia się zwykle wierzbę białą *Salix alba*, wierzbę kruchą *Salix fragilis*, topolę białą *Populus alba*, topolę czarną *Populus nigra*, topolę szarą *Populus × canescens*, olchę czarną *Alnus glutinosa* oraz jesioną wyniosłego *Fraxinus excelsior* (tab. 1).

Tabela 1. Gatunki drzew dominujące w drzewostanach podlegających zalewom niżowych podtypów siedliska 91E0 związanych z dolinami dużych i średnich rzek [8, 12]

Podtyp siedliska		Gatunki dominujące w drzewostanie		
*91E0-1	łąg wierzbowy wraz z wiklinami nadrzecznyymi	<i>Salicetum albae</i> wraz z <i>Salicetum triandro-viminalis</i>	wierzba biała	<i>Salix alba</i>
			wierzba krucha	<i>Salix fragilis</i>
*91E0-2	łąg topolowy	<i>Populetum albae</i>	topola biała (białodrzew)	<i>Populus alba</i>
			topola czarna (sokora)	<i>Populus nigra</i>
			topola szara	<i>Populus × canescens</i>
*91E0-3	niżowy łąg olszowo-jesionowy	<i>Fraxino-Alnetum</i>	olcha czarna	<i>Alnus glutinosa</i>
			jesion wyniosły	<i>Fraxinus excelsior</i>

Omawiane siedliska należą do najbardziej wrażliwych elementów środowiska przyrodniczego, których układ siedliskowy kształtowany jest przede wszystkim przez wody powierzchniowe [11]. Ich zachowanie jest zatem uzależnione od utrzymania warunków hydrologicznych, w których powstały. Konkretnie wartości liczbowe określające owe warunki nie są jednak znane. Najwięcej danych odnaleźć można w analizach odporności poszczególnych gatunków drzew drzewostanów łągowych na stres związany z zalaniem. Wskazują one przede wszystkim maksymalne wartości czasu trwania, częstotliwości wystąpienia i głębokości zalewów.

Warunki hydrologiczne

Tolerancja zalewu

Tolerancja poszczególnych gatunków na zalanie jest definiowana najczęściej jako odporność na warunki beztlenowe [6, 7]. Odporność na zalanie jest rozumiana jako odpowiedź wzrostu, stopień zniszczenia i przetrwania w zależności od specyficznych warunków zalania, przy czym najczęściej określone są czas trwania, częstotliwość wystąpienia i głębokość zalewu. Czas trwania zalewu charakteryzowany jest zarówno jako całkowity okres zalewu (całkowita liczba dni z zalewem w ciągu roku), jak i średni okres zalewu (średnia liczba dni z zalewem w roku). Częstotliwość wystąpienia zalewu jest interpretowana dwojako. Dla opisowych charakterystyk stanowi ona liczbę zjawisk zalania w określonym czasie (najczęściej średnio w roku) [21], w przypadku zaś budowania modeli heurystycznych często bywa ona definiowana jako okres od wystąpienia ostatniego zalewu (TLC – *time since last flood*) [6, 7, 20]. Głębokość zalewu wyrażana w metrach, bądź centymetrach, stanowi uśrednioną wartość różnych zalewów w roku występujących na tym samym (analizowanym) obszarze. Dodatkowo w niektórych badaniach [np. 9] autorzy brali pod uwagę prędkość przepływu wód zalewowych. Wyniki badań prezentowane przez poszczególnych autorów wskazują najczęściej na krytyczne charakterystyki zalewu, które mają dominujący wpływ na zdolności przetrwania drzew.

Kompleksowe analizy – modele logiczne

Vreugdenhil i in. [21] badając młode drzewka (< 150 cm wysokości), m.in. jesioną wyniosłego, wierzby kruchej i topoli czarnej, wykorzystując funkcję logistyczną średniego okresu zalania, mierzonego w dniach, określili ilościowo wpływ głębokości, czasu trwania i częstotliwości zalewu na zdolności przetrwania badanych gatunków. Badania przeprowadzono dla całego roku (styczeń–grudzień) oraz dla okresu wegetacyjnego. Wyniki liczbowe wskazują na możliwość podziału badanych gatunków na dwie grupy.

Pierwszą tworzą gatunki liściaste o twardym drewnie, takie jak jesion wyniosły, których częstość występowania zmniejsza się wraz z wydłużaniem czasu trwania zalewu, zwłaszcza, gdy występuje on w okresie wegetacyjnym. Dla drzew z tej grupy istotny jest przede wszystkim całkowity czas trwania zalewu w roku (łącznie dni zalewu).

Drugą stanowią gatunki liściaste o miękkim drewnie, a więc m.in. wierzba biała i topola czarna, których obecność wzrasta wraz z dłuższym czasem trwania zalewu, a zjawisko to jest potęgowane, gdy zalewy występują w okresie wegetacyjnym. Dla grupy tej (szczególnie dla wierzby) średni czas trwania zalewu (średnia liczba dni z występującym zalewem w roku) okazał się parametrem kluczowym warunkującym ich występowanie. Dla topoli czarnej istotniejsza od czasu trwania zalewu okazała się częstotliwość zalewu (liczba wystąpień zalewu w roku), a zwłaszcza średnia głębo-

Tabela 2. Sumaryczne zestawienie danych liczbowych określających wpływ wybranych charakterystyk

Źródło	Parametr	Uwagi
Kramer i in. 2008 [9]	czas trwania zalewu (dni)	liczba dni zalewu powodująca zniszczenie 50% drzew (martwych lub zniszczonych)
	głębokość zalewu (cm)	głębokość zalewu powodująca zniszczenie 50% drzew (martwych lub zniszczonych)
Siebel, 1998 [16, 17]	czas trwania zalewu częściowego wiosennego (tygodnie)	liczba tygodni w których 50% jednorocznych sadzonek zmarło
	czas trwania zalewu całkowitego wiosennego (tygodnie)	* nie osiągnięto ww. liczby, ale wszystkie ww. sadzonki zostały poważnie zniszczone
	czas trwania zalewu całkowitego letniego (tygodnie)	** nie zaobserwowano śmierci, bądź poważnych zniszczeń sadzonek
Späth, 1988 [19]	wysokość zalewu (m)	
	czas trwania zalewu żywotny	% sezonu wegetacyjnego
	czas trwania zalewu krytyczny	
Späth, 2002 [18]	czas trwania zalewu - brak zniszczeń (dni)	
	czas trwania zalewu - zniszczenie łodyg/ pni/ korzeni (dni)	
	czas trwania zalewu – zniszczenie drzew (dni)	
Vreugdenhil et al., 2006 [21]	minimalny czas trwania zalewu w ciągu roku dający 5% prawdopodobieństwa wystąpienia młodych drzewek (wysokość w cm) danego gatunku (dni)	średnia z 10 lat
	maksymalny czas trwania zalewu w ciągu roku dający 5% prawdopodobieństw wystąpienia młodych drzewek (wysokość w cm) danego gatunku (dni)	

kość zalewu (głębokość zalewu w centymetrach uśredniona dla wszystkich zalewów w roku).

Podobne analizy wykonane tym razem dla dojrzałych drzew zostały opublikowane przez Kramera i in. [9]. Analizując dane zebrane po powodzi na Renie w 1999 roku, dla każdego z badanych gatunków określili oni liczbę drzew, przypisując jednocześnie poszczególne drzewa do jednej z pięciu kategorii zniszczenia (od braku zniszczeń po śmierć drzewa). Ani wierzba biała, ani topola czarna nie uległy żadnym zniszczeniom. Dla pozostałych gatunków objętych analizą starano się określić, wykorzystując funkcję logistyczną całkowitego okresu zalania, statystyczną zależność pomiędzy prędkością, czasem trwania i głębokością zalewu a przeżywalnością drzew. I tak np. analiza wykonana dla jesionu wyniosłego wykazała, że największy wpływ na zniszczenia i straty miała głębokość zalewu.

zalewów na gatunki drzew tworzących niżowe drzewostany, podlegające zalewom

Podtyp

*91E0-1 łąg wierzbowy wraz z wiklinami nadrzeczny <i>Salicetum albae</i> wraz z <i>Salicetum triandro-viminalis</i>		*91E0-2 łąg topolowy <i>Populetum albae</i>			*91E0 niżowy łąg olszowo-jesionowy <i>Fraxino-Alnetum</i>	
wierzba biała <i>Salix alba</i>	wierzba krucha <i>Salix fragilis</i>	topola biała (białodrzew) <i>Populus alba</i>	topola czarna (sokora) <i>Populus nigra</i>	topola szara <i>Populus × canescens</i>	olcha czarna <i>Alnus glutinosa</i>	jesion wyniosły <i>Fraxinus excelsior</i>
brak śmiertelności zarówno na obszarach zalanych jak i w przypadku braku zalewu		brak śmiertelności zarówno na obszarach zalanych jak i w przypadku braku zalewu			czas trwania zalewu jest nieistotny – 50% drzewostanu przetrwa każdy zalew	
					175	110
**15			**11		**17	**12
**15			13		12,5–18	9–10
**9			9		*15	2,5
3,5						1,5 m
około 95%						około 12%
około 99%						około 40%
					9-38/20	
					11-38/25	
					18-46/35	
28			108			
						17, 3

Kolejny przykład modelowania wpływu stresu wywołanego zalaniem na drzewa przy zastosowaniu logiki rozmytej zaproponowali Glenc i in. [6]. Analizując wpływ czasu trwania, głębokości i częstotliwości (rozumianej jako okres od ostatniego zalewu) zalewów na ograniczenie wzrostu określanego jako optymalny dla drzew Europy Centralnej wyróżnili oni pięć klas tolerancji zalania. Dane wprowadzone do zaproponowanego przez nich modelu FSR (Flooding Stress Response) pochodziły z wiedzy eksperckiej, która obejmowała ilościowe i jakościowe dane dotyczące badanych gatunków. Model jako wskaźnik przyjmuje przyrost pędów na długość. I tak najbardziej odporne na zalanie okazały się oba gatunki wierzby oraz olcha czarna (piąta klasa – bardzo wysoka odporność). Do klasy czwartej (wysoka odporność) zakwalifikowała się topola czarna. Najniżej wśród interesujących nas gatunków (wciąż jednak dość wysoko w ogólnej klasyfikacji) znalazły się jesion wyniosły i topola biała (klasa 3 – odporność pośrednia).

Głębokość zalewu

Margio i in. [10], dokonując przeglądu literatury dotyczącej jesionu wyniosłego wykazują, że jest on odporny na częściowe zalanie, jednak znacznie bardziej wrażliwy na całkowite zalanie, przy czym wrażliwość ta w obu przypadkach jest większa w czasie zalewów późnowiosennych i letnich. Badania Spätha [19] na terenach wezbrania letniego na rzece Ren w 1987 roku pozwoliły na określenie maksymalnego poziomu zalewu tego gatunku na 1,5 m. Jednocześnie wskazują one wierzbę białą jako najbardziej tolerancyjny gatunek znoszący zalew do 3,5 m.

Siebel [16], powołując się na wyniki badań przeprowadzonych na rzece Ren, wskazuje na tolerancję jesionu wyniosłego, olchy czarnej, topoli czarnej oraz wierzby białej na zalanie, uwzględniając zarówno częściowy, jak i całkowity zalew. Podobnie jak w badaniach Glenc i in. [6], najbardziej odporne na oba typy zalewu okazały się olcha czarna oraz wierzba biała. Kolejno sklasyfikowane zostały jesion wyniosły oraz topola czarna.

Czas trwania zalewu

Badania Spätha [18, 19] przeprowadzone na rzece Ren w okresie wegetacyjnym wskazują na żywotne i krytyczne zakresy (przy których odnotowywano śmierć drzew) czasu trwania zalewu dla wybranych gatunków drzew. Procentowy udział czasu trwania zalewu w okresie wegetacyjnym pozwalający na przetrwanie sięga niemal 100% dla wierzby białej, dla olchy czarnej wynosi ponad 60%, dla jesionu wyniosłego zaś jest to już tylko 15–20%.

Sumaryczne zestawienie danych liczbowych określających wpływ wybranych charakterystyk zalewów na gatunki drzew budujących niżowe drzewostany łąkowe, podlegające zalewom – podtypów siedliska 91E0 związanych z dolinami dużych i średnich rzek przedstawiono w tabeli 2.

Przedstawiony w tabeli 2 przegląd charakterystyk hydrologicznych pokazuje, że zasób ilościowych danych charakteryzujących warunki hydrologiczne, umożliwiające wykształcenie się i utrzymanie łągu, jest niewystarczający do podejmowania działań z zakresu odtwarzania czy czynnej ochrony istniejących siedlisk łąkowych. Większość dostępnych analiz dotyczy bowiem pojedynczych gatunków drzew reprezentatywnych dla poszczególnych podtypów badanego siedliska i koncentruje się przede wszystkim na określeniu czasu trwania zalewu, wskazując jego górne granice, których przekroczenie prowadzi do zniszczenia lub śmierci drzew. Brakuje natomiast określenia warunków optymalnych lub identyfikacji minimalnych wielkości zalewów pozwalających na utrzymanie siedliska.

Podsumowanie

Lasy nadrzeczne należące do najbardziej wrażliwych elementów środowiska przyrodniczego, tworzą zazwyczaj drzewa i krzewy zależne od wysokiego poziomu wody (phyreatophytic), a w naszej strefie klimatycznej, zwłaszcza będące przedmiotem naszych badań, topole i wierzyby [15]. Ich układ siedliskowy kształtowany jest przede wszystkim przez wody powierzchniowe [20]. I tak w naszych warunkach klimatycznych, na niższych położeniach rzecznych występują najczęściej bardziej odporne na zalanie gatunki wierzb i topoli, nieco wyżej zaś (uznawany niejednokrotnie za dalszy etap sukcesji) jesion wzniosły [1, 2, 3, 16].

Przyjmując, że siedlisko 91E0, tak jak wszystkie siedliska charakterystyczne dla dolin rzecznych, zostało ukształtowane w warunkach określonych, powtarzalnych wzorców czasowego i przestrzennego zróżnicowania przepływów, podstawą jego utrzymania jest zachowanie tych schematów [5]. Ochrona siedliska powinna zaś mieć na celu zachowanie lub odtworzenie takiego reżimu, w jakim odpowiednie zbiorowisko się wykształciło [13].

Należy podkreślić, że siedlisko w rozumieniu Natura 2000, jest to obszar lądowy lub wodny, naturalny, półnaturalny lub antropogeniczny, wyodrębniony na podstawie cech geograficznych, abiotycznych i biotycznych, a nie tylko składu gatunkowego drzewostanu. Dlatego celowe jest podjęcie dalszych badań, które dążyłyby do kompleksowego określenia reżimu hydrologicznego, wymaganego do utrzymania niższych podtypów siedliska 91E0, włączając w badania również charakterystykę roślin dna lasu. Badania te powinny zmierzać do określenia naturalnej dla każdego z podtypów siedliska łęgowego wartości, zarówno dolnej, jak i górnej, granicy częstotliwości występowania zalewów oraz ich wielkości względem obszaru siedliska jak i głębokości.

Podanie wzmiankowanych parametrów pozwoliłoby na bardziej precyzyjne określenie istotności oddziaływań projektowanych w zlewniach rzecznych inwestycji hydrotechnicznych na chronione siedliska w ramach programu Natura 2000.

Literatura

- [1] Blom C.W.P.M., Voesenek L.A.C.J. 1996. Flooding: The survival strategies of plants. *Trends in Ecology and Evolution* 11(7): 290–295.
- [2] Blom C.W.P.M. 1999. Adaptations to flooding stress: from plant community to molecule. *Plant Biology* 1(3): 261–273.
- [3] Brown A.G., Harper D., Peterken G.F. 1997. European floodplain forests: structure, functioning and management. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6(3/4): 169–178.
- [4] Chapin D.M., Beschta R.L., Shen W.H. 2002. Relationship between flood frequencies and riparian plant communities in the upper Klamath Basin, Oregon. *Journal of the American Water Resources Association* 38(3): 603–617.
- [5] Chylarecki P., Kucharczyk M. 2004. Zasady gospodarowania na obszarach NATURA 2000 w dolinach rzecznych, Etap I. Część II, Przyrodnicze uwarunkowania wdrażania sieci Natura 2000 na obszarach dolin rzecznych. WWF Polska, Global Water Partnership Polska: 53 ss.

- [6] Glenz C., Iorgulescu I., Kienast F., Schlaepfer R. 2008. Modelling the impact of flooding stress on the growth performance of woody species using fuzzy logic. *Ecological Modelling* 218(1–2): 18–28.
- [7] Glenz C., Schlaepfer R., Iorgulescu I., Kienast F. 2006. Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. *Forest Ecology and Management* 235(1–3): 1–13.
- [8] Herbich J. (red.) 2004. Lasy i bory. Poradnik ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska. Tom 5: 344 ss.
- [9] Kramer K., Vreugdenhil S. J., Werf van der D.C. 2008. Effects of flooding on the recruitment, damage and mortality of riparian tree species: A field and simulation study on the Rhine floodplain. *Forest Ecology and Management* 255(11): 3893–3903.
- [10] Marigo G., Peltier J.-P., Girel J., Pautou G. 2000. Success in the demographic expansion of *Fraxinus excelsior* L. *Trees* 15: 1–13.
- [11] Matuszkiewicz J.M. 2008. Zespoły leśne Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 358 ss.
- [12] Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 357 ss.
- [13] Pawlaczyk P. 2008. Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych ze szczególnym uwzględnieniem specjalnych obszarów ochrony siedlisk Natura 2000. Metodyka monitoringu. Przewodniki metodyczne. 91E0 Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe (*Salicetum albae*, *Populetum albae*, **Alnenion glutinoso-incanae**, olsy źródłiskowe. GIOŚ: 16 ss.
- [14] Piegay H. 1997. Interactions between floodplain forests and overbank flows: data from three piedmont rivers of Southeastern France. Global ecology and biogeography letters. *Floodplain forests: Structure, Functioning and Management* 6(3/4): 187–196.
- [15] Rood S.B., ZGourley C.R., Ammon E.M., Heki L.G., Klotz J.R., Morrison M.L., Mosley D., Scopetone G.G., Swanson S., Wagner P.L. 2003. Flows for floodplain forests: A successful riparian restoration. *BioScience* 53(7): 647–656.
- [16] Siebel H.N. 1998. Floodplain forests restoration: Tree seedling establishment and tall herb interference in relation to flooding and shading. Thesis (dissertation), Wageningen.
- [17] Siebel H.N., Bouwma I.M. 1998. The Occurrence of herbs and woody juveniles in a hardwood floodplain forest in relation to flooding and light. *Journal of Vegetation Science* 9(5): 623–630.
- [18] Späth V. 2002. Hochwassertoleranz von Waldbäumen in der Rheinebene. *AFZ-der Wald* 15: 807–810.
- [19] Späth V. 1998. Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen. *Natur und Landschaft* 63(6): 312–314.
- [20] Townsend P.A. 2001. Relationship between vegetation patterns and hydroperiod on the Roanoke River floodplain, North Carolina. *Plant Ecology* 156: 43–58.
- [21] Vreugdenhil S.J., Kramer K., Pelsma T. 2006. Effects of flooding duration, frequency and depth on the presence of saplings of six woody species in north-west Europe. *Forest Ecology and Management* 236(1): 47–55.

Effect of flooding on the alluvial forests

Key words: flooding, flooding tolerance, habitat, alluvial forests with *Alnus glutinosa* and *Fraxinus excelsior*

Summary

Functioning of the riparian ecosystem habitats is highly dependent on the maintenance of the unstable hydrological conditions in which they were once established, of which the flooding depth is particularly important. Growing interest in improving ecological values of floodplain areas created a need to enhance our understanding of the impact of hydrological conditions on particular habitats. However, there is still lack of quantitative data on particular hydrological parameters (such as: duration, time of oc-

currence, and depth of inundation) that are responsible for creation and maintenance of riverine habitats in unchangeable condition. Therefore, the paper presents a systematic review of available literature that reports quantitative characteristics of hydrological regime of floodplains in relation to the spatial distribution of three lowland subtypes of Nature 2000 habitat: alluvial forests with *Alnus glutinosa* and *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*) (91E0). This article should help to direct further research on the habitat, that would enable more specific determination of scope of its tolerance to the change of hydrological conditions.

Znaczenie doboru metody wstępnej obróbki substratów lignocelulozowych z uwzględnieniem wydajności produkcji bioetanolu*

Magdalena Świątek, Małgorzata Lewandowska, Włodzimierz Bednarski

*Katedra Biotechnologii Żywności
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Heweliusza 1, 10-718 Olsztyn
e-mail: magdalena.swiatek@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: lignoceluloza, obróbka wstępna, bioetanol

Wstęp

Upowszechnienie biopaliw w Polsce i na świecie wiąże się z pojęciem „paliw II generacji”, do produkcji których wykorzystywane będą surowce lignocelulozowe. Działania zmierzające do promowania tego kierunku badań zostały wymienione m.in. w harmonogramie Polskiej Strategicznej Agendy Badawczej działającej przy Polskiej Platformie Technologicznej Biopaliw i Biokomponentów. Wytwarzanie bioetanolu z biomasy lignocelulozowej, głównie pochodzenia odpadowego, nie stanowi konkurencji dla produkcji żywności, w przeciwieństwie do biopaliw I generacji, których produkcja oparta jest na surowcach skrobiowych i cukrowych, stwarzając zagrożenie wzrostu cen żywności.

Obfitość odpadowych surowców lignocelulozowych stanowi potencjalnie niewyczerpalne źródło, jednak efektywność ekonomiczna procesu ich przetwarzania nadal ustępuje technologiom tradycyjnym. Wiąże się to z szeregiem nierozwiązanych problemów natury technologicznej i poznawczej. W środowisku naturalnym biomasa roślinna podlega procesom utylizacji z udziałem mikroorganizmów, które prowadzą wydajną biokonwersję trudnodostępnych składników surowca lignocelulozowego.

* Artykuł przeglądowy opracowano w ramach Programu Strategicznego – Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii; Zadanie nr 4 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”. Projekt współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

W działaniach tych istotne znaczenie odgrywa wspomagająca rola czynników środowiska takich jak: woda, światło słoneczne, zmienna temperatura oraz wiatr. Niemniej jednak procesy te w warunkach naturalnych trwają często od kilku miesięcy do kilkunastu czy kilkudziesięciu lat, co świadczy o złożonym charakterze przemian lignocelulozy. O wytrzymałości tkanek roślinnych na działanie czynników zewnętrznych decyduje ich budowa, w której najistotniejszą rolę spełnia ochronna funkcja ligniny, ściśle powiązanej z pozostałymi polimerami: celulozą i hemicelulozą.

Uzyskanie korzystnej wydajności biokonwersji substratu do etanolu, gwarantującej opłacalność, wymaga zastosowania wstępnej obróbki surowca mającej na celu usunięcie ligniny, naruszenie struktury hemiceluloz oraz częściową amorfizację celulozy. Stanowi to ważny etap technologii otrzymywania bioetanolu wyznaczający efektywność procesów następczych.

Liczne doniesienia literaturowe wskazują, że opracowanie jednorodnego sposobu przetwarzania biomasy nie jest łatwe. Szeroka gama dostępnych surowców możliwych do zagospodarowania w tym kierunku (odpady rolnicze, leśne, komunalne czy uprawy dedykowane) determinuje różne sposoby postępowania na każdym etapie technologii: obróbki wstępnej i hydrolizy substratów, sposobu prowadzenia fermentacji czy operacji pośrednich [4, 5, 17, 19, 25].

Charakterystyka składu chemicznego surowców

Surowce lignocelulozowe stanowiące potencjalny substrat do produkcji bioetanolu można podzielić na sześć głównych grup: pozostałości produkcji rolnej (słoma pszenna, rzepakowa, kukurydziana, jęczmienna oraz ryżowa, wyłoki trzciny cukrowej, plewy ryżowe, wyłoki sorga), twarde drewno (osika, topola), miękkie drewno (sosna, świerk), odpady celulozowe (papier gazetowy, odpady biurowe), rośliny zielone (proso różgowe, cynodon palczasty) i glony oraz miejskie odpady stałe (municipal solid wastes – MSW) [24].

Lignina, celuloza i hemicelulozy są głównymi składnikami surowców lignocelulozowych, a ich udział zależy głównie od rodzaju rośliny, bądź też odpadu (tab. 1).

Tabela 1. Skład chemiczny materiałów lignocelulozowych [wg 8, 18, 23]

Surowiec	Lignina [%]	Celuloza [%]	Hemicelulozy [%]
Słoma pszenna	22	34	20
Słoma żytnia	25	31	22
Słoma kukurydziana	19	35	23
Trawy	10–30	25–40	25–50
Wyłoki trzciny cukrowej	24	39	23
Twarde drewno	18–25	45–55	24–40
Miękkie drewno	25–35	45–50	25–35

Celuloza jest liniowym polimerem cząsteczek glukozy połączonych wiązaniami β -1,4-glikozydowymi, a sąsiadujące łańcuchy celulozowe łączą się poprzez wiązania wodorowe i siły Van der Waalsa tworząc struktury krystaliczne, trudnodostępne dla enzymów hydrolitycznych. Pomiędzy fibrylami celulozowymi i ligniną usytuowane są struktury hemicelulozy, stanowiące rozgałęzione heteropolimery zawierające w swym składzie heksozy (galaktoza, mannoza, ramnoza), pentozy (ksyloza, arabinoza) i kwas glukuronowy. Do najważniejszych składników hemiceluloz zaliczane są ksylany, występujące w znacznych ilościach w drewnie twardym oraz roślinach jednorocznych [27]. Cząsteczki hemicelulozy łączą się z ligniną poprzez wiązania kowalencyjne (głównie mostki kwasu diferulowego oraz wiązania estrowe pomiędzy ligniną i jednostkami kwasu glukuronowego hemiceluloz) i celulozą poprzez niekowalencyjne interakcje [29, 30].

Lignina jest polimerem o złożonej budowie, zbudowanym głównie z jednostek aromatycznych, takich jak: alkohol kumarylowy, koniferylowy, synapinowy, tworzących nieregularną strukturę. W przeciwieństwie do celulozy i hemiceluloz, hydroliza enzymatyczna ligniny charakteryzującej się skomplikowaną strukturą i różnorodnością występujących wiązań chemicznych jest wyjątkowo trudna. Pełni ona funkcję „kleju” spajającego kompleks lignocelulozowy, nadając mu trwałość i oporność na degradację, ponadto wykazuje zdolność do niespecyficznego wiązania enzymów, obniżając wydajność hydrolizy enzymatycznej. Rolę ochronną odgrywają również polisacharydowe kompleksy kwasów fenolowych (np. ester kwasu ferulowego i arabinozy związany z jednostkami ksylozy – FAXX i analogiczny ester kwasu kumarowego – PAXX) [2, 7].

Surowce drzewne i rośliny dwuliścienne zawierają znaczne ilości ligniny, natomiast w komórkach u roślin jednoliściennych (np. traw) występują oprócz ligniny niskocząsteczkowe kwasy fenolowe połączone wiązaniem estrowym z arabinozą. Ciepło-sezonowe rośliny trawiaste (m.in. cynodon palczasty (bermudagrass), proso różgowe (switchgrass), a także wyłoki trzciny cukrowej (bagasse) i słoma kukurydziana (corn stover)), pomimo że są ubogie w ligninę, to charakteryzują się znacznym udziałem estrów kwasów kumarowego i ferulowego z hemicelulozą, istotnie utrudniających biodegradację. Wiązanie utworzone przez kwas ferulowy pomiędzy hemicelulozą a ligniną wykazuje wrażliwość na alkaliczne środowisko, co zostało wykorzystane do opracowania skutecznej obróbki alkalicznej materiałów lignocelulozowych gwarantującej oddzielenie ligniny. Zimno-sezonowe rośliny trawiaste zawierające niewielkie ilości ligniny i estrów kwasów fenolowych znacznie łatwiej ulegają degradacji mikrobiologicznej [2, 18].

Obróbka wstępna surowców lignocelulozowych

Ze względu na skomplikowaną strukturę kompleksu lignocelulozowego wymagane jest zastosowanie wstępnej obróbki umożliwiającej przeprowadzenie procesu hydrolizy chemicznej lub enzymatycznej oraz fermentacji. Takie działanie powinno spełniać następujące wymagania: zapewnić rozdział ligniny od celulozy, zwiększyć udział frakcji celulozy amorficznej (bardziej podatnej na hydrolizę enzymatyczną), zwiększyć porowatość materiału (aby poprawić wrażliwość celulozy na proces hydrolizy), umożliwić pełną i szybką hydrolizę enzymatyczną w kolejnym etapie, wyeliminować straty cukrów oraz tworzenie inhibitorów procesu hydrolizy i fermentacji oraz zapewnić efektywność ekonomiczną. Obróbka wstępna jest więc etapem krytycznym procesu produkcji etanolu celulozowego, pochłaniającym około 18% kosztów ogółem i istotnie wpływającym na przebieg kolejno prowadzonych procesów jednostkowych. Stopień hydrolizy celulozy w surowcach nie poddanych wstępnemu traktowaniu nie osiąga 20% wartości teoretycznej, natomiast jego zastosowanie pozwala na osiągnięcie 90-procentowego lub wyższego stopnia hydrolizy celulozy, w zależności od zaproponowanej metody i właściwości fizykochemicznych substratu [3, 24].

We wstępnym przygotowaniu lignocelulozy stosuje się metody fizyczne, fizyko-chemiczne, chemiczne i biologiczne, co skutkuje różnym poziomem przemian zachodzących w obrębie kompleksu [7].

Metody fizyczne

Do najpowszechniej stosowanych metod fizycznej obróbki lignocelulozy zalicza się głównie rozdrabnianie przez mielenie (młyny kulowe, wibracyjne, młotkowe), ekstruzję oraz pirolizę. Rozdrabnianie pozwala na częściowe zniszczenie krystalicznej struktury celulozy i ułatwia dostęp celulaz do substratu, zwiększając ponadto wrażliwość polimerów kompleksu na działanie czynników chemicznych. Zastosowanie metod fizycznych nie pozwala na rozdzielenie poszczególnych składników kompleksu, jednak zmniejszenie wielkości cząstek, a przez to oporów transportu masy i ciepła, jest niezbędne dla skuteczności kolejnych etapów.

Jak podają Pedersen i Meyer [20] stopień rozdrobnienia słomy pszennej do wartości 53–149 μm pozwala na zwiększenie wydajności uwalniania glukozy i ksylozy po 24-godzinnej hydrolizie enzymatycznej o odpowiednio 39% i 20% w porównaniu do prób odniesienia (cząstki długości 2–4 cm). Metody te charakteryzują się jednak wysoką koszto- i energochłonnością, zależną od rodzaju surowców lignocelulozowych poddawanych obróbce i żądanej redukcji wielkości cząstek. W celu zmniejszenia energochłonności tego etapu Zhu i in. [32] oraz Zhu i in. [33] zaproponowali, aby proces mielenia stosować po chemicznej obróbce substratu lignocelulozowego (obróbka kwasowa lub termohydroliza). Energochłonność mechanicznej metody przygotowania substratów, które poddano uprzednio (fizyko)chemicznej obróbce była mniejsza o 20–80%, w zależności od zastosowanych parametrów.

Metody fizykochemiczne

Fizykochemiczne metody wstępnego traktowania lignocelulozy charakteryzują się większą efektywnością od metod fizycznych. Zalicza się do nich działanie nasyconą parą wodną, wodą, amoniakiem i ditlenkiem węgla przy podwyższonym ciśnieniu i temperaturze. Najlepiej zbadaną spośród wymienionych metod jest działanie parą wodną o wysokiej temperaturze (do 290°C) i ciśnieniu (0,69–4,85 MPa), w czasie od kilku sekund do kilku minut, po czym szybkie chłodzenie (z ang. steam explosion – SE). Głównym celem tej metody jest degradacja części hemiceluloz i ligniny i tym samym zwiększenie dostępności celulozy dla enzymów hydrolitycznych [10, 24]. Ruiz i in. [22] poddając obróbce parą wodną (220°C/5 min) łodygi słonecznika osiągnęli wydajność 96-godzinnej hydrolizy enzymatycznej celulozy na poziomie 72%, wobec 18% uzyskanych w próbie kontrolnej.

Inną metodą, w której stosuje się wysoką temperaturę i ciśnienie, jest termohydroliza (z ang. liquid hot water – LHW), czyli traktowanie surowców gorącą wodą pod ciśnieniem większym niż 5 MPa w temperaturze 170–230°C. Głównym celem jest częściowa hydroliza hemiceluloz oraz ich oddzielenie od celulozy, a uzyskany efekt zależy od parametrów obróbki, tj. temperatury i ciśnienia wody, czasu trwania oraz rodzaju substratu. Kwasowość środowiska utrzymywana jest w zakresie pH 4–7, co sprzyja hydrolizie, a jednocześnie ogranicza głęboką degradację polisacharydów. Pérez i in. [21], poszukując najkorzystniejszych parametrów termohydrolizy słomy pszennej, za najlepsze uznali zastosowanie wody o temperaturze 188°C w czasie 40 minut, co pozwoliło na osiągnięcie wydajności hydrolizy enzymatycznej na poziomie 79,8% teoretycznej wydajności glukozy.

Kolejna z metod: AFEX – ammonia fibre explosion – polega na traktowaniu biomasy amoniakiem pod dużym ciśnieniem. Proces jest prowadzony z udziałem amoniaku w stężeniach: od 0,6–2 g · g⁻¹ s.s. lignocelulozy, w temperaturach: od pokojowej (10–60 dni), aż do 120°C (kilka minut). Gwałtowne obniżenie ciśnienia i rozprężenie amoniaku powoduje pęcznienie surowca oraz zniszczenie wiązań pomiędzy ligniną a polisacharydami kompleksu, co więcej, następuje częściowa amorfizacja celulozy. Lotność amoniaku pozwala na jego szybkie i łatwe oddzielenie oraz recykling, ponadto biomasa może być poddana hydrolizie enzymatycznej bez uprzedniej detoksykacji. Jednakże, po zastosowaniu omawianej metody obróbki, konieczne jest użycie w kolejnym etapie obok enzymów celulolitycznych również hemicelulaz, gdyż w warunkach metody AFEX pentozany nie ulegają depolimeryzacji [1, 7, 10].

Kim i in. [14] poddali obróbce metodą AFEX oraz LHW wywar zbożowy po produkcji bioetanolu. Zarówno po zastosowaniu metody AFEX (dodatek amoniaku 0,8 g · g⁻¹ s.s. wywaru, 70°C · 5 min⁻¹), jak i LHW (160 · C · 20 min⁻¹) wydajność hydrolizy enzymatycznej celulozy, przeprowadzonej w kolejnym etapie, osiągnęła poziom 90% po 24 h.

Interesującą metodą wydaje się mikrofalowe ogrzewanie substratu lignocelulozowego, w połączeniu z działaniem alkaliów. Mikrofałe wykazują selektywność

względem bardziej polarnych składników, prowadząc tym samym do nierównomiernego ogrzewania wnętrza materiału, co prawdopodobnie wiąże się z szeregiem „mikroeksplozji”, intensyfikującym degradację kompleksu lignocelulozowego. Hu i Wen [11] stosując wstępną, 2-godzinną inkubację prosa różgowego w roztworze wodorotlenku sodu (stężenie s.s. substratu $100 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 10% udział NaOH), w temperaturze 20°C , a następnie ogrzewanie mikrofalowe – 190°C w ciągu 30 minut, uzyskali wydajność hydrolizy enzymatycznej na poziomie 58,5 g glukozy i ksylozy łącznie ze 100 g biomasy, co stanowiło prawie 99% wydajności teoretycznej.

Metody chemiczne

W chemicznych metodach obróbki wstępnej lignocelulozy wykorzystywane są kwasy (organiczne i nieorganiczne), alkalia i nadtlenki, w wyniku działania których uzyskuje się różne efekty końcowe. Jednym z powszechniejszych sposobów jest stosowanie kwasu siarkowego (w stężeniu 0,05–5% i większym) w środowisku o temperaturze $100\text{--}200^\circ\text{C}$. W tych warunkach znaczna część ligniny jest uwalniana z kompleksu i wytrącana z jednoczesną hydrolizą niektórych polisacharydów, głównie hemiceluloz. Wymienionym zmianom towarzyszy również zwiększenie dostępności celulozy dla enzymów hydrolitycznych. Hydroliza hemiceluloz prowadzi do uwolnienia cukrów prostych, które mogą być degradowane do produktów takich jak: furfural (z pentoz), hydroksymetylofurfural (z heksoz), ponadto z grup acetylowych hemiceluloz uwalniany jest kwas octowy. Związki te wpływają inhibująco na proces hydrolizy oraz hamują wzrost mikroorganizmów odpowiedzialnych za fermentację alkoholową. Powstawanie furfuralu i hydroksymetylofurfuralu wiąże się ponadto ze stratą cukrów podlegających fermentacji, co skutkuje obniżeniem wydajności procesu [7, 16]. Metodę tę proponuje się jako korzystną w odniesieniu do surowców drzewnych [31, 32]. Surowiec po kwasowej obróbce wstępnej, przed poddaniem go hydrolizie enzymatycznej, wymaga przeprowadzenia neutralizacji (powstaje CaSO_4 – gips jako produkt uboczny) i detoksykacji (np. z zastosowaniem wodorotlenku wapnia, węgla aktywnego). Stosowanie wysokich stężeń kwasu siarkowego (10–30%) nie jest korzystną metodą, z uwagi na powstawanie znacznych ilości inhibitorów hydrolizy i fermentacji, i związaną z tym istotną stratą cukrów [10]. Guo i in. [9] wykazali, że zastosowanie kwasu siarkowego w stężeniu 3% (121°C) w obróbce wstępnej miskanta chińskiego pozwala na zniszczenie struktury kompleksu lignocelulozowego.

Do alkalicznych metod obróbki wstępnej wykorzystuje się: tlenek wapnia, wodorotlenek wapnia (lime), amoniak, czy też wodorotlenek sodu. Większość z tych związków oddziałuje na acetylowe grupy hemiceluloz i wiązania estrowe pomiędzy ligniną i pozostałymi polimerami, powodując częściowe upłynnienie kompleksu i usunięcie znacznej części ligniny [7]. Takie sposoby są przydatne głównie do obróbki pozostałości rolniczych (np. słomy) [1]. Jednym z nich jest stosowanie wodnego roztworu amoniaku (SAA – soaking in aqueous ammonia), gdzie stopień

delignifikacji i wydajność hydrolizy enzymatycznej w kolejnym etapie zależą od zastosowanych parametrów, tj. temperatury i czasu procesu oraz stężenia amoniaku. Ko i in. [15] za optymalne warunki obróbki słomy ryżowej uznali: stężenie amoniaku 21% (w/w), temperatura procesu – 69°C, czas – 10 h, stosunek frakcji stałej do płynnej – 1 : 6 (w/w). Zastosowanie wymienionych parametrów podczas obróbki wstępnej skutkowało usunięciem około 60% ligniny oraz pozwoliło na uzyskanie około 70% wydajności uwalniania glukozy (po hydrolizie enzymatycznej).

Kim i in. [13] potwierdzili wysoką efektywność obróbki z zastosowaniem amoniaku i za najbardziej korzystne warunki obróbki wstępnej plew jęczmiennych uznali: stężenie amoniaku 15% (w/w), temperatura procesu – 75°C, czas – 48 h, stosunek frakcji stałej do płynnej – 1 : 12 (w/w). W tych warunkach uzyskali stopień delignifikacji około 60%, wydajność hydrolizy enzymatycznej celulozy na poziomie 83% i ksylanu 63%.

Obiecującą metodą wydaje się stosowanie wodorotlenku wapnia, gdyż jony wapniowe wykazują szczególne powinowactwo do ligniny, powodując jej sieciowanie, w związku z czym mimo jej obecności, możliwa jest efektywna hydroliza enzymatyczna polisacharydów. Zadawalające rezultaty uzyskali Xu i in. [28] stosując stężenie $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $0,1 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ biomasy (proso różgowe), w temperaturze 50°C, w czasie 24 h. Wydajność hydrolizy celulozy i ksylanu kształtowała się na poziomie około 65%, mimo niskiego stopnia delignifikacji. Ponadto zauważono, iż obecność jonów wapnia w środowisku zmniejsza straty cukrów.

Kim i Holtzapple [12] stosując podobną metodę w obróbce słomy kukurydzianej uzyskali korzystniejsze rezultaty (wydajność hydrolizy celulozy 93% i ksylanu 80%), jednak parametry procesu były bardziej rygorystyczne: czas 4 tygodnie, dodatek wodorotlenku wapnia $0,5 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ biomasy i temperatura 55°C.

Porównanie czterech różnych metod wstępnego traktowania słomy kukurydzianej przeprowadzili Chen i in. [6]. Po zastosowaniu kwasu siarkowego, wodorotlenku sodu, wodorotlenku wapnia lub amoniaku z kwasem solnym do degradacji słomy kukurydzianej, najwyższą wydajność uwalniania cukrów redukujących po hydrolizie enzymatycznej substratu uzyskali po jego obróbce przy wykorzystaniu wodorotlenku sodu, natomiast najniższą – kwasu siarkowego. Wymienieni autorzy zaobserwowali ponadto korelację pomiędzy stopniem delignifikacji i wydajnością hydrolizy enzymatycznej. Metoda z zastosowaniem wodorotlenku sodu pozwoliła na osiągnięcie korzystnego stopnia delignifikacji – 74% i wydajności hydrolizy enzymatycznej tak przygotowanego substratu – 81%, wobec odpowiednio 12% i niespełna 40%, przy zastosowaniu kwasu siarkowego. W doświadczeniu z udziałem kwasu siarkowego stężenie uwalnianego kwasu octowego w hydrolizacie było najwyższe ($350 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), podobnie jak furfuralu ($10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), którego obecności nie stwierdzono w hydrolizatach po obróbce alkalicznej. Straty celulozy w każdej z metod obróbki wstępnej nie przekraczały 8%, w stosunku do jej zawartości w substracie, podczas gdy straty hemicelulozy (w wyniku przejścia do fazy ciekłej) wahały się w granicach od około

15% (dla $\text{Ca}(\text{OH})_2$) do ponad 75% (dla H_2SO_4). Przedstawione rezultaty badań udowodniły większą przydatność obróbki alkalicznej niż kwasowej dla słomy kukurydzianej, zarówno pod względem wydajności uwalniania cukrów redukujących po hydrolizie enzymatycznej, strat polisacharydów, a także powstawania inhibitorów hydrolizy i fermentacji.

Metody biologiczne

Biologiczne metody degradacji surowców lignocelulozowych charakteryzują się niskimi nakładami energetycznymi i łagodnymi warunkami procesu, w przeciwieństwie do większości metod chemicznych i fizykochemicznych, jednakże przebiegają zbyt wolno, aby znaleźć zastosowanie w produkcji etanolu celulozowego na skalę przemysłową. W wyniku rozwoju mikroorganizmów mogą następować straty polisacharydów w substracie, obniżając wydajność uwalniania cukrów podlegających fermentacji.

Wśród mikroorganizmów o stwierdzonych zdolnościach lignolitycznych wymienia się: grzyby białej, brunatnej i szarej zgnilizny (z ang. odpowiednio: white-, brown- and soft-rot fungi). Wytwarzają one enzymy degradujące ligninę, jak również celulozę i hemicelulozy, a uzyskany poziom przemian biomasy lignocelulozowej zależy od specyficznych właściwości stosowanego szczepu [7, 24]. Za najbardziej efektywne uznawane są grzyby białej zgnilizny (takie jak *Phanerochaete chrysosporium*, *Ceriporia lacerata*, *Pleurotus ostreatus*), dzięki którym można uzyskać najwyższy stopień delignifikacji [1].

Taniguchi in. [26] porównując efekty obróbki wstępnej słomy ryżowej z zastosowaniem 4 różnych szczepów należących do klasy *Basidiomycetes*, za dający najkorzystniejsze efekty uznali grzyb *Pleurotus ostreatus* (białej zgnilizny). Przeprowadzenie 60-dniowej obróbki biologicznej z wykorzystaniem wymienionego szczepu pozwoliło na uzyskanie delignifikacji na poziomie 41%, przy stracie masy ok. 25%. Straty celulozy po wstępnej obróbce słomy wyniosły 17%, hemicelulozy 48%, a całkowita wydajność cukrów po obu etapach (wstępnym traktowaniu i hydrolizie enzymatycznej) osiągnęła poziom 33%.

Ograniczenia w zastosowaniu metody biologicznej obróbki na skalę przemysłową związane są z długim czasem trwania, niską wydajnością hydrolizy enzymatycznej i stratami cukrów, tak więc determinują konieczność poszukiwania nowych szczepów, charakteryzujących się większą selektywnością względem składników kompleksu i zapewniających uzyskanie pożądanych efektów w krótszym czasie.

Porównując wszystkie – kolejno omówione – metody wstępnej obróbki surowców lignocelulozowych należy stwierdzić, że efekty ich zastosowania, tzn. delignifikacja, dekrystalizacja celulozy, degradacja hemiceluloz, wzrost dostępnej powierzchni substratu, uwalnianie inhibitorów mają kluczowy wpływ na procesy hydrolizy enzymatycznej i fermentacji. Usunięcie znacznej ilości ligniny, ograniczenie tworzenia inhibitorów, niskie zużycie energii, wody i związków chemicznych i możliwość

prowadzenia obróbki wstępnej w systemie ciągłym stanowią najważniejsze aspekty, pozwalające na obniżenie kosztów procesu i umożliwiające zastosowanie danej metody na skalę przemysłową. Zastosowanie wodorotlenku wapnia, amoniaku, pary wodnej czy też termohydrolizy jest bardziej opłacalne niż stężonych kwasów i rozpuszczalników organicznych (uwzględniając ekonomikę procesu i uzyskane w wyniku obróbki efekty).

Podsumowanie

Biomasa lignocelulozowa zawarta w odpadach rolniczych, leśnych czy komunalnych stanowi potencjalnie niewyczerpalne i tanie źródło do produkcji bioetanolu II generacji. Problemem dotychczas nierozwiązanym jest opracowanie technologii produkcji etanolu celulozowego o cenie zbliżonej do ceny paliw pozyskiwanych z ropy naftowej. Ze względu na złożoność i odporność na degradację kompleksu lignocelulozowego niezbędne jest przeprowadzenie wstępnego traktowania surowca przed hydrolizą i fermentacją. Skuteczna obróbka wstępna powinna zapewnić m.in. zniszczenie krystalicznej struktury celulozy, rozdział ligniny od celulozy i zwiększenie dostępności substratu, aby możliwe było przeprowadzenie w kolejnym etapie jego hydrolizy, a następnie fermentacji uwolnionych cukrów. Ograniczenie powstawania inhibitorów hydrolizy i fermentacji, niskie zużycie wody, energii i środków chemicznych, zagospodarowanie wszystkich składników kompleksu lignocelulozowego i możliwość prowadzenia jego obróbki wstępnej w systemie ciągłym pozwalają osiągnąć wysoką efektywność i opłacalność procesu. Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, termohydroliza, działanie parą wodną pod wysokim ciśnieniem, stosowanie amoniaku i wodorotlenku wapnia uważane są za bardziej korzystne metody w porównaniu do procedur z udziałem stężonych kwasów czy też frakcjonowania rozpuszczalnikami.

Literatura

- [1] Alvira P., Tomás-Pejó E., Ballesteros M., Negro M.J. 2010 Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis. A review. *Bioresour. Technol.* 101: 4851–4861.
- [2] Anderson W.F., Akin D.E. 2008. Structural and chemical properties of grass lignocellulose related to conversion for biofuels. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35: 355–366.
- [3] Balat M., Balat H. 2009. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Appl. Energy* 86: 2273–2282.
- [4] Bura R., Chandra R., Saddler J. 2009. Influence of xylan on the enzymatic hydrolysis of steam-pretreated corn stover and hybrid poplar. *Biotechnol. Prog.* 25(2): 315–322.
- [5] Chandra R.P., Bura R., Mabee W.E., Berlin A., Pan X., Saddler J.N. 2007. Substrate pretreatment: the key to effective enzymatic hydrolysis of lignocellulosics? *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 108: 67–93.
- [6] Chen M., Zhao J., Xia L. 2009. Comparison of four different chemical pretreatments of corn stover for enhancing enzymatic digestibility. *Biomass Bioenergy* 33: 1381–1385.
- [7] Da Costa Sousa L., Chundawat S. Ps, Balan V., Dale B.E. 2009. 'Cradle-to-grave' assessment of existing lignocellulose pretreatment technologies. *Curr. Opin. Biotechnol.* 20: 339–347.

- [8] García-Cubero M.T., González-Benito G., Indacochea I., Coca M., Bolado S. 2009. Effect of ozonolysis pretreatment on enzymatic digestibility of wheat and rye straw. *Bioresour. Technol.* 100: 1608–1613.
- [9] Guo G.-L., Chen W.-H., Chen W.-H., Men L.-C., Hwang W.-S. 2008. Characterization of dilute acid pretreatment of silvergrass for ethanol production. *Bioresour. Technol.* 99: 6046–6053.
- [10] Hendriks A.T.W.M., Zeeman G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 100: 10–18.
- [11] Hu Z., Wen Z. 2008. Enhancing enzymatic digestibility of switchgrass by microwave-assisted alkali pretreatment. *Biochem. Eng. J.* 38: 369–378.
- [12] Kim S., Holtzaple M.T. 2005. Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. *Bioresour. Technol.* 96: 1994–2006.
- [13] Kim T.H., Taylor F., Hicks K.B. 2008. Bioethanol production from barley hull using SAA (soaking in aqueous ammonia) pretreatment. *Bioresour. Technol.* 99: 5694–5702.
- [14] Kim Y., Hendrickson R., Mosier N.S., Ladisch M.R., Bals B., Balan V., Dale B.E. 2008. Enzyme hydrolysis and ethanol fermentation of liquid hot water and AFEX pretreated distillers' grains at high-solids loadings. *Bioresour. Technol.* 99: 5206–5215.
- [15] Ko J.K., Bak J.S., Jung M.W., Lee H.J., Choi I.-G., Kim T.H., Kim K.H. 2009. Ethanol production from rice straw using optimized aqueous-ammonia soaking pretreatment and simultaneous saccharification and fermentation processes. *Bioresour. Technol.* 100: 4374–4380.
- [16] Kootstra A.M.J., Beeftink H.H., Scott E.L., Sanders J.P.M., 2009, Comparison of dilute mineral and organic acid pretreatment for enzymatic hydrolysis of wheat. *Biochem. Eng. J.* 46: 126–131.
- [17] Kumar R., Mago G., Balan V., Wyman C.E. 2009. Physical and chemical characterizations of corn stover and poplar solids resulting from leading pretreatment technologies. *Bioresour. Technol.* 100: 3948–3962.
- [18] Malherbe S., Cloete T.E. 2002. Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 1: 105–114.
- [19] Mosier N., Wyman C., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzaple M., Ladisch M. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 96: 673–686.
- [20] Pedersen, M., Meyer, A.S., 2009, Influence of substrate particle size and wet oxidation on physical surface structures and enzymatic hydrolysis of wheat straw. *Biotechnol. Prog.* 25: 399–408.
- [21] Pérez J.A., Ballesteros I., Ballesteros M., Sáez F., Negro M.J., Manzanares P. 2008. Optimizing Liquid Hot Water pretreatment conditions to enhance sugar recovery from wheat straw for fuel-ethanol production. *Fuel* 87: 3640–3647.
- [22] Ruiz E., Cara C., Manzanares P., Ballesteros M., Castro E. 2008 Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. *Enzyme Microb. Technol.* 42: 160–166.
- [23] Sainz M.B. 2009. Commercial cellulosic ethanol: The role of plant-expressed enzymes. *In Vitro Cell. Dev. Biol., Plant* 45: 314–329.
- [24] Sánchez Ó.J., Cardona C.A. 2008. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresour. Technol.* 99: 5270–5295.
- [25] Sassner P., Galbe M., Zacchi G. 2008. Techno-economic evaluation of bioethanol production from three different lignocellulosic materials. *Biomass Bioenergy* 32: 422–430.
- [26] Taniguchi M., Suzuki H., Watanabe D., Sakai K., Hoshino K., Tanaka T. 2005. Evaluation of pretreatment with *Pleurotus ostreatus* for enzymatic hydrolysis of rice straw. *J. Biosci. Bioeng.* 100(6): 637–643.
- [27] Tokarzewska-Zadora J., Rogalski J., Szczodrak J. 2005. Enzymy rozkładające ksyłan – charakterystyka i zastosowanie w biotechnologii. *Biotechnologia* 2(69): 163–182.
- [28] Xu J., Cheng J.J., Sharma-Shivappa R.R., Burns J.C. 2010. Lime pretreatment of switchgrass at mild temperatures for ethanol production. *Bioresour. Technol.* 101: 2900–2903.
- [29] Zaldivar J., Nielsen J., Olsson L. 2001. Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56: 17–34.
- [30] Zhang Y.-H.P. 2008. Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35: 367–375.
- [31] Zhu J.Y., Pan X.J. 2010. Woody biomass pretreatment for cellulosic ethanol production: Technology and energy consumption evaluation. *Bioresour. Technol.* 101: 4992–5002.
- [32] Zhu J.Y., Pa, X.J., Wan, G.S., Gleisner R. 2009. Sulfite pretreatment (SPORL) for robust enzymatic saccharification of spruce and red pine. *Bioresour. Technol.* 100: 2411–2418.
- [33] Zhu W., Zhu J.Y., Gleisner R., Pan X.J. 2010. On energy consumption for size-reduction and yields from subsequent enzymatic saccharification of pretreated lodgepole pine. *Bioresour. Technol.* 101: 2782–2792.

Importance of selecting lignocellulosic substrate pretreatment method with regard to bioethanol production efficiency

Key words: lignocellulose, pretreatment, bioethanol

Summary

Perspectives of biofuel market development in Poland and all over the world are related to second generation fuels which can be obtained from agricultural, municipal and forest lignocellulosic residues. Currently, research are carried out to develop an efficient and cost-effective technology for cellulosic ethanol production at competitive production costs. It is essential to learn the partial mechanisms of process stages (pretreatment, hydrolysis and fermentation of degradation products) and to define the sequential correlations. Pretreatment effectiveness of lignocellulosic substrates used to bioethanol production affects successive stages and final process efficiency.

This study presents examples of improving lignocellulosic substrate pretreatment methods in the context of their influence on successive processes with regard to technological, economical and ecological aspects of ethanol production.

Doskonalenie procesów biotechnologicznych stosowanych w produkcji etanolu II generacji z surowców lignocelulozowych*

Magdalena Świątek, Małgorzata Lewandowska, Włodzimierz Bednarski

*Katedra Biotechnologii Żywności
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Heweliusza 1, 10-718 Olsztyn
e-mail: magdalena.swiatek@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: bioetanol, lignoceluloza, hydroliza enzymatyczna, fermentacja

Wstęp

W związku z rosnącymi cenami ropy naftowej oraz ograniczonymi zasobami paliw kopalnych wzrasta zainteresowanie alternatywnymi technologiami pozyskiwania nośników energii. Do źródeł energii odnawialnej zalicza się energię słoneczną, wiatrową, geotermalną oraz pochodzącą z biomasy. Ta ostatnia aktualnie pokrywa 12% globalnego zapotrzebowania, co wynika głównie z procesów bezpośredniego spalania roślin energetycznych. Jedną z głównych możliwości związanych z wykorzystaniem tego surowca jest produkcja paliw transportowych, ponieważ 2/3 ropy naftowej jest zużywane właśnie w tym celu. Aktualnie produkowane biopaliwa (bioetanol, biodiesel) stanowią znikomy udział w światowym zużyciu paliw. Według wytycznych Unii Europejskiej, w roku 2010 udział biopaliw powinien sięgnąć 5,75%. Dane szacunkowe wskazują, że dalszy wzrost Narodowego Celu Wskaźnikowego (do 10%) może spowodować przeznaczenie nawet 40% aktualnego arealu ziem uprawnych, stwarzając tym samym zagrożenie wzrostu cen żywności.

* Artykuł przeglądowy opracowano w ramach Programu Strategicznego – Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii; Zadanie nr 4 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”. Projekt współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Zastosowanie odpadów rolniczych, drzewnych, komunalnych odpadów stałych czy dedykowanych roślin energetycznych do wytwarzania bioetanolu, pozwoliłoby zminimalizować tę zależność. Ponadto łatwa dostępność i obfitość występowania biomasy lignocelulozowej sprawiają, że stanowi ona atrakcyjne źródło energii z powodu niskich kosztów pozyskiwania.

Uzyskanie wysokiej wydajności hydrolizy i fermentacji surowców lignocelulozowych wymaga doboru efektywnej metody ich obróbki wstępnej.

Ważnym zagadnieniem w biokonwersji surowców lignocelulozowych jest dobór kompleksu enzymów i mikroorganizmów fermentacji etanolowej. Wiadomo, że surowce lignocelulozowe, zwłaszcza pochodzenia rolniczego, oprócz celulozy i ligniny zawierają znaczne ilości trudno biodegradowalnych hemiceluloz. Zastosowanie do hydrolizy substratu obok celulaz również enzymów hemicelulolitycznych sprzyja uwalnianiu cukrów prostych i poprawie ekonomiki procesu fermentacji. Z kolei mikroorganizmy stosowane w tym celu powinny być zdolne do wydajnej fermentacji alkoholowej zarówno heksoz (glukoza, galaktoza, fruktoza, mannoza), jak i pentoz (ksyloza, arabinoza) powstałych z rozkładu obu grup polisacharydów.

Doskonalenie hydrolizy enzymatycznej

Zastosowanie hydrolizy enzymatycznej surowców lignocelulozowych jest procesem gwarantującym konwersję celulozy i hemiceluloz do cukrów prostych – heksoz i pentoz, które mogą być przekształcane do etanolu przez różne mikroorganizmy. Enzymy hydrolizujące celulozę można podzielić na trzy główne grupy: endocelulazy (EC 3.2.1.4) katalizujące rozpad przypadkowych wiązań glikozydowych łańcucha celulozowego i egzocelulazy (celobiohydrolazy) (EC 3.2.1.91) odpowiedzialne za oddzielenie cząsteczek celobiozy od redukującego (celobiohydrolaza I) lub nieredukującego (celobiohydrolaza II) końca łańcucha celulozy oraz β -glukozydazę (EC 3.2.1.21) rozkładającą celobiozę do dwóch cząsteczek glukozy. Brak aktywnej β -glukozydazy w środowisku hydrolizy powoduje hamowanie aktywności celulaz wywołane obecnością celobiozy. Optymalne warunki dla działania większości stosowanych celulaz to temperatura ok. 50°C i kwasowość środowiska w przedziale pH 4,0–5,0 [3].

Hemicelulozy, w zależności od podjednostek z których są zbudowane, mogą być rozkładane przez różne enzymy: ksylan obecny w znacznych ilościach w drewnie twardym i roślinach jednorocznych (do 35%) ulega hydrolizie pod wpływem enzymów takich jak endoksyfanaza i β -ksylozydaza, które powodują jego degradację do ksylooligosacharydów, natomiast α -glukuronidaza, α -arabinozofuranazydaza i esteraza acetyloksylanu odszczepiają boczne grupy i łańcuchy heteroksyfanu, a za hydrolizę glukomannanu odpowiadają β -mannanaza i β -mannozydaza [10, 20].

Duża wydajność uwalnianych cukrów podlegających fermentacji jest kluczowym aspektem przemysłowej produkcji etanolu, jednakże wymagane wysokie dawki enzymów zapewniające uzyskanie korzystnych rezultatów znacznie podnoszą koszt produkcji. Ponadto, aktualnie produkowane handlowe preparaty celulaz przeznaczo-

ne są głównie dla przemysłu papierniczego i spożywczego, w związku z czym nie są dostosowane do wydajnej hydrolizy surowców lignocelulozowych, zwłaszcza z powodu różnego składu wynikającego z procedury ich przygotowania [11].

W wyniku kwasowej obróbki wstępnej znaczna część hemiceluloz ulega hydrolizie i przechodzi do frakcji płynnej, natomiast frakcja stała zawiera głównie celulozę i ligninę, stąd też optymalny skład kompozycji enzymów będzie się różnił od tego, przeznaczonego do hydrolizy substratu lignocelulozowego po alkalicznej obróbce wstępnej, w wyniku której zostaje on pozbawiony głównie ligniny [3]. Zastosowanie (obok celulaz) enzymów rozkładających hemicelulozy pozwala na uzyskanie większej wydajności uwalniania cukrów podlegających fermentacji, jak też na zwiększenie stopnia hydrolizy celulozy (na skutek eliminacji ochronnej roli hemiceluloz) [1, 17]. Udowodnili to Kumar i Wyman [11], którzy określili zwiększenie wydajności uwalniania glukozy i ksylozy w wyniku zastosowania hemicelulaz.

Do liderów w zakresie produkcji enzymów rozkładających składniki kompleksu lignocelulozowego należą Novozymes oraz Danisco-Genencor. Danisco – a dokładniej oddział Genencor – specjalizuje się w opracowaniach i sprzedaży enzymów oraz innowacyjnych rozwiązań dla biorafinerii przemysłowych. Jednym z najnowszych produktów zaproponowanych przez Genencor (wprowadzony 15.02.2010 r.), jest Accellerase® DUET – preparat o zwiększonej aktywności hemicelulaz, bazujący na wprowadzonym wcześniej Accellerase® 1500 (o ulepszonej aktywności β -glukozydazy). Obok możliwości zastosowania nawet 3-krotnie mniejszych dawek preparatu, producent gwarantuje skuteczność jego zastosowania do hydrolizy szerokiej gamy substratów lignocelulozowych, poddanych uprzednio różnym metodom obróbki wstępnej [27].

Preparaty enzymatyczne wprowadzone ostatnio na rynek przez firmę Novozymes to Cellic® CTec2 i Cellic® HTec2. Pierwszy z wymienionych charakteryzuje się zwiększoną aktywnością β -glukozydazy, pozwalając na poprawę wydajności hydrolizy surowców lignocelulozowych w wyniku ograniczenia hamującego wpływu celobiozy. Z kolei Cellic® HTec2 zawiera w swoim składzie obok kompleksu celulaz również hemicelulazę (ksylanazę), co gwarantuje efektywny rozkład obu grup polisacharydów [28, 29].

Szybkość i wydajność konwersji polisacharydów do oligosacharydów i cukrów prostych zależna jest zarówno od składu chemicznego, struktury substratu lignocelulozowego i sposobu jego obróbki wstępnej, jak i od rodzaju oraz dawki zastosowanego preparatu enzymatycznego zapewniającej jednocześnie opłacalność ekonomiczną. Zhang i in. [24] wykazali, że zastosowanie preparatu celulaz (Spezyme CP) w dawce $50 \text{ FPU} \cdot \text{g}^{-1}$ celulozy oraz β -glukozydazy (Novozyme 188) – $60 \text{ CBU} \cdot \text{g}^{-1}$ celulo-

* FPU – ilość enzymu uwalniająca 1 μmol równoważnika glukozy, w wyniku hydrolizy bibuły Whatman No. 1, w czasie 1 minuty.

** CBU – ilość enzymu rozkładająca 1 μmol celobiozy do 2 μmol glukozy, w czasie 1 minuty.

Tabela 1. Wydajność konwersji cukrów w zależności od surowca, jego obróbki wstępnej i warunków hydrolizy enzymatycznej

Substrat	Obróbka wstępna	Preparat enzymatyczny/dawka	Czas hydrolizy [h]	Wydajność uwalniania cukrów* [%]		Źródło
				glukoza	glukoza + ksyloza	
Słoma kukurydziana	Ca(OH) ₂ – 0,5 g · g ⁻¹ biomasy (55°C/4 tyg.)	Celulaza – Spezyme CP – 15 FPU · g ⁻¹ celulozy β-glukozydaza – Novozyme 188 – 40 CBU · g ⁻¹ celulozy	72	91,3	51,8	[6]
Słoma kukurydziana	AFEX** NH ₃ : biomasa – 1:1 (90°C/220 psi/5 min.)	Celulaza – Spezyme CP – 7,5 FPU · g ⁻¹ celulozy β-glukozydaza – Novozyme 188 – 15 CBU · g ⁻¹ celulozy Ksylanaza + β-ksylozydaza – Multifect® Xylanase – 5 g białka ksylanazy · g ⁻¹ białka celulozy	72	~90	~83	[11]
Słoma pszenna	AAGAOP*** 70% wodny roztwór glicerolu – 20 g · g ⁻¹ s.s. (220°C/3h)	Celulaza (<i>Penicillium decumbens</i>) – 44 FPU · g ⁻¹ s.s. β-glukozydaza (<i>P. decumbens</i>) – 16,8 CBU · g ⁻¹ s.s.	48	~90	–	[18]
Słoma pszenna	Kwas siarkowy – 50 mM (170°C/30 min.)	Celulaza – GC220 (Genencor) – 46 FPU · g ⁻¹ s.s.	72	98	~88	[8]
Trzcina pospolita	Na ₂ CO ₃ – 2 g · dm ⁻³ , O ₂ – 12 bar, biomasa – 60 g s.s. · dm ⁻³ (195°C/12 min.)	Celulaza – Celluclast 1.5-L – 25 FPU · g ⁻¹ s.s. β-glukozydaza – Novozyme 188 – 25 CBU · g ⁻¹ s.s.	48	71,8	–	[19]
Łodygi słonecznika	Eksplozja parowa (220°C/5 min.)	Celulaza – Celluclast 1.5-L – 15 FPU · g ⁻¹ substratu β-glukozydaza – Novozyme 188 – 12,6 CBU · g ⁻¹ substratu	96	~50	–	[14]

* Uwzględniając początkowy skład surowca przed obróbką wstępną, a także straty cukrów po obróbce, jeśli prowadzono rozdział frakcji;
 ** Ammonia Fibre Explosion – traktowanie biomasy amoniakiem pod wysokim ciśnieniem;
 *** Atmospheric Aqueous Glycerol Autocatalytic Organosolv Pretreatment.

zy, pozwala na osiągnięcie maksymalnej wydajności 24-godzinnej hydrolizy enzymatycznej obu grup polisacharydów, po zwiększeniu zaś tej dawki nie obserwuje się istotnych zmian wydajności procesu.

Na wydajność hydrolizy substratów lignocelulozowych znaczny wpływ mają obecne w materiale produkty degradacji ligniny i polisacharydów, powstające na etapie obróbki wstępnej. Do związków tych zalicza się kwasy takie jak: mrówkowy, octowy i lewulinowy, pochodne furanu – furfural i 5-hydroksymetylofurfural oraz powstające z degradacji ligniny – wanilina i 4-hydroksybenzaldehyd, charakteryzujące się działaniem hamującym aktywność celulaz [5].

W tabeli 1 zamieszczono wyniki opisujące efekty hydrolizy enzymatycznej różnorodnych substratów, poddanych uprzednio obróbce wstępnej.

Doskonalenie procesu fermentacji etanolowej

Proces fermentacji etanolowej produktów degradacji surowców lignocelulozowych może być prowadzony w różnych wariantach technologicznych, przy czym najlepiej poznanym jest SHF (**S**eparate **H**ydrolysis and **F**ermentation) – system z oddzielną hydrolizą i fermentacją. Substrat lignocelulozowy po obróbce wstępnej i hydrolizie, poddawany jest fermentacji, a jego zaletą jest możliwość prowadzenia każdego etapu w najbardziej sprzyjających warunkach temperaturowych (odpowiednio: dla hydrolizy i fermentacji 45–50°C i 30–35°C). Wadą tego systemu jest hamowanie aktywności enzymów hydrolitycznych przez produkty hydrolizy kompleksu lignocelulozowego (zwłaszcza celobiozę), co zmusza do odpowiedniego doboru enzymów oraz ich dawek [15, 16].

Innym wariantem technologicznym jest prowadzenie procesu hydrolizy i fermentacji jednocześnie – SSF (**S**imultaneous **S**accharification and **F**ermentation), gdzie zaletą jest przyswajanie powstających po hydrolizie cukrów przez mikroorganizmy i tym samym zniesienie ich hamującego oddziaływania na aktywność celulaz. Utrudnieniem omawianej metody jest brak możliwości prowadzenia procesu w warunkach temperaturowych korzystnych dla obu reakcji. Rozwiązaniem w takim wariacie jest zastosowanie termotolerancyjnych, ale mniej wydajnych mikroorganizmów fermentacji etanolowej [15].

Do nowszych technologii jednoczesnej hydrolizy i fermentacji należy NSSF (**N**on-**i**sothermal **S**imultaneous **S**accharification and **F**ermentation) – proces prowadzony w dwóch reaktorach, w różnej temperaturze, z przetłaczaniem medium z jednego reaktora do drugiego. Z kolei proces SSCF (**S**imultaneous **S**accharification and **C**o-**F**ermentation), w którym hydroliza i fermentacja przebiegają w jednym bioreaktorze, wykorzystuje dodatkowo właściwości specjalnie dobranych mikroorganizmów zdolnych do konwersji zarówno heksoz, jak i pentoz. Heksozy są łatwo fermentowane przez drożdże powszechnie stosowane w produkcji etanolu, w przeciwieństwie do pentoz, powstających po hydrolizie hemiceluloz, do których metabolizowania są zdolne tylko

niektóre rodzaje mikroorganizmów. W systemie tym problemem jest wolniejsza asymilacja pentoz i w konsekwencji mniejsza wydajność procesu w odniesieniu do całkowitego stężenia cukrów, wywołana zjawiskiem represji katabolicznej [4, 23].

W odróżnieniu od pochodnych surowców skrobiowych, hydrolizat substratu lignocelulozowego oprócz mieszaniny oligosacharydów, heksoz (glukoza, mannoza, galaktoza) i pentoz (ksyloza, arabinoza), stanowiących substraty do fermentacji, zawiera także związki będące inhibitorami procesu fermentacji, wymienione w poprzednim rozdziale. Mikroorganizmy stosowane w produkcji bioetanolu z surowców lignocelulozowych powinny być więc nie tylko zdolne do konwersji obu grup cukrów do etanolu, lecz również odporne na obecność wspomnianych związków chemicznych. Drożdże *Saccharomyces cerevisiae* stosowane powszechnie w procesie fermentacji etanolowej wykazują odporność na inhibitory obecne w hydrolizatach, jednakże nie są zdolne do fermentacji pentoz, co nie sprzyja wydajności i opłacalności procesu produkcji bioetanolu [5, 12].

Mikroorganizmy zdolne do fermentacji pentoz występują zarówno wśród bakterii, jak i drożdży oraz grzybów strzępkowych. Przeprowadzono szereg badań z zastosowaniem różnorodnych mikroorganizmów, takich jak *Pichia stipitis*, *Clostridium thermocellum*, czy *Klebsiella oxytoca*, naturalnie fermentujących pentozy. Grzyby strzępkowe okazały się odporne na inhibitory, jednakże fermentacja przebiegała zbyt wolno jak na wymagania skali przemysłowej, natomiast aktywność bakterii beztlenowych była hamowana niskim stężeniem cukrów i obecnością etanolu. Drożdże naturalnie fermentujące pentozy (np. *Pichia stipitis* CBS 6054) zapewniające korzystną wydajność procesu, wykazały się wysoką wrażliwością na inhibitory powstające w trakcie obróbki wstępnej i hydrolizy materiałów lignocelulozowych [3].

Georgieva i in. [2] zaproponowali zastosowanie termotolerancyjnych, beztlenowych bakterii *Thermoanaerobacter* BG1L1. Proces prowadzono w reaktorze fluidyzacyjnym ze złożem immobilizowanego biokatalizatora w systemie ciągłym, a substratem był hydrolizat słomy pszennej. Fermentacja z zastosowaniem wymienionych bakterii osiągnęła wydajność $0,39\text{--}0,42\text{ g etanolu} \cdot \text{g}^{-1}$ sumy cukrów – glukozy i ksylozy. Stanowiło to 76–83% teoretycznej wydajności alkoholu, w zależności od początkowego stężenia cukrów w zacierze ($12\text{--}41\text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$). Poziom odfermentowania wyniósł odpowiednio: $4,6\text{--}14,4\text{ g etanolu} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Najnowsze badania zmierzają głównie do otrzymania rekombinantów drożdży lub bakterii, spełniających wymagania stawiane mikroorganizmom wykorzystywanym w produkcji etanolu celulozowego [3]. Modyfikacja mikroorganizmów metodami inżynierii genetycznej obejmuje dwa kierunki badań: jeden z nich dotyczy modyfikacji mikroorganizmów zdolnych do fermentacji etanolowej, tj. *Saccharomyces cerevisiae* czy *Zymomonas mobilis*, pod względem możliwości wykorzystywania pentoz. Drugi opiera się na zmianie ścieżek metabolicznych drobnoustrojów naturalnie wykorzystujących pentozy do wydajnego wytwarzania etanolu. Bakterie *Escherichia coli* stosowane w tych badaniach charakteryzują się dodatkowo znacznie

wyższą odpornością (w porównaniu do *Z. mobilis* i *S. cerevisiae*) na obecne w substratach lignocelulozowych furany i kwasy organiczne [9, 22].

Zastosowanie rekombinowanych szczepów *Saccharomyces cerevisiae*, zdolnych do fermentacji ksylozy pozwala na uzyskanie wysokich wydajności etanolu – od około 70 do ponad 90% wartości teoretycznej. Przykładowo: rekombinowany szczep *Saccharomyces cerevisiae* MA-R4, do którego wprowadzono geny odpowiedzialne za metabolizm ksylozy, pochodzące z *Pichia stipitis*, wydajnie fermentował hydrolyzatu substratu lignocelulozowego uzyskując po 48 h procesu stężenie etanolu na poziomie $39,4 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wydajność procesu wyniosła $0,48 \text{ g etanolu} \cdot \text{g}^{-1}$ cukrów, co stanowiło 93,2% wartości teoretycznej w odniesieniu do glukozy i ksylozy [13].

Zhao i Xia [26] zaproponowali zastosowanie komórek rekombinowanego szczepu *S. cerevisiae* ZU-10, immobilizowanych w alginianie wapnia, uzyskując z ich udziałem korzystne rezultaty. Po 72 godzinach fermentacji hydrolyzatu słomy kukurydzianej (po uprzedniej obróbce alkalicznej, hydrolyzie kwasowej i detoksykacji) osiągnięto stężenie etanolu w wysokości $31,1 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ zacieru, przy wydajności procesu na poziomie $0,406 \text{ g etanolu} \cdot \text{g}^{-1}$ cukrów (glukozy i ksylozy). W tym procesie drożdże ZU-10 wykorzystały 100% glukozy i 97,1% ksylozy obecnych w środowisku. Powyżsi autorzy zastosowali wymieniony szczep w procesie SSCF, gdzie po 72 h procesu jednoczesnej hydrolyzy i fermentacji hydrolyzatu ze słomy kukurydzianej uzyskali zadowalające wyniki – stężenie etanolu $27,8 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, przy wydajności $0,35 \text{ g etanolu} \cdot \text{g}^{-1}$ cukrów. W tych warunkach zauważono korzystny wpływ dodatku celobioazy, eliminującej hamujący wpływ celobiozy na proces hydrolyzy [25]. Kim i in. [7] do fermentacji etanolowej hydrolyzatu plew jęczmiennych zastosowali rekombinowany szczep *E. coli* ATCC® 55124 (KO11). W procesie prowadzonym w systemie SSCF przez 120 h uzyskano stężenie etanolu $24,1 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ zacieru, co stanowiło 89,4% teoretycznej wydajności w przeliczeniu na sumę cukrów obecnych w materiale.

Tsai i in. [21] przeprowadzili natomiast proces specyficznego związania enzymów celulolitycznych (z *Clostridium thermocellum* i *C. cellulolyticum*) na powierzchni komórek drożdży *S. cerevisiae*, dzięki czemu uzyskane biokatalizatory zdolne były do hydrolyzy celulozy i fermentacji jej pochodnych z wydajnością rzędu $0,49 \text{ g etanolu} \cdot \text{g}^{-1}$ zasymilowanych cukrów (95% teoretycznej wydajności). W tych warunkach hydrolyzie uległo około 70% celulozy obecnej w medium, a stężenie etanolu w zacierze osiągnęło wartość $3,5 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Stan zaawansowania przemysłowej produkcji etanolu celulozowego

Korporacja Iogen w 2004 roku rozpoczęła produkcję etanolu z substratów lignocelulozowych w eksperymentalnej fabryce zlokalizowanej w Ottawie (Kanada). Wykorzystuje się w tym celu słomę pszenną (inne możliwe substraty to m.in. słoma kukurydziana, proso różgowe i miskant), która po obróbce wstępnej (steam explosion) poddawana jest wielostopniowej hydrolyzie enzymatycznej, a następnie fermentacji.

tacji w systemie SHF. Etanol wydzielany metodą konwencjonalnej destylacji przeznaczony jest do produkcji biopaliw między innymi przez firmę Royal Dutch Stell. Od 2009 roku Iogen stał się pierwszym detalicznym sprzedawcą bioetanolu celulozowego E85 oraz mieszanki E10, które dostępne są w wybranych stacjach paliw w Ottawie [30].

Spółka Celunol (obecnie Verenium) w 2006 roku otworzyła zakład produkcji etanolu celulozowego w skali pilotowej (USA) o rocznej wydajności 190 tys. dm^3 etanolu. Substrat stanowią wyłoki trzciny cukrowej, które po wstępnej hydrolizie kwasowej degradującej hemicelulozy do cukrów prostych i frakcjonowaniu kieruje się do enzymatycznej hydrolizy celulozy. W kolejnym etapie w wyniku niezależnej fermentacji powstałych cukrów prostych – ksylozy i glukozy otrzymuje się etanol [34].

Międzynarodowa korporacja Abengoa Bioenergy w 2007 roku rozpoczęła produkcję etanolu celulozowego w skali pilotowej (York, USA) ze słomy kukurydzianej, która po wstępnej obróbce poddawana jest hydrolizie enzymatycznej i fermentacji (glukozy i ksylozy), z wydajnością produkcji 75 tys. dm^3 etanolu na rok. W 2008 roku otwarty został zakład produkcji etanolu celulozowego w skali demonstracyjnej (Salamanca, Hiszpania) o zdolności produkcyjnej ok. 4,9 mln dm^3 etanolu na rok. Surowcem do produkcji są słomy: pszena i żytnia, z których po obróbce wstępnej i hydrolizie enzymatycznej frakcja glukozy poddawana jest fermentacji. Korporacja planuje rozpoczęcie w 2012 roku (Hugoton, USA) produkcji etanolu ze słomy pszennej, kukurydzianej i prosa różgowego w ilości 60 mln dm^3 rocznie [33].

Do największych światowych wytwórców etanolu należy przedsiębiorstwo POET. W 26 biorafineriach produkuje z ziarna kukurydzy 227 mln dm^3 etanolu rocznie. W 2009 r. POET uruchomiło zakład produkcji etanolu celulozowego w skali pilotowej (Scotland, USA), gdzie surowcem są odpadowe kolby kukurydzy (corncobs), a roczna produkcja sięga 75 tys. dm^3 EtOH. W 2012 roku planowane jest rozpoczęcie produkcji etanolu w skali przemysłowej (94,5 mln dm^3 etanolu na rok), przy wykorzystaniu kolb kukurydzy i innych odpadów rolniczych jako surowców [32].

Utworzona w maju 2008 roku przez DuPont i Danisco korporacja DDCE (DuPont Danisco Cellulosic Ethanol) w styczniu 2010 roku uruchomiła w Vonore (Tennessee, USA) biorafinerię eksperymentalnej produkcji bioetanolu z wstępnie degradowanych kolb kukurydzy (przetwarzanie 1–2 tys. ton surowca rocznie), z późniejszym planowanym zastosowaniem prosa różgowego. Korporacja przewiduje uruchomienie do 2013 roku zakładu produkującego bioetanol w skali przemysłowej 113,6–227,3 mln dm^3 na rok, wykorzystującego jako substrat kolby kukurydzy, a w późniejszych latach uruchomienie podobnego zakładu, przetwarzającego proso różgowe. Surowiec po zmieleniu poddawany jest alkalicznej obróbce wstępnej z zastosowaniem amoniaku, w kolejnych etapach hydrolizie enzymatycznej, a następnie fermentacji z wykorzystaniem rekombinowanego szczepu *Zymomonas mobilis*, zdolnego do utylizacji cukrów pięcio- i sześciowęglowych. Planowana wydajność produkcji etanolu celulozowego to $0,32 \text{ dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ surowca, przy kosztach produkcji mniejszych od $0,53 \text{ USD} \cdot \text{dm}^{-3}$. W przyszłości przewiduje się zwiększenie wydajności i zmniejszenie kosztów produkcji do $0,39\text{--}0,45 \text{ USD} \cdot \text{dm}^{-3}$ [31].

Podsumowanie

W związku z dostępnością odpadowych surowców lignocelulozowych oraz ciągłym doskonaleniem metod ich przetwarzania etanol II generacji w niedalekiej przyszłości będzie odgrywał istotną rolę na rynku paliw transportowych. Wykorzystanie etanolu celulozowego jako paliwa transportowego wiąże się ponadto z obniżeniem emisji gazu cieplarnianego i pozwala na ograniczenie zależności energetycznej wielu państw.

Prowadzone obecnie badania zmierzają do szczegółowego dopracowania wydajnej i opłacalnej technologii pozyskiwania etanolu, o kosztach produkcji zbliżonych do kosztów otrzymywania go ze skrobi lub cukrów prostych. Konieczny jest dobór najbardziej korzystnych warunków na każdym etapie konwersji kompleksu lignocelulozowego do etanolu, czyli obróbki wstępnej, hydrolizy, fermentacji z uwzględnieniem aspektów ekologicznych i ekonomicznych. Niewątpliwie najważniejszą rolę przypisuje się tutaj mikroorganizmom, gdyż ich aktywność (na etapie pozyskiwania enzymów hydrolitycznych), odporność (na powstające inhibitory) i wszechstronność (zdolność fermentowania pięcio- i sześciowęglowych pochodnych substratu lignocelulozowego) decyduje w największym stopniu o efektywności całego procesu.

W Katedrze Biotechnologii Żywności UWM w Olsztynie prowadzone są badania nad opracowaniem sposobu przetwarzania substratów lignocelulozowych (słoma rzepakowa, kukurydziana) do etanolu. Autorzy pracują nad dostosowaniem parametrów łagodnej obróbki alkalicznej do wybranych substratów i optymalizacją parametrów hydrolizy enzymatycznej, w celu uzyskania korzystnego poziomu degradacji polisacharydów, a następnie wydajnej fermentacji etanolowej.

Literatura

- [1] Benkő Z., Siika-Aho M., Viikari L., Réczey K. 2008. Evaluation of the role of xyloglucanase in the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates. *Enzyme Microb. Technol.* 43: 109–114.
- [2] Georgieva T.I., Mikkelsen M.J., Ahring B.K. 2008. Ethanol production from wet-exploded wheat straw hydrolysate by thermophilic anaerobic bacterium *Thermoanaerobacter* BG1L1 in a continuous immobilized reactor. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 145: 99–110.
- [3] Hahn-Hägerdal B., Galbe M., Gorwa-Grauslund M.F., Lidén G., Zacchi G. 2006. Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends Biotechnol.* 12(24): 549–556.
- [4] Hendrik, A.T.W.M., Zeeman G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 100: 10–18.
- [5] Jing X., Zhang X., Bao J. 2009. Inhibition performance of lignocellulose degradation products on industrial cellulase enzymes during cellulose hydrolysis. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 159: 696–707.
- [6] Kim S., Holtzaple M.T. 2005. Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. *Bioresour. Technol.* 96: 1994–2006.
- [7] Kim T.H., Taylor F., Hick S.K.B. 2008. Bioethanol production from barley hull using SAA (soaking in aqueous ammonia) pretreatment. *Bioresour. Technol.* 99: 5694–5702.
- [8] Kootstra A.M.J., Beefink H.H., Scott E.L., Sanders J.P.M. 2009. Comparison of dilute mineral and organic acid pretreatment for enzymatic hydrolysis of wheat. *Biochem. Eng. J.* 46: 126–131.

- [9] Kulikowska D., Klimkowski K. 2008. Produkcja bioetanolu z odpadów lignocelulozowych – możliwości i ograniczenia. Cz. II. Hydroliza i fermentacja. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2: 24–28.
- [10] Kumar R., Singh S., Singh O.V. 2008. Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35: 377–391.
- [11] Kumar R., Wyman C.E. 2009. Effect of xylanase supplementation of cellulase on digestion of corn stover solids prepared by leading pretreatment technologies. *Bioresour. Technol.* 100: 4203–4213.
- [12] Margeot A., Hahn-Hagerdal B., Edlund M., Slade R., Monot F. 2009. New improvements for lignocellulosic ethanol. *Curr. Opin. Biotechnol.* 20: 372–380.
- [13] Matsushika A., Inoue H., Murakami K., Takimura O., Sawayama S. 2009. Bioethanol production performance of five recombinant strains of laboratory and industrial xylose-fermenting *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresour. Technol.* 100: 2392–2398.
- [14] Ruiz E., Cara C., Manzanares P., Ballesteros M., Castro E. 2008. Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. *Enzyme Microb. Technol.* 42: 160–166.
- [15] Sainz M.B. 2009. Commercial cellulosic ethanol: The role of plant-expressed enzymes. *In Vitro Cell. Dev. Biol., Plant* 45: 314–329.
- [16] Sánchez Ó.J., Cardona C.A. 2008. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresour. Technol.* 99: 5270–5295.
- [17] Selig M.J., Vinzant T.B., Himmel M.E., Decker S.R. 2009. The effect of lignin removal by alkaline peroxide pretreatment on the susceptibility of corn stover to purified cellulolytic and xylanolytic enzymes. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 155: 397–406.
- [18] Sun F., Chen H. 2008. Enhanced enzymatic hydrolysis of wheat straw by aqueous glycerol pretreatment. *Bioresour. Technol.* 99: 6156–6161.
- [19] Szijszartó N., Kádár Z., Varga E., Thomsen A.B., Costa-Ferreira M., Réczey K. 2009. Pretreatment of reed by wet oxidation and subsequent utilization of the pretreated fibers for ethanol production. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 155: 386–396.
- [20] Tokarzewska-Zadora J., Rogalski J., Szczodrak J. 2005. Enzymy rozkładające ksylan – charakterystyka i zastosowanie w biotechnologii. *Biotechnologia* 2(69): 163–182.
- [21] Tsai S.-L., Oh J., Singh S., Chen R., Chen W. 2009. Functional assembly of minicellulosomes on the *Saccharomyces cerevisiae* cell surface for cellulose hydrolysis and ethanol production. *Appl. Environ. Microbiol.* 19(75): 6087–6093.
- [22] U.S. Department of Energy 2006. Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: a joint research agenda. DOE/SC-0095.
- [23] Wyman C.E., Dale B.E., Elander R.T., Holtzapple M., Ladisch M.R., Lee Y.Y. 2005. Comparative sugar recovery data from laboratory scale application of leading pretreatment technologies to corn stover. *Bioresour. Technol.* 96: 2026–2032.
- [24] Zhang M., Su R., Qi W., He Z. 2010. Enhanced enzymatic hydrolysis of lignocellulose by optimizing enzyme complexes. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 160: 1407–1414.
- [25] Zhao J., Xia L. 2009. Simultaneous saccharification and fermentation of alkaline-pretreated corn stover to ethanol using a recombinant yeast strain. *Fuel Process. Technol.* 90: 1193–1197.
- [26] Zhao J., Xia L. 2010. Ethanol production from corn stover hemicellulosic hydrolysate using immobilized recombinant yeast cells. *Biochem. Eng. J.* 49: 28–32.
- [27] http://www.genencor.com/wps/wcm/connect/4af75c004166b8008f5e8f2d0f7ba403/Danisco_Genencor_Accellerase_DUET_15022010_en.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=4af75c004166b8008f5e8f2d0f7ba403 (stan z dn. 10.03.2010)
- [28] http://www.bioenergy.novozymes.com/files/documents/Final%20Cellic%20Product%20Brochure_29Jan2010.pdf (stan z dn. 14.03.2010)
- [29] <http://www.novozymes.com/en/MainStructure/PressAndPublications/PressRelease/2010/New+enzymes+turn+waste+into+fuel.htm> (stan z dn. 14.03.2010)
- [30] <http://www.iogen.ca/index.html> (stan z dn. 29.04.2010)
- [31] <http://am1.sosland.com/Olive/ODE/BioFuelsBusiness/Default.aspx?href=BFB/2010/03/01&pageno=1&view=document> (stan z dn. 29.04.2010)
- [32] <http://www.poet.com/index.asp> (stan z dn. 7.07.2010)
- [33] <http://www.abengoabioenergy.com/corp/web/en/index.html> (stan z dn. 7.07.2010)
- [34] <http://www.mass.gov/Eoca/docs/doer/renew/cew110806-celunol-howe.pdf> (stan z dn. 7.07.2010)

The improvement of biotechnological processes applied in production of second generation ethanol from lignocellulosic raw materials

Key words: bioethanol, lignocellulose, enzymatic hydrolysis, fermentation

Summary

Increasing consumption and decreasing supplies of petroleum cause the necessity of searching of alternative energy supports. Abundance and low price of lignocellulosic biomass, especially agricultural residues, cause the lignocellulosic biomass attractive renewable energy source. Production of liquid fuels from lignocellulosic substrates requires defining of efficient and cost-effective technology, which includes conducting of substrates pretreatment, hydrolysis and fermentation. Microorganisms play the most important role because of their activity (production of hydrolytic enzymes), resistance to formed inhibitors and ability to ferment pentoses and hexoses from lignocellulosic substrate decide on technology effectiveness the most.

The examples of improving enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation in lignocellulosic substrate processing towards increase in bioethanol production effectiveness are presented.

Przydatność i bezpieczeństwo roślin transgenicznych (GMO) w żywieniu zwierząt

Ryszard K. Pisarski, Eugeniusz R. Grela, Antoni Lipiec

Instytut Żywienia Zwierząt i Bromatologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

ul. Akademicka 13, 20-032 Lublin

e-mail: ryszard.pisarski@up.lublin.pl

Słowa kluczowe: GMO, rośliny transgeniczne, bezpieczeństwo żywienia

W sytuacji, w której eksponuje się żywieniowe walory produktów „proekologicznych” czy „prozdrowotnych” (cokolwiek terminy te miałyby oznaczać), a emocje często zastępują racjonalne argumenty, nie ma sprzyjającego klimatu dla środków żywienia pozyskanych na drodze manipulacji genetycznych. Najczęstszym powodem obaw jest – mimo licznych publikacji, choćby w *Postęпах Nauk Rolniczych*, które tej kwestii poświęcają sporo uwagi [5, 7, 21, 42] – brak rzetelnej wiedzy na temat organizmów genetycznie modyfikowanych i atmosfera zagrożenia, podsycana przez media nagłaśniające wyniki eksperymentów, wskazujących na horrendalne wręcz zagrożenie ze strony transgenów. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że zdecydowana większość alarmistycznych wyników pochodzi z wydawnictw nierecenzowanych i z tego względu należy traktować je z rezerwą, co nie znaczy jednak, że ignorować czy bagatelizować. Obawy przed żywnością i paszami genetycznie zmodyfikowanymi można w jakiejś mierze rozumieć i usprawiedliwiać, zwłaszcza w świetle powszechnie znanej sentencji Hipokratesa, według której stajemy się tym, co spożywamy. Nie należy ich jednak demonizować, lecz traktować z właściwym człowiekowi racjonalizmem, jako że zmiany genetyczne *sensu largo* to nie tylko efekt biotechnologicznych manipulacji w laboratorium, ale także skutek naturalnej zmienności genetycznej, zachodzącej często skokowo (choćby na skutek mutacji), a także efekt prowadzonej hodowli.

Inżynieria genetyczna *sensu stricto* to jednak nie proces naturalny, lecz manipulacja (bez negatywnej konotacji), której celem jest „zmiksowanie, hybrydyzacja” DNA różnych organizmów, które w naturze nie miałyby szans na krzyżowanie. Jest to zatem wprowadzenie fragmentu obcego DNA (genu, genów) do genomu biorcy, prowadzące w konsekwencji do powstania organizmu genetycznie zmodyfikowanego – GMO (**Genetically Modified Organism**). Wedle Dyrektywy EC 2001/18 GMO

to organizm, który powstaje w efekcie zmian materiału genetycznego, niezachodzących w sposób naturalny, tj. przez kojarzenie i/lub rekombinację, a według OECD – dzięki tzw. zielonej biotechnologii lub agrobiotechnologii. Manipulację taką po raz pierwszy przeprowadzono w roku 1974, który z tego względu uznano za początek ery inżynierii genetycznej.

GMO mają wiele niewątpliwych zalet, które można zgrupować w trzy podstawowe obszary:

- poprawa plonów – jakościowa i ilościowa;
- możliwość uzyskania żywności funkcjonalnej, zawierającej np. nutraceutyki;
- możliwość zastosowania organizmów transgenicznych jako alternatywy dla polimerów przemysłowych lub w celu rekultywacji zdegradowanego środowiska.

Niektóre efekty, z pozoru łatwe do osiągnięcia, pozostają jeszcze w sferze zamierzeń, jak choćby zastosowanie GMO jako leków czy szczepionek (przeciw żółtacze typu B czy cholery) [27]. Rośliny transgeniczne mogą także być wzbogacone w składniki biologicznie aktywne, o wyjątkowym znaczeniu dla zdrowia konsumenta, np. w likopen (pomidory), β -karoten (ryż) i α -glicyninę (soja) [19, 29]. Prawdopodobnie wydaje się też zwiększenie zawartości lizyny w białku kukurydzy, co radykalnie poprawi jego wartość odżywczą, a także zmiana profilu kwasów tłuszczowych (KT) w lipidach nasion soi i rzepaku, która korzystnie wpłynie na proporcję KT rodzin n-3 i n-6. Efektów tych jeszcze nie udało się osiągnąć, gdyż modyfikowane odmiany nie są całkowicie ustabilizowane, ale już obecnie istnieją rośliny tolerujące herbicydy, gwarantujące poprawę plonów przy radykalnym ograniczeniu stosowania środków ochrony (niewątpliwych ksenobiotyków), co powinno być argumentem dla zwolenników zrównoważonej ochrony środowiska.

Poczynione dotychczas modyfikacje genetyczne nie są rozległe i najczęściej ograniczają się do zminimalizowania wrażliwości roślin uprawnych na:

- herbicydy (wprowadzenie cech tolerancji herbicydu o działaniu totalnym, dzięki syntezie enzymów rozkładających substancję czynną herbicydu: glifosatu i/lub glufosynatu);
- szkodniki (przeniesienie genów białka Bt, toksycznego dla niektórych owadów, z *Bacillus thuringiensis* do rośliny uprawnej);
- choroby wywoływane przez wirusy, bakterie i grzyby – wprowadzenie genów indukujących odporność roślin poprzez syntezę enzymów niszczących ścianę komórkową: chitynazy, glukonazy lub błonę komórkową: osmotyny [31].

Dzięki modyfikacji genetycznej możliwe jest także zwiększenie potencjału adaptacyjnego roślin pastewnych do niesprzyjających warunków środowiskowych, np. kwasowości gleby [18].

Nic dziwnego zatem, że rośliny transgeniczne stawały się w ostatnich latach coraz popularniejsze, i to zarówno w rozwiniętych, jak i rozwijających się krajach. W latach 1996–2003 areał upraw GMO zwiększył się z 3 do 70 mln ha, z czego większość przypadła na Stany Zjednoczone i Argentynę, w których to krajach około 80%

powierzchni upraw stanowiły rośliny GM – głównie soja i kukurydza. Znaczący wzrost areału upraw GMO odnotowano w tym okresie także w Brazylii [28]. Obecnie rośliny transgeniczne uprawiane są na 134 mln ha w 25 krajach [20]. W porównaniu ze skalą upraw na świecie, w krajach EU areał roślin transgenicznych jest znikomy, a ponadto w użytkowaniu jest tylko jeden gatunek – kukurydza MON 810. W Europie czołowym producentem roślin transgenicznych jest Hiszpania. Na kolejnych miejscach plasują się Czechy, Portugalia, Niemcy (gdzie w 1990 powstało pierwsze prawo dotyczące inżynierii genetycznej), Słowacja, Rumunia i Polska (około 3000 ha upraw roślin GM). Warto odnotować, że do niedawna jednym z ważniejszych producentów roślin genetycznie modyfikowanych była Francja, która jednak od 2008 roku wprowadziła zakaz ich uprawy, narażając się na konsekwencje ze strony UE.

Z oczywistych względów interesujące jest stanowisko Polski wobec GMO. Podejście naszego kraju do GMO wydaje się bardzo restrykcyjne: 18 listopada 2008 roku Rząd Polski przyjął Stanowisko Ramowe, w którym opowiedział się przeciw wprowadzaniu do obrotu roślin GM i ich otwartej uprawie; dopuścił jednak możliwość prowadzenia badań nad zamkniętym użyciem roślin transgenicznych. Wedle intencji Rządu, Polska ma mieć status „kraju wolnego od GMO”, co nie zyskuje jednak aprobaty UE. Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy decyzja ta wydaje się kontrowersyjna, jako że zdecydowana większość badań wskazuje, że GMO nie zagrażają ani zwierzętom, ani człowiekowi. Przyznać jednak należy, że w piśmiennictwie można znaleźć doniesienia o potencjalnym niebezpieczeństwie GMO; wymienia się tu zwłaszcza toksyczny i alergizujący efekt „obcych białek”. Wskazuje się też na metodologiczne niedostatki niektórych badań, których wyniki potwierdzają brak zagrożenia ze strony GMO; badaniom tym zarzuca się przede wszystkim to, że zostały przeprowadzone dosyć pośpiesznie (czego *nota bene* wymagała konieczność) i – co gorsza – nie zawsze na reprezentatywnej grupie zwierząt.

Przeciwnicy GMO uważają, że korzyści, jakie można uzyskać stosując modyfikowane organizmy są niewspółmiernie mniejsze niż potencjalne zagrożenia, takie choćby jak nieprzewidywane interakcje genowe, synteza substancji toksycznych czy zaburzenia przemiany materii [2]. Ich zdaniem, transgeniczne rośliny tolerujące herbicydy będą traktowane tymi środkami w nieporównanie większym stopniu niż rośliny konwencjonalne, czego konsekwencją – w przypadku ich zastosowania w żywieniu – będzie wprowadzenie do organizmu konsumenta pozostałości herbicydów, np. glifosatu [17]. Za nieobojętną uznają także możliwość pojawienia się dimeru l-tryptofanu, którego szkodliwość *per se* została wielokrotnie potwierdzona, syntetyzowanego jakoby przez transgeniczne mikroorganizmy [25].

Jednym z najczęściej rozważanych potencjalnych zagrożeń jest niekontrolowany horyzontalny transfer DNA – do organizmów tego samego lub innych gatunków, a nawet między królestwami roślin i zwierząt [6]. Mimo że jest to teoretycznie możliwe, nigdy nie stwierdzono horyzontalnego transferu zmodyfikowanego DNA do bakterii przewodu pokarmowego człowieka czy zwierząt. Tym bardziej wątpliwe,

niemniej nie do wykluczenia *a priori*, jest prawdopodobieństwo wertykalnego wpływu GMO – transfer zmodyfikowanego DNA do potomnych pokoleń konsumentów.

Wątpliwości i ocena potencjalnego ryzyka zdają się leżeć u podstaw podejścia poszczególnych krajów do kwestii uprawy roślin transgenicznych. Zdecydowanie bardziej liberalne stanowisko w tym względzie zajmują USA, podczas gdy kraje EU, podnosząc argumenty bezpieczeństwa człowieka, zwierząt i względów ochrony środowiska, są znacznie bardziej ostrożne. Na odmiennosc postaw zwraca uwagę Rowland [34], wskazując przy tym, że ocena bezpieczeństwa pokarmów genetycznie modyfikowanych jest wielkim wyzwaniem, i to zarówno na etapie badań, jak i interpretacji wyników, gdyż rutynowe testy toksykologiczne, sprawdzające się wobec pojedynczych substancji mogą nie dać w pełni wiarygodnego wyniku w przypadku badania pokarmów wieloskładnikowych.

Przyszłość roślin GM, jakkolwiek zapowiadająca się obiecująco, będzie zależeć od wyników badań dotyczących wszelkich możliwych konsekwencji ich uprawy i stosowania w charakterze środków żywienia. Dotychczasowe badania porównujące rośliny tradycyjne i transgeniczne, których wyniki przytoczono poniżej, nie wykazują możliwości szkodliwego wpływu GMO na konsumentów. Według ich autorów, białko badanych roślin transgenicznych było trawione tak samo jak białko roślin tradycyjnych, a w produktach zwierzęcych nie stwierdzono obecności zmodyfikowanego DNA. Takie są konkluzje badań cytowanych w dalszej części artykułu*. Aczkolwiek nie wskazują one na zagrożenia, gwoili uczciwości i rzetelności, tak czysto ludzkiej, jak i naukowej, należy dopuścić ewentualność, że nie są one w stanie wykazać zagrożeń, jako że te mogą ujawnić się dopiero w kolejnych generacjach, a badania często dotyczą zwierząt niepozostawiających po sobie potomstwa. Nie zawsze też uwzględniają efekty odroczone, albo trwają dość krótko. Niestety, na tym etapie badań nie można z całą pewnością wykluczyć ewentualnej absorpcji i dystrybucji „obcego” DNA w organizmach zwierząt żywionych paszami transgenicznymi, chociaż wiele wskazuje, że obawy są bezpodstawne. Ponadto wiele przytoczonych badań dotyczy równoważności składnikowej i na jej podstawie udziela odpowiedzi na fundamentalne pytanie dotyczące stosowania GMO w żywieniu: czy możliwy jest odmienny efekt żywieniowy w sytuacji jednakowego składu? Gdyby równoważność dotyczyła wszystkich bez wyjątku składników, odpowiedź byłaby oczywista. Trudno jednak o niezachwianą pewność, że tak właśnie jest.

Jednym z wiodących europejskich ośrodków badań nad GMO jest Braunschweig, w którym w roku 1997 wdrożono program, mający dać odpowiedź, czy równoważne składnikowo rośliny transgeniczne pierwszej generacji: Bt-kukurydza, Pat-kukurydza, Pat-buraki cukrowe i Gt-soja mogą modyfikować wyniki produkcyjne [10].

* Informacje o wynikach (głównie z ostatniej dekady) zaczerpnięte zostały, bez żadnej preselekcji, z bazy „SCOPUS” (opcja document search).

Badania prowadzono na brojlerach, nioskach, świniach, owcach i bydle (w tym przetokowanych krowach). Do roku 2001 nie stwierdzono istotnych różnic w wartości odżywczej badanych pasz transgenicznych i konwencjonalnych [11]. Wykazano pełną równoważność składnikową, a ponadto nie stwierdzono obecności fragmentów obcego DNA w tkankach zwierząt doświadczalnych. W dwu kolejnych raportach z badań prowadzonych w Braunschweigu znaleźć można potwierdzenie, że gen Bt nie modyfikuje strawności składników pokarmowych kukurydzy ani jej wartości energetycznej. Nie zmienia też składu aminokwasowego białka, profilu kwasów tłuszczowych (KT), zawartości polisacharydów nieskrobiowych (NSP) i składników mineralnych [1]. Również w badaniach nad Pat-kukurydzą nie stwierdzono różnic w zawartości podstawowych składników pokarmowych (w tym skrobi), w składzie aminokwasowym białka, profilu KT i zawartości włókna neutralno detergentowego (NDF). Podobne wyniki uzyskano w przypadku buraków z genem Pat [3].

Badacze z Braunschweigu opublikowali w roku 2003 wyniki eksperymentów dotyczących hybrydu kukurydzy Bt 176, stosowanego przez 5 tygodni w żywieniu kurcząt brojlerów [39]. Przeprowadzone analizy pasz nie wykazały różnic w składzie chemicznym, składzie aminokwasowym białka i profilu KT lipidów. Kurczęta żywione kukurydzą transgeniczną lub konwencjonalną uzyskały zbliżone efekty produkcyjne; istotnych różnic nie stwierdzono także w pozornej strawności składników pokarmowych. We krwi pobranej przed ubojem wprost z serca (aby wykluczyć możliwość kontaktu z przypadkowym DNA) nie stwierdzono zróżnicowania łącznej objętości elementów morfotycznych krwi ani innych wskaźników osocza. Nie zaobserwowano także różnic w składzie analizowanych prób mięśni piersiowych i udowych, mięśnia sercowego, wątroby, nerek, śledziony, torby Fabrycjusza i grasicy. W teście strawnościowym, przeprowadzonym pomiędzy 20. a 25. dniem odchowu brojlerów stwierdzono, że pasaż DNA kukurydzy transgenicznej i konwencjonalnej w przewodzie pokarmowym jest zbliżony, a ponadto DNA hybrydu Bt 176 jest częściowo rozkładany – podobnie jak konwencjonalny. Badając metaboliczne losy DNA zauważono, że w próbach występują bardzo krótkie fragmenty DNA (199 par zasad) chloroplastów. Ich obecność stwierdzono we krwi, mięśniach, wątrobie, śledzionie i nerkach, ale zanikały one po nieco wydłużonym okresie głodówki poprzedzającej ubój. Co ważne, w żadnej z badanych prób nie stwierdzono obecności fragmentów DNA, właściwych genowi Bt.

Podobne informacje dotyczące losów DNA przedstawione zostały przez zespół badawczy Brolla, zajmujący się reakcją świń na transgeniczne ziemniaki 1-SST i 1-FFT. Po 42 dniach doświadczenia w żadnym z badanych organów, ani w treści układu pokarmowego, nie stwierdzono obecności obcego DNA, chociaż specyficzny DNA chloroplastów został odnaleziony w treści dwunastnicy, jelita czczego, okrężnicy i odbytnicy. Pojedyncza sekwencja genu kodującego inhibitor metalo-karboksypeptydazy została zidentyfikowana w treści żołądka świń karmionych izogennymi ziemniakami i w dwunastnicy oraz jelicie biodrowym zwierząt żywionych

ziemniakami transgenicznymi. Nie zaobserwowano jednak inkorporacji obcego DNA w genom świń [4].

Podobne badania dotyczyły ewentualnej obecności obcego DNA w treści jelit i tkankach świń, w zależności od czasu wpływającego od ostatniego karmienia dawką, w skład, której wchodziła kukurydza z genem Bt [32]. Rekombinowany DNA stwierdzano wyłącznie w treści jelit zwierząt ubitych przed upływem 48 h od ostatniego karmienia. Godne podkreślenia jest, że chociaż w tkankach świń znajdowano fragmenty roślinnego DNA, nie były to rekombinacje specyficzne dla kukurydzy transgenicznej.

Od roku 1997 w Braunschweigu przeprowadzono 18 eksperymentów. W 16 przypadkach badania dotyczyły pierwszej generacji roślin GM, a więc roślin o składzie chemicznym identycznym ze składem roślin konwencjonalnych, w 2 przypadkach – roślin transgenicznych drugiej generacji, cechujących się istotnymi zmianami w składzie chemicznym (rzepak o zmodyfikowanym profilu KT i ziemniaki zmodyfikowane pod kątem zawartości inuliny). Większość wyników została już przedstawiona w niniejszym artykule, niemniej warto zwrócić uwagę na eksperyment dotyczący potencjalnego, długoterminowego wpływu roślin transgenicznych na reprodukcję zwierząt. Badaniem objęto 10 pokoleń przepiórek japońskich i 4 pokolenia kur niosek. Uzyskane wyniki dowodzą, że genetycznie modyfikowane rośliny nie wywierały nie tylko bezpośredniego wpływu na spożywające je zwierzęta, ale także na ich pokolenia potomne, co wydaje się szczególnie istotne [12].

Z badań przeprowadzonych na szczurach, kurczętach brojlerach, sumach i krowach mlecznych, trwających odpowiednio 4, 6, 10 i 4 tygodnie, żywionych śrutą z nasion dwu linii soi transgenicznej lub soi izogenicznej, wynika, że przyrost masy ciała, wykorzystanie paszy, a także produkcja mleka i jego skład były podobne – nie stwierdzono pomiędzy nimi różnic statystycznie istotnych [14]. Niewątpliwie było to konsekwencją jednakowego składu chemicznego nasion obu linii soi transgenicznej (40-3-2 i 61-67-1) oraz soi niezmodyfikowanej, uwzględniającego podstawowe składniki odżywcze, profil aminokwasowy, profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość składników antyodżywczych, takich choćby jak inhibitory tripsyny, lektyny, izoflawony, stachioza, rafinoza czy fitinyiany [32].

Podobne badania, dotyczące kukurydzy, przeprowadził zespół badawczy Sidhu [36]. Analizowali oni skład chemiczny (w tym skład aminokwasowy białka i profil KT lipidów) kukurydzy z dwu sezonów wegetacyjnych. Porównanie dotyczyło kukurydzy GA21 i kukurydzy konwencjonalnej, i – jak autorzy podają – „z wyjątkiem kilku drobnych różnic, które nie mogły mieć biologicznego znaczenia” zarówno ziarno, jak i zielonka kukurydzy GM i konwencjonalnej były „porównywalne”. Żywieniowe bezpieczeństwo kukurydzy GA21 oceniano także w doświadczeniu na kurczętach brojlerach, którego wyniki nie wykazały różnic w tempie wzrostu, wykorzystaniu paszy na przyrost masy ciała i masy tłuszczu zapasowego, co pozwoliło autorom na konkluzję, że kukurydza transgeniczna jest „równie bezpieczna i odżyw-

cza jak kukurydza konwencjonalna”. W roku 2004 wyniki badań nad transgeniczną soją opublikował zespół pod kierunkiem Zhu [43]. Chińskie badania dotyczyły soi odpornej na Roundup (RR) i zostały przeprowadzone na szczurach, przyporządkowanych do 4 grup. W grupie pierwszej stosowano soję konwencjonalną, w pozostałych – transgeniczną. W grupie drugiej stanowiła ona 30% dawki, w trzeciej – 60% a w czwartej – nawet 90% (w grupie 4. nie udało się zbilansować dawki na poziomie grup 1–3). Podczas 13-tygodniowego eksperymentu nieco mniejszą masę ciała i gorsze wykorzystanie karmy stwierdzono tylko w grupie czwartej i to jedynie w 1. tygodniu badań. Wskaźniki hematologiczne, skład osocza krwi i moczu nie były znacząco zróżnicowane. Również badania sekcyjne nie wykazały wpływu soi GM na badane cechy. Co szczególnie istotne, w mięśniach szczurów żywionych transgeniczną soją nie zidentyfikowano specyficznych dla niej konstrukcji genów, jak choćby liczącego 145 par zasad genu cp4. Finalnie, nie stwierdzono niekorzystnego wpływu soi GM na szczury, nawet jeżeli stanowiła ona 90% dawki.

Wspomniane powyżej nieznaczące, niepotwierdzone statystycznie, zmniejszenie masy ciała wydaje się interesujące i nieodosobnione w przypadku stosowania GMO. Zaobserwowali je także El Sanhoty wraz z współpracownikami, badając ziemniaki linii Spunta z genem Cry V [9]. Jakkolwiek skład chemiczny ziemniaków konwencjonalnych i transgenicznych, uwzględniający 14 składników odżywczych, był prawie taki sam, jakkolwiek prawie identyczna była zawartość analizowanych składników antyodżywczych (glikoalkaloidy, inhibitory enzymów proteolitycznych i suma związków fenolowych), to jednak masa ciała 30-dniowych albinotycznych szczurów żywionych ziemniakami transgenicznymi (w ilości 30%) była nieco mniejsza. Poza tym wyniki testu nie wykazały jakichkolwiek znaczących różnic u zwierząt żywionych ziemniakami niezmodyfikowanymi i transgenicznymi; takie samo było tempo wzrostu, pobranie i wykorzystanie karmy, takie same wskaźniki biochemiczne, skład osocza krwi i względna masa organów wewnętrznych (wątroby, śledziony, serca, nerek i jąder). Konkluzja musiała być zatem jednoznaczna: ziemniaki GM linii Spunta mają taki sam skład i właściwości biochemiczne jak konwencjonalne ziemniaki Spunta.

Istotnych różnic we względnej masie narządów wewnętrznych, wartości wskaźników morfologicznych i większości wskaźników biochemicznych krwi nie zaobserwowano także u szczurów żywionych przez 35 dni transgenicznymi ziemniakami o zwiększonej zawartości białka, linii J2sub. Szczury żywiono izoproteinowymi dietami z udziałem 20% suszu z ziemniaków transgenicznych o zawartości 16,2% białka lub konwencjonalnych (linia Desiree o zawartości 10,7% białka surowego w suchej masie). Składniki pokarmowe ziemniaków transgenicznych nie były trawione gorzej; stwierdzono wręcz, że strawność tłuszczu i włókna w dawkach z ich udziałem była większa w porównaniu do dawek zawierających ziemniaki konwencjonalne, a strawność masy organicznej była nawet istotnie lepsza [22]. Wyniki przywołanego eksperymentu zdają się zatem dobrze rokować możliwości zastosowania w żywieniu zwierząt nie tylko GMO pierwszej, ale i drugiej generacji.

Trwający 90 dni test, przeprowadzony na 400 szczurach żywionych dietą zawierającą 11 lub 33% kukurydzy MON 810 lub jej niezmodyfikowanego genetycznie odpowiednika, potwierdził bezpieczeństwo stosowania kukurydzy transgenicznej [16]. Nie zaobserwowano jakichkolwiek istotnych różnic w stanie zdrowia zwierząt, masie ciała, pobraniu karmy, masie organów wewnętrznych, wskaźnikach hematologicznych oraz w składzie moczu. Na podstawie uzyskanych wyników zespół skonkludował, że kukurydza MON 810 musi być uznana za ekwiwalent kukurydzy konwencjonalnej, jako że jest tak samo bezpieczna i odżywcza.

Przeprowadzony w identycznym układzie test dotyczący bezpieczeństwa stosowania i wartości odżywczej kukurydzy MON 863 jest ze wszech miar godzien odnotowania i refleksji [15]. W ostatecznej konkluzji Autorzy stwierdzili (podobnie jak w poprzednim eksperymencie), że wyniki uzyskane w efekcie stosowania kukurydzy MON 863 są „porównywalne” z wynikami zwierząt żywionych konwencjonalnymi odmianami kukurydzy, a zatem jest ona równie bezpieczna i odżywcza. Wniosek ostateczny sformułowano na podstawie ogólnego stanu zdrowia zwierząt, masy ciała, spożycia karmy, wskaźników patologii klinicznej, obrazu tkanek i masy narządów wewnętrznych. Nie wszystkie analizowane wskaźniki były, co prawda, identyczne; w niektórych przypadkach stwierdzono różnice, które jednak uznano za nieistotne. Przykładowo, proporcja masy nerki do masy ciała u szczurów żywionych MON 863 była nieco mniejsza niż u zwierząt żywionych kukurydzą konwencjonalną. Zauważono przy tym pewną zależność od płci. O ile u samic (15 szt.) zmian w nerkach (np. ognisk zapalnych) i sercu (kardiomiopatia) było praktycznie tyle samo u osobników żywionych kukurydzą GM i izogeniczną-konwencjonalną (odpowiednio 6:7 i 7:7), o tyle u samców (20 szt.) zmian patologicznych w nerkach było nieco więcej (11:7), ale za to przypadków kardiomiopatii – mniej (6:11). Ostateczna konkluzja była jednak korzystna dla MON 863, co stało się przyczyną dyskusji naukowej i sporu.

Korzystając z możliwości dostępu do „surowych” wyników doświadczenia zrelacjonowanego powyżej, zespół badaczy francuskich, pod kierownictwem Seralini’ego, reprezentującego Komitet na Rzecz Niezależnej Informacji i Badań w Zakresie Inżynierii Genetycznej, dokonał reinterpretacji wyników. Można założyć, że to właśnie nieufność wobec badaczy związanych z Monsanto nakazała z rezerwą odnieść się do wyników ich testu, co stało się możliwe po wyroku sądu apelacyjnego w Münster, który nakazał udostępnienie wszystkich surowych wyników tych badań, tak by mogły one być przeanalizowane przez innych badaczy. Znamienne dla tej sytuacji jest, że oba zespoły, dysponując tymi samymi danymi, doszły do zgoła odmiennych wniosków, co podważa wiarygodność naukową jednego z nich. Jest to jednak dobitny acz naganny przykład tego, jak nastawienie i przekonania rzutują na interpretację wyników. Seralini i współpracownicy stwierdzili, że wyniki badań zespołu Hammonda wskazują na pewną, zależną od udziału kukurydzy GMO w dawkach, różnicę w masie ciała i na hepatotoksyczność kukurydzy MON 863. Uznali przy tym, że ich wyniki są bliższe prawdy, bo użyli właściwych metod statystycznych

i nieco inaczej skonstruowali model doświadczenia. W konkluzji zaś podnieśli, że konieczne są dłuższe badania, żeby wskazać rzeczywistą naturę i zakres możliwych zmian patologicznych. Obecnie, według cytowanych autorów, nie można jednoznacznie stwierdzić, że GM MON 863 jest bezpiecznym produktem [35].

W tym samym roku (2006) opublikowane zostały wyniki badań nad przydatnością bawełny Bt-Cry 1c dla kurcząt brojlerów [8]. W 49-dniowym eksperymencie 120 kurcząt podzielono na 3 grupy, wszystkie żywione mieszankami izobiałkowymi i izoenergetycznymi, przy czym w mieszankach dla grup 1. i 2. było 10% śruty bawełnianej poekstrakcyjnej otrzymanej z roślin transgenicznych i/lub konwencjonalnych, a grupa 3. otrzymywała mieszankę wyłącznie sojowo-kukurydzaną. Śruta bawełniana zawierała gossypol całkowity i wolny (odpowiednio bawełna modyfikowana: 12,7 i 0,7, konwencjonalna: 12,5 i 0,4 g · kg⁻¹). Badając co 7 dni przyrost i wykorzystanie paszy stwierdzono, że do 7. tygodnia tempo wzrostu i wykorzystanie paszy były identyczne, ale od 5. do 7. tygodnia istotnie lepiej ($p \leq 0,01$) wykorzystywana była mieszanka z udziałem bawełny transgenicznej. Cechy rzeźne tuszek również były podobne, z wyjątkiem mięśnia udowego. Badane wskaźniki, w tym hematologiczne, białko osocza i poziom cholesterolu nie różniły się. Z powyższego wynika, że poddana badaniom transgeniczna bawełna nie wywiera negatywnego wpływu ani na efekty produkcyjne odchowu brojlerów, ani na wskaźniki biochemiczne i może bezpiecznie być stosowana w przetestowanej ilości.

Kolejny rok przyniósł raport z badań toksykologicznych na szczurach Sprague-Dawley, żywionych *ad libitum* przez 13 tygodni transgeniczną kukurydzą z genami Cry 1F i Pat [26]. Porównywano cechy szczurów otrzymujących kukurydzę linii 1507, blisko-izogeniczną kukurydzę 33P66 i niemodyfikowaną genetycznie hybrydę komercyjną 33J56. Skład chemiczny ziarna uwzględniający aminokwasy, składniki mineralne, antyodżywcze i metabolity wtórne był bardzo zbliżony. Podczas 90 dni nie stwierdzono różnic w wartości odżywczej dawek ani efektów toksycznych (klinicznych) neuro-behawioralnych czy zaburzeń wzroku. Wskaźniki kliniczne, hematologiczne i analizy moczu też się istotnie nie różniły. Zbliżona była masa organów wewnętrznych, a badania zmian patologicznych lub submikroskopowych nie wykazały niepokojącego wpływu kukurydzy transgenicznej. Uzyskane wyniki przekonują, że kukurydza linii 1507 jest równie bezpieczna i odżywcza jak ziarno niemodyfikowane genetycznie. Na brak zagrożenia ze strony genetycznie modyfikowanych kukurydzy MON 810 i soi RR wskazują także aktualne badania zespołu Świątkiewicza [37].

Obiecujących wyników dostarczają wielopokoleniowe badania wpływu genetycznie modyfikowanego pszenżyta na odpowiedź immunologiczną myszy C57BL/6J [23]. Pięć generacji myszy żywiono karmą z 20% udziałem konwencjonalnego lub transgenicznego ziarna (pszenżyto o cechach tolerancji herbicydu BASTA). U myszy F5 stwierdzono, co prawda, powiększone węzły chłonne (jednak nie śledzone) i większą liczbę białych krwinek, ale różnice nie odbiegały od normy. Mniej było u nich także

limfocytów T w śledzionie i węzłach chłonnych oraz B w węzłach chłonnych i krwi. Dużo wyższy był poziom interleukin IL-2, a niższy IL-6. Nie stwierdzono natomiast zmian poziomu interferonu i immunoglobulin IgE, co pozwoliło autorom na konkluzję, że zmiany obserwowane u myszy F5 w efekcie żywienia transgenicznym pszenizytem nie są wywołane przez proces nowotworowy i nie są reakcją alergiczną.

Badania dotyczące GMO nie zawsze angażują zwierzęta, czasami ograniczają się jedynie do analizy składu, zwłaszcza w zakresie składników specyficznych, o uznanych funkcjach biologicznych, trudnych do przecenienia – krytycznych dla zdrowia człowieka czy zwierząt. Tak było w przypadku badań Venneria i in. [41], którzy w badaniach porównawczych oceniali wartość odżywczą pszenicy rab1, kukurydzy Bt i pomidorów ro1D. W badaniach uwzględniono profil KT lipidów, zawartość niezmodyfikowanej się frakcji antyoksydantów, ogólną zawartość fenoli, polifenoli, karotenoidów, witaminy C, aktywność antyoksydacyjną i skład mineralny plonów. W przypadku pszenicy i kukurydzy nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy roślinami transgenicznymi i konwencjonalnymi, natomiast w pomidorach transgenicznych aktywność antyoksydacyjna była istotnie mniejsza niż w konwencjonalnych. Autorzy składowali jednak, że na podstawie znaczącej zbieżności składu (w rozumieniu WHO, OECD i UNFAO), uzyskane dane wspierają tezę, wedle której badane rośliny transgeniczne mają wartość odżywczą podobną do wartości roślin konwencjonalnych. Z poglądem tym można oczywiście polemizować, podnosząc, że to właśnie aktywność antyoksydacyjna pomidorów (likopen) jest jedną z ich największych zalet. Można też nie zgadzać się, by o ewentualnej szkodliwości roślin transgenicznych wyrokować jedynie na podstawie równoważności składnikowej.

Jak widać, interpretacja wyników badań niekiedy jest projekcją postaw badacza wobec analizowanego problemu, co oczywiście musi wywoływać pewne wątpliwości. Wydaje się, że należy respektować odmienne podejście do GMO i dobrze byłoby pozostawić człowiekowi wybór (o ile oczywiście nie okazałoby się, że GMO rozprzestrzeniają się w środowisku w sposób niekontrolowany i nieodwracalny), by mógł decydować, czy chce spożywać GMO, czy nie. W tym celu opracowano użyteczne metody analityczne, pozwalające na szybkie i pewne wykrycie zmodyfikowanych genów, zwłaszcza w roślinach, które najczęściej są modyfikowane: soi i kukurydzy. Co ważne, opracowane ostatnio metody, jak choćby te proponowane przez zespół Garay'a, pozwalają na identyfikację zmodyfikowanego DNA nie tylko w surowcach, ale i w przetworzonych produktach [13].

W Polsce GMO traktowane są z rezerwą, o czym świadczą proponowane regulacje prawne i skala zastosowania. Z badań prowadzonych w Państwowym Instytucie Weterynarii w Puławach w latach 2004–2006 wynika, że obecność transgenów stwierdzono jedynie w 141 z 232 prób paszy (w 134 przypadkach była to zmodyfikowana genetycznie soja, w 7 – kukurydza) [24]. Wyniki uzyskane w roku 2005 są bardzo podobne: z 87 badanych prób pasz, 53 zawierały rośliny transgeniczne; w 50 zidentyfikowano transgeniczną soję RR, a w 3 – zmodyfikowaną kukurydzę MON 810 [37].

Podsumowanie

Dokonany przegląd informacji dotyczących bezpieczeństwa GMO może wskazywać, że nie stanowią one zagrożenia. Nie będzie to jednak na pewno argumentem dla nieprzejednanych przeciwników manipulacji genetycznych, dla których nawet odrobina wątpliwości jest wystarczającym powodem, by zdyskwalifikować GMO jako potencjalne zagrożenie. Materia jest na tyle subtelna, że nie wolno nikomu, zwłaszcza hołdującemu zasadzie ostrożności, odmawiać prawa do występowania przeciwko ingerencji w genom, której skutki nie są do końca poznane. Wykorzystanie GMO budzi kontrowersje i wątpliwości, ale gwoli prawdy należałoby przyznać, że tak było z wieloma epokowymi wręcz wynalazkami, bez których dziś cywilizacja nie potrafiłaby, czy nie chciała funkcjonować. Wątpliwości, trzeba koniecznie rozpraszać, zgodnie z jak najlepszą wiedzą i uczciwością badawczą. Ze względu na ideę zrównoważonego rozwoju konieczne jest znalezienie bezpiecznego, ale i efektywnego rozwiązania, choćby takiego, jakie postulowali już w 2001 roku Meningaud i in. [30] – kompilacji dwu przeciwstawnych sposobów postępowania w kwestii GMO: czujności i kontroli po wprowadzeniu produktu na rynek, czyli ochrony *a posteriori* oraz działań wynikających ze stosowania zasady ostrożności (*a priori*), analogicznie do zasady, jaka obowiązuje w badaniach nad nowymi lekami, a więc ochrony człowieka podczas badań biomedycznych, i stosowania odpowiednich przepisów po wprowadzeniu specyfiku do obrotu. Tak powinno być w przypadku produkcji żywności z wykorzystaniem biotechnologii, której nie wolno demonizować, na co wskazuje Twardowski [40], pisząc, że w minionym stuleciu wyginęło na Ziemi przynajmniej 30% gatunków, ale nie stało się to za sprawą inżynierii genetycznej.

Literatura

- [1] Aulrich K., Bohme H., Daenicke R., Halle I., Flachowsky G. 2001. Genetically modified feeds in animal nutrition. 1st communication: *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn in poultry, pig and ruminant nutrition. *Arch. Anim. Nutr.* 54(3): 183–195.
- [2] Bertoni G., Marsan A.P. 2005.: Safety risks for animals fed genetic modified (GM) plants. *Vet. Res. Commun.* 29 (Suppl. 2): 13–18.
- [3] Bohme H., Aulrich K., Daenicke R., Flachowsky G. 2001. Genetically modified feeds in animal nutrition. 2nd communication. Glufosinate tolerant sugar beets (roots and silage) and maize grains for ruminants and pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 54(3): 197–207.
- [4] Broll H., Zagon J., Butschke A., Leffke A., Spiegelberg A., Bohme H., Flachowsky G. 2005. The fate of DANN of transgenic inulin synthesizing potatoes in pigs. *J. Anim. Feed. Sci.* 14 (Suppl.1): 337–340.
- [5] Brzóska F., Koreleski J., Korol W. 2009. Skutki wprowadzenia zakazu stosowania pasz GMO w żywieniu zwierząt. *Post. Nauk Rol.* 3–4: 83–99.
- [6] Conway G. 2000. Genetically modified crops: Risks and promise. *Conserv. Ecol.* 4: 2.
- [7] Dąbrowski Z.T. 2009. Rozbieżności w ocenie korzyści i zagrożeń wynikających z uprawy roślin GM dla środowiska. *Post. Nauk Rol.* 5–6: 7–18.
- [8] Elangovan A.V., Tyagi P.K., Shrivastav A.K., Mandal A.B. 2006. GMO (Bt-Cry1Ac gene) cottonseed meal is similar to non-GMO free gossypol cottonseed meal for growth performance of broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 129(3–4): 252–263.

- [9] El Sanhoty R., Abd El-Rahman A.A. Bogl K.W. 2004. Quality and safety evaluation of genetically modified potatoes Spunta with Cry V gene; Compositional analysis, determination of some toxins, antinutrients compounds and feeding study in rats. *Nahrg.-Food* 48(1): 13–18.
- [10] Flachowsky G., Aulrich K. 1999. Animal nutrition and genetic modified organisms (GMO). *Landbauforschung Volkenrode* 49: 13–20.
- [11] Flachowsky G., Aulrich K. 2001. Nutritional assessment of feeds from genetically modified organism. *J. Anim. Feed Sci.* 10 (Suppl. 1): 181–194.
- [12] Flachowsky G., Aulrich K., Bohme H., Halle I. 2007. Studies on feeds from genetically modified plants (GMP) – Contributions to nutritional and safety assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 133 (1–2): 2–30.
- [13] Garay A.G., Mayas I.G., Garcia G.V. 2009. Suitable method for simultaneous and specific detection of maize (*Zea mays* L.) and genetically modified soybean (*Glycine max* L.) in animal feeds. *J. Anim. Feed Sci.* 18(1): 162–172.
- [14] Hammond B.G., Vicini J.L., Hartnell G.F., Naylor M.W., Knight C.D., Robinson E.H., Fuchs R.L., Padgett S.R. 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutr.* 126(3): 717–727.
- [15] Hammond B., Lemen J., Dudek R., Ward D., Jiang C., Nemeth M., Burns J. 2006. Results of 90-day safety assurance study with rats fed grain from corn rootworm-protected corn. *Food Chem. Toxicol.* 44(2): 147–160.
- [16] Hammond B.G., Dudek R., Lemen J.K., Nemeth M.A. 2006. Results of 90-day safety assurance study with rats fed grain from corn borer-protected corn. *Food Chem. Toxicol.* 44(7): 1092–1099.
- [17] Harden L., Eriksson M. 1999. A case-control study in non-Hodgkin lymphoma and exposure to pesticides. *Cancer* 85: 1353–1360.
- [18] Huang J., Hu R., Rozelle S., Pray C.E. 2005. Insect-resistant GM rice in farmers' fields: assessing productivity and health effects in China. *Science* 308: 688–690.
- [19] Irish Council for Bioethics: Genetically modified crops and food: threat or opportunity for Ireland? Opinion 2005.
- [20] ISAAA 2010. Global status of commercialized biotech/GM crops 2009. ISAAA, Brief 49.
- [21] Kosieradzka I. 2009. Krajowe doświadczenia in vivo w ocenie wartości odżywczej i dietetycznej wybranych roślin transgenicznych. *Post. Nauk Rol.* 3–4: 71–82.
- [22] Kosieradzka I., Sawosz E., Pastuszewska B., Żuk M., Szopa J., Bielecki W. 2004. Effect of feeding potato tubers modified by 14-3-3 protein overexpression on the metabolism and health status of rats. *J. Anim. Feed. Sci.* 13(2): 329–339.
- [23] Krzyżowska M., Wincenciak M., Winnicka A., Baranowski A., Jaszczak K., Zimny J., Niemiałowski M. 2010. The effect of multigenerational diet containing genetically modified triticale on immune system in mice. *Polish J. Anim. Sci.* 13(3): 423–430.
- [24] Kwiatek K., Sieradzki Z., Mazur M. 2007. Prevalence of genetically modified crops in animal feedingstuffs in Poland – Three year studies. *Bull. Vet. Inst. Pulawy* 51(4): 609–613.
- [25] Love L. 1993. Pathological and immunological effects of ingesting L-Tryptophan. *J. Clin. Invest.* 91: 804–811.
- [26] MacKenzie S.A., Lamb I., Schmidt J., Deege L., Morrissey M.J., Harper M., Layton R.J., Prochaska L.M., Sanders C., Locke M., Mattson J.L., Fuentes A., Delaney B. 2007. Thirteen week feeding study with transgenic maize grain containing event DAS-01507-1 in Sprague-Dawley rats. *Food Chem. Toxicol.* 45(4): 551–562.
- [27] Marmiroli N. 2005. Transgenic organisms: Enthusiasm and expectations as compared with the reality of scientific research. *Vet. Res. Commun.* 29 (Suppl. 2): 1–5.
- [28] Marabelli R. 2005. Aspects connected with the enforcement of the EU provisions on genetically modified organisms. *Vet. Res. Commun.* 29 (Suppl. 2): 19–26.
- [29] Matoba N., Doyama N., Yamada Y., Maruyama N., Utsumi S., Yoshikawa M. 2001. Design and production of genetically modified soybean protein with anti-hypertensive activity by incorporating potent analogue of ovokinin (2–7). *FEBS Letters* 497: 50–54.
- [30] Meningaud J-P., Moutel G., Herve C. 2001. Ethical acceptability, health policy and food biotechnology based foods: Is there a third way between the precaution principle and an overly enthusiastic dissemination of GMO? *Medicine and Law* 20(1): 133–141.
- [31] Nuffield Council of Bioethics 2004. The use of genetically modified crops in developing countries. A follow-up discussion paper. URL: <[http://www.nuffieldbioethics.org/file Library/ pdf/ GM Crops Discussion paper 2004.pdf](http://www.nuffieldbioethics.org/fileLibrary/pdf/GM_Crops_Discussion_paper_2004.pdf)>.
- [32] Padgett S.R., Taylor N.B., Nida D.L., Bailey M.R., MacDonald J., Holden L.R., Fuchs R.L. 1996. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. *J. Nutr.* 126: 702–716.

- [33] Reuter T., Aulrich K. 2003. Investigations on genetically modified maize (Bt-maize) in pig nutrition: Fate of feed-ingested foreign DNA in pig bodies. *Europ. Food Res. Technol.* 216(3): 185–192.
- [34] Rowland I.R. 2002. Genetically modified foods, science, consumers and the media. *Proc. Nutr. Soc.* 61: 25–29.
- [35] Seralini G-E., Cellier D., Spiroux de Vendomois J. 2006. New analysis of a rat feeding study with genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 52: 596–602.
- [36] Sidhu R.S., Hammond B.G., Fuchs R.L., Mutz J.N., Holden R.L., George B., Olson T. 2000. Glyphosate-tolerant corn: The composition and feeding value of grain from glyphosate-tolerant corn is equivalent to that of conventional corn (*Zea mays* L.). *J. Agric. Food Chem.* 48(6): 2305–2312.
- [37] Sieradzki Z., Walczak M., Kwiatek K. 2006. Occurrence of genetically modified maize and soybean in animal feedingstuffs. *Bull. Vet. Inst. Puławy* 50(4): 567–570.
- [38] Świątkiewicz S., Świątkiewicz M., Koreleski J., Kwiatek K. 2010. Nutritional efficiency of genetically modified, insect resistant corn (MON 810) and glyphosate tolerant soybean meal (Roundup Ready) for broilers. *Bull. Vet. Inst. Puławy* 54: 43–48.
- [39] Tony M.A., Butschke A., Broll H., Grohmann L., Zagon J., Halle I., Daenicke S., Schauzu M., Hafez H.M., Flachowsky G. 2003. Safety assessment of BT 176 maize in broiler nutrition: Degradation of maize-DNA and its metabolic fate. *Arch. Anim. Nutr.* 57(4): 235–252.
- [40] Twardowski T. 2009. Genetycznie zmodyfikowane organizmy w rolnictwie. Mat. I Kong. Nauk. Rol. Nauka-Praktyce, Puławy.
- [41] Venneria E., Fanasca S., Monastra G., Finotti E., Ambra R., Azzini E., Durazzo A., Foddai M.S., Maiani G. 2008. Assessment of the nutritional values of genetically modified wheat, corn, and tomato crops. *J. Agric. Food Chem.* 56(19): 9206–9214.
- [42] Zduńczyk Z., Jankowski J. 2009. Bezpieczeństwo stosowania genetycznie modyfikowanych roślin w żywieniu zwierząt w świetle wyników dotychczasowych badań. *Post. Nauk Rol.* 3–4: 53–69.
- [43] Zhu Y., Wang F., Yin J., Jin H. 2004. Nutritional assessment and fate of DNA of soybean meal from roundup ready or conventional soybeans using rats. *Arch. Anim. Sci.* 58(4): 295–310.

The usefulness and safety of transgenic plants (GMO) in animal nutrition

Key words: GMO, transgenic plants, safety of feeding

Summary

Paper deals with the problem of applying feeds derived from genetically modified plants (GMO) in animal nutrition. Authors surveyed the papers referring to mentioned field, available at the SCOPUS database, and they presented benefits and potential hazards caused by GMO of so called first or second generation. To make a point, they focused on productive effects obtained by animals fed GMO and their physiological and biochemical characteristics, usually analysed with respect to the toxicity of ingested feed. The investigations mostly dealt with transgenic corn and soybean fed to poultry, pigs and rats (nevertheless the cattle and fish were also under consideration).

The survey reveals that the majority of experimental results do not confirm the hazard by GMO, neither horizontal nor the vertical one. However it also points out that the interpretation of the experimental data sometimes seems to depend on the researcher's attitude towards GMO, and might be a projection of the fears and expectations.

Nagrody naukowe Wydziału Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN za rok 2010

Zgodnie z § 4 pkt. 3 „Regulaminu przyznawania dyplomów i nagród naukowych Wydziału Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN” – Zebranie Plenarne Wydziału Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN na posiedzeniu w dniu 25 października 2010 r. – na wniosek Komisji Nagród Wydziału – podjęło uchwałę o przyznaniu w roku 2010 nagród naukowych i wyróżnień. Nagrody zostały wręczone 2 grudnia 2010 r. na uroczystości Wydziału Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN w Warszawie.

Nagroda im. Michała Oczapowskiego

za książkę, *„Ekologiczne uwarunkowania zasięgów drzew i krzewów na aluwialnych obszarach Doliny Odry”* dla dr. hab. Władysława Danielewicza z rekomendacji Komitetu Nauk Leśnych PAN

Monografia zawiera obszerną charakterystykę dendroflory występującej w całej polskiej części Doliny Odry o łącznej długości 742 km. W dziele tym o objętości 267 stron tekstu, zamieszczono bogaty materiał dokumentacyjny w formie 16 obszernych tabel, zawierających dane o stałości gatunków i krzewów w wyróżnionych środowiskach przyrodniczych. Cenne uzupełnienie stanowi bogaty zestaw map ilustrujących fizjografię terenu badań, lokalizację stanowisk badawczych i punktowe rozmieszczenie 25 gatunków drzew i krzewów (również obcego pochodzenia).

Monografia wnosi poważny wkład w rozwój dendrologii, w poznanie obecnego rozmieszczenia drzew i krzewów w Dolinie Odry, jak też stanu i tendencji rozwojowych ekosystemów dolin rzecznych. Ma ona podstawowe znaczenie dla praktyki przy podejmowaniu decyzji z zakresu zagospodarowania przestrzennego w dolinach dużych rzek, dla planowania hodowlań-leśnego w lasach łęgowych, dla gospodarki rolnej na obszarach sporadycznie czy też okresowo zalewanych przez wody powodziowe, dla projektowania inwestycji oraz monitoringu.

Dyplomy uznania im. Michała Oczapowskiego

1. za książkę „*Album gatunków z rodzaju Nicotiana; Album of Nicotiana species*” dla **prof. dr hab. Teresy Doroszewskiej, mgr Anny Depty, dr Anny Czubackiej** z rekomendacji Komitetu Uprawy Roślin PAN

Wyróżniona dyplomem uznania im. M. Oczapowskiego książka, licząca 370 stron powstała na podstawie kolekcji gromadzonej przez ponad 80 lat w puławskim Instytucie. zawiera zdjęcia i opisy morfologiczne 72 dzikich gatunków *Nicotiana*, 12 odmian botanicznych *N. rustica*, 9 odmian botanicznych *N. tabacum* i 4 odmian botanicznych *N. bigelovii*. Ponadto prezentuje formy autotetraploidalne 7 gatunków, uzyskane w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. Książka napisana jest w języku polskim i angielskim, co podnosi jej znaczenie międzynarodowe.

Bibliografia obejmuje 157 pozycji literaturowych. Album podsumowujący kilkupokoleniowy dorobek naukowy pracowników może stanowić cenne źródło informacji o rodzaju *Nicotiana* dla rolników, ogrodników, hodowców, genetyków, botaników, fizjologów oraz studentów kierunków rolniczych i biologicznych.

2. za książkę „*Ochrona przyrody*” dla **prof. dr hab. Jerzego Wiśniewskiego i dr hab. Dariusza J. Gwiazdowicza** z rekomendacji Komitetu Nauk Leśnych PAN

Książka jest oryginalną, obszerną monografią z zakresu szeroko pojętej ochrony przyrody, krajobrazu oraz innych zagadnień z tym związanych. To obszernie napisane dzieło liczy 399 stron tekstu wraz z 168 stron barwnych wkładek z rycinami, 11 stron wykazu literatury obejmującego 269 pozycji cytowanych prac oraz 36 stron dwóch indeksów: nazwisk oraz nazw rodzajowych i gatunkowych roślin i zwierząt w języku polskim i łacińskim.

Publikacja ta jest najobszerniejszą monografią na temat ochrony przyrody w Polsce wydaną w ostatnich latach.

Nagrody za prace badawcze

Dyplom Uznania I Nagroda

1. „*Badania nad identyfikacją flawonoidów i ich rolę w procesach obronnych roślin*” dla **dr hab. Piotra Kachlickiego, prof. IGR PAN, dr Doroty Muth, prof. dr hab. Macieja Stobieckiego, dr hab. Pawła Krajewskiego, prof. IGR PAN, dr. Michała Jasińskiego, dr. Łukasza Marczaka** z rekomendacji Komitetu Fizjologii, Genetyki i Hodowli Roślin PAN

Przedstawiono do wyróżnienia 6 prac, które zostały opublikowane w czasopiśmie międzynarodowych. Opracowano metody analiz flawonoidów występujących w badanych tkankach roślin oraz określono zmiany profili tych związków u różnych roślin strączkowych (łubin wąskolistny, *Lupinus angustifolius*, oraz roślina modelo-

wa *Medicago truncatula* pod wpływem infekcji przez grzyby chorobotwórcze *Colletotrichum lupini* oraz *Phoma medicaginis*.

Opracowane przez zespół metody analizy flawonoidów w tkankach roślinnych oparte na HPLC/MS dotyczyły:

- identyfikacji wzoru glukozyzacji i malonyzacji flawonoidów na podstawie analizy jonów (M+Na)⁺;
- metody analizy UPLC/MS flawonoidów u łubinu;
- metody analizy glukuronianów flawonoidów;
- opracowano metodę analizy antocjanin opartą na spektrometrii mas z jonizacją MALDI;
- określono przebieg zmian profili związków flawonolowych u *Medicago truncatula* i *Lupinus angustifolius* w wyniku infekcji przez grzyby chorobotwórcze.

Dyplomy uznania

1. „Regulacja równowagi redoksowej w tkankach asymilacyjnych liści” dla **dr Marty Libik-Konieczny, prof. dr hab. Zbigniewa Miszalskiego, dr hab. Ewy Niewiadomskiej, prof. IFR PAN, dr Ireneusza Ślesaka, prof. dr Stanisława Karpińskiego, mgr Piotra Rozpondka** z rekomendacji Komitetu Fizjologii, Genetyki i Hodowli Roślin PAN

Wyróżnione wyniki badań zostały opublikowane w pięciu publikacjach ogłoszonych w latach 2008–2009 w bardzo dobrych czasopismach naukowych z zakresu fizjologii i biologii roślin. Większość prac przedstawionych do wyróżnienia dotyczy zagadnień związanych z oddziaływaniem czynników środowiskowych o natężeniu stresowym, poziomem reaktywnych form tlenu oraz enzymów antyoksydacyjnych u *Mesembryanthemum crystallinum* (kryształki lśniące) rośliny o przejściowym metabolizmie fotosyntezy C₃-CAM.

W badaniach wykazano, że pod wpływem bodźca stresowego wzmożone generowanie reaktywnych form tlenu, w tym głównie nadtlenu wodoru, jest nieodłącznym elementem towarzyszącym przekształceniu metabolizmu C₃-CAM. Ponadto autorom udało się wykazać, że katalaza, jeden z kluczowych enzymów antyoksydacyjnych, ma u tej rośliny nietypowo wysoką masę cząsteczkową (320 kDa) w porównaniu do innych roślin oraz wykazuje wysoką oporność na działanie czynników denaturujących. Stwierdzono ponadto postranskrypcyjną regulację aktywności katalazy związaną ze zmianą stabilności tego białka. Okazało się, że wzrost stabilności katalazy przebiega równoległe ze wzrostem intensywności światła niezależnie od typu fotosyntezy, co wskazuje na jej uniwersalną rolę w kontrolowaniu przemian związanych z asymilacją CO₂, co ma kluczowe znaczenie dla produktywności roślin.

Wyniki badań zespołu mają przede wszystkim znaczenie poznawcze i wnoszą wiele cennych danych do współczesnej biologii roślin, tym niemniej należy podkreślić, że poznanie mechanizmów regulacji procesu fotosyntezy, w tym zmian w procesie wiązania dwutlenku węgla, ma bezpośredni związek z plonowaniem roślin.

2. **„Wpływ składników diety na procesy fizjologiczne przewodu pokarmowego drobiu” dla prof. dr hab. Jana Jankowskiego, prof. dr hab. Zenona Zduńczyka, dr hab. Jerzego Juśkiewicza, prof. IRZiBŻ PAN, mgr inż. Agaty Lecewicz, prof. dr hab. Heinza Jerocha, dr inż. Bogdana Słomińskiego, dr inż. Krzysztofa Kozłowskiego z rekomendacji Komitetu Nauk Zootechnicznych PAN**

Prace zostały opublikowane w anglojęzycznych czasopismach naukowych znajdujących się na liście filadelfijskiej, o IF od 0,373 do 1,668 i dotyczą fizjologicznego oddziaływania bioaktywnych składników mieszanek paszowych na funkcjonowanie przewodu pokarmowego indyków i kurcząt oraz na aktywność mikroflory zasiedlającej przewód pokarmowy. Aktywność mikroflory była oceniana na podstawie pomiarów aktywności enzymów bakteryjnych oraz stężenia metabolitów fermentacji bakteryjnej w treści jelit ślepych.

W przedstawionym cyklu 8 prac scharakteryzowano fizjologiczne właściwości różnych źródeł oligo- i polisacharydów oraz fitozwiązków, w tym alkaloidów, a uzyskane wyniki wnoszą wiele cennych i nowych informacji do nauk o żywieniu drobiu. Cenne są zwłaszcza informacje dotyczące wpływu różnych dodatków paszowych na funkcjonowanie przewodu pokarmowego i aktywność fermentacyjną mikroflory u indyków żywionych mieszankami złożonymi z pasz roślinnych. Indyki, zwłaszcza w pierwszych tygodniach życia, są szczególnie wrażliwe na niekorzystne warunki środowiska i szybka stabilizacja mikroflory przewodu pokarmowego decyduje o zdrowiu ptaków i bezpieczeństwie produktów wytworzonych z ich mięsa dla konsumentów. Po wprowadzeniu zakazu stosowania antybiotykowych stymulatorów wzrostu wybór optymalnych, nie antybiotykowych dodatków paszowych jest kluczowy dla dalszego funkcjonowania przemysłu drobiarskiego. Z tego względu przedstawione prace mają też duże znaczenie dla praktyki zootechnicznej, wskazując nowe możliwości sterowania procesami trawienia w przewodzie pokarmowym ptaków.

Wartościowe wyniki badań są efektem dobrej współpracy kilku ośrodków: Katedry Drobiarstwa UWM w Olsztynie, Instytutu Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN w Olsztynie (zespół prof. Z. Zduńczyka) oraz współpracowników z Uniwersytetu Marcina Lutra w Halle-Wittenberg (prof. H. Jeroch) i kanadyjskiego Uniwersytetu w Winnipeg (dr B. Słomiński).

*Czł. rzecz. PAN Adolf Horubala
Przewodniczący Komisji Nagród Naukowych
Wydziału V PAN*

Spis treści

Gospodarowanie wodą w rolnictwie w różnych warunkach środowiskowych

Wprowadzenie — E. Pierzgalski	5
Prof. dr hab. inż. Jerzy Ostromecki, dr h.c. 1909–1988 — E. Pierzgalski . . .	9
Z. Pijanowski — Rozwój obszarów wiejskich w Polsce w aspekcie polityki rolnej.	11
J. Mosiej, E. Pierzgalski, J. Jeznach — Współczesne uwarunkowania gospodarowania wodą w obszarach wiejskich	25
E. Kaca, L. Łabędzki, I. Lubbe — Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych	37
Cz. Rzekanowski, J. Żarski, S. Rolbiecki, T. Zubala — Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę.	51
A. Mazur, M. Patro, R. Rybicki, T. Węgorek — Gospodarowanie wodą w krajobrazie wyżynnym	65
K. Nyc, R. Pokładek — Gospodarowanie wodą w obszarach dolinowych . .	79
K. Ostrowski, W. Rajda, T. Kowalik, W. Kanownik, A. Bogdał — Hydrochemiczne uwarunkowania realizacji programu małej retencji na terenach górskich i podgórskich.	91
M. Gregorczyk, B. Jaroszewicz, T. Okruszko, S. Ignar — Wpływ wielkości zalewów na zachowanie lasów łęgowych	99

* * *

M. Świątek, M. Lewandowska, W. Bednarski — Znaczenie doboru metody wstępnej obróbki substratów lignocelulozowych z uwzględnieniem wydajności produkcji bioetanolu	109
M. Świątek, M. Lewandowska, W. Bednarski — Doskonalenie procesów biotechnologicznych stosowanych w produkcji etanolu II generacji z surowców lignocelulozowych	121
R.K. Pisarski, E.R. Grela, A. Lipiec — Przydatność i bezpieczeństwo roślin transgenicznych (GMO) w żywieniu zwierząt	133

Kronika

Nagrody naukowe Wydziału Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN za rok 2010 — A. Horubała	147
---	-----

Contents

Water management in agriculture under differentiated environmental conditions

Introduction — E. Pierzgalski	5
Prof. dr hab. inż. Jerzy Ostromęcki, dr h.c. 1909–1988 — E. Pierzgalski . . .	9
Z. Pijanowski — Rural areas development in Poland in the context of agricultural policy.	11
J. Mosiej, E. Pierzgalski, J. Jeznach — Contemporary issues of water management in rural areas	25
E. Kaca, L. Łabędzki, I. Lubbe — Agricultural water management in view of extreme weather phenomena	37
Cz. Rzekanowski, J. Żarski, S. Rolbiecki, T. Zubala — Requirements, results and perspectives of plant irrigation on the areas characterized by distinct water deficits	51
A. Mazur, M. Patro, R. Rybicki, T. Węgorek — Water management in the upland landscape	65
K. Nyc, R. Pokładek — Water management on the valley areas.	79
K. Ostrowski, W. Rajda, T. Kowalik, W. Kanownik, A. Bogdał — Hydrochemical conditionings for realization of small retention programme on mountain and submontane areas	91
M. Gregorczyk, B. Jaroszewicz, T. Okruszko, S. Ignar — Effect of flooding on the alluvial forests	99

* * *

M. Świątek, M. Lewandowska, W. Bednarski — Importance of selecting lignocellulosic substrate pretreatment method with regard to bioethanol production efficiency	109
M. Świątek, M. Lewandowska, W. Bednarski — The improvement of biotechnological processes applied in production of second generation ethanol from lignocellulosic raw materials	121
R.K. Pisarski, E.R. Grela, A. Lipiec — The usefulness and safety of transgenic plants (GMO) in animal nutrition.	133

Chronicle

Scientific awards granted in 2009 by Division V – Agricultural, Forestry and Veterinary Sciences, Polish Academy of Sciences — A. Horubała	147
---	-----