

ANDRZEJ KĘDZIORA, MAŁGORZATA KEPIŃSKA-KASPRZAK,
PIOTR KOWALCZAK, ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ, ANTONI T. MILER,
EDWARD PIERZGALSKI, TAMARA TOKARCZYK

Zagrożenia związane z niedoborem wody

1. Wstęp

Głównymi przyczynami powstawania susz są niekorzystne dla bilansu wodnego zakłócenia procesów meteorologicznych i hydrologicznych oraz zmiany strukturalne szaty roślinnej i pokrywy glebowej. W naturalnych warunkach struktura bilansu cieplnego i wodnego jest bardzo mało zmienna, a czynnikiem decydującym o niej jest charakter powierzchni ziemi, w tym szczególnie bogactwo szaty roślinnej i jej przestrzenna struktura (Kędziora, Olejnik 2002). Szybki rozwój cywilizacji i wzrost demograficzny doprowadziły w ostatnich wiekach do tak znacznej, niekorzystnej zmiany charakteru powierzchni ziemi, że nastąpiło silne zakłócenie dwóch podstawowych dla kształtowania tych bilansów procesów – przepływu energii i obiegu wody w krajobrazie, dające w ostatecznym efekcie pogorszenie warunków wodnych we wszystkich skalach przestrzennych.

Od wielu dekad obserwuje się pogorszenie bilansu wodnego w krajobrazie rolniczym wielu krajów europejskich. Surowy bilans wodny (różnica opadów i parowania potencjalnego) zależy głównie od warunków klimatycznych. Natomiast jego struktura w skali krajobrazu zależy od wielu czynników, w tym szczególnie od właściwości wodnych gleby i struktury krajobrazu. Intensywna działalność rolnicza doprowadziła do uproszczenia struktury krajobrazu (monokultury) i degradacji gleby. Objawia się to szczególnie zamianą stabilnych ekosystemów, takich jak lasy i łąki, w ekosystemy niestabilne, szczególnie pola uprawne. Intensyfikacja rolnictwa doprowadziła do zubożenia krajobrazu w elementy kontrolujące obieg wody w krajobrazie i obniżenia zdolności retencyjnych gleby. W skali całego kraju wskutek odwodnień utracono znaczną część obszarów wodno-błotnych, które efektywnie regulowały odpływ. Niekorzystnej zmianie

Prof. dr hab. Andrzej Kędziora, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań;
dr Małgorzata Kepińska-Kasprzak, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, Poznań;
dr hab. inż. Piotr Kowalczak, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań;
prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz, członek korespondent PAN, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań;
prof. dr hab. Antoni T. Miler, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Inżynierii Leśnej;
prof. dr hab. Edward Pierzgałski, Szkoła Wyższa Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Kształtowania Środowiska, Warszawa;
dr Tamara Tokarczyk, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, Wrocław

uległa struktura użytków rolnych, w których zbyt mały udział mają użytki zielone. Użycie ciężkich maszyn rolniczych spowodowało nadmierne zagęszczenie gleby, a nadmierne stosowanie sztucznych nawozów doprowadziło do zubożenia gleby w materię organiczną. To wszystko doprowadziło do niekorzystnych zmian w strukturze bilansu wodnego. Zmalała zdolność krajobrazu do retencjonowania wody, a wzrosło tempo odpływu powierzchniowego. Tym samym zmalała rola gleby w przeciwdziałaniu powstawania i długości trwania suszy. Efektem tych niekorzystnych dla funkcjonowania krajobrazu zmian jest wzrost częstości susz oraz czasu ich trwania.

Odrębnego omówienia wymagają tereny zalesione, bowiem bilans wodny zbiorowiska leśnego jest istotnie odmienny niż np. obszaru użytkowanego rolniczo (Suliński 1993). W szczególności mokradła, np. lasy łąkowe, należą do najbogatszych pod względem różnorodności biologicznej ekosystemów leśnych. Jednocześnie są to obszary najbardziej wrażliwe na prognozowane niekorzystne zmiany klimatyczne. Susza w lasach generalnie prowadzi do obniżenia wilgotności gleby i ściółki leśnej, obniżenia lustra wód powierzchniowych i gruntowych, zmniejszenia przyrostu drzewostanów i odporności na patogeny i witalności drzewostanów, a także zwiększenia ryzyka pożarów (Miler 2008, 2013). Zagrożenia wynikające z niedoborów wody są przyczyną wielu niekorzystnych zjawisk zachodzących w środowisku przyrodniczym, w gospodarce i w funkcjonowaniu społeczności ludzkiej. Susze powodują straty ekonomiczne, pogorszenie warunków życia i zdrowia ludności, ale także degradację funkcji ekosystemów.

2. Skala przestrzenno-czasowa zjawiska suszy

Termin „susza” obejmuje szeroki zakres zjawisk związanych z niedoborem wody. Choć jest to zjawisko powszechne o wymiarze fizycznym i społecznym, nie ma jednej obowiązującej definicji suszy. Wyróżnia się:

- suszę meteorologiczną, określaną jako okres, w którym dopływ wilgoci do danego obszaru spada poniżej stanu normalnego w danych warunkach klimatycznych uwilgotnienia (niskie opady i wysokie parowanie – duże ujemne wartości klimatycznego bilansu wodnego),
- suszę glebową lub rolniczą, definiowaną jako okres, w którym wilgotność gleby jest niedostateczna do zaspokojenia potrzeb wodnych roślin i prowadzenia normalnej gospodarki w rolnictwie,
- suszę hydrologiczną, podczas której przepływy w rzekach i stany w jeziorach spadają poniżej wartości średnich, a także obserwuje się znaczne obniżenie poziomu wód podziemnych,
- suszę w sensie gospodarczym, będącą skutkiem wymienionych procesów fizycznych, odnoszącą się do zagadnień ekonomicznych w obszarze działalności człowieka dotkniętym suszą.

Mimo tak różnych definicji, ocena suszy koncentruje się głównie na określeniu: fazy suszy (meteorologiczna, glebowa czy hydrologiczna), kroku czasowego oceny zjawiska (dzień, dekada, miesiąc, sezon, rok, kilka lat), metody wydzielenia okresów suszy z serii danych oraz określenia zasięgu suszy (regionalny, lokalny).

Susze stały się częstsze, bardziej głębokie i bardziej długotrwałe w wielu regionach świata (Dai i in. 2004). W okresie 1951-2006 największe susze atmosferyczne w Polsce odnotowano w latach: 1951, 1953, 1954, 1963, 1964, 1969, 1976, 1982, 1983, 1984, 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 2000, 2002, 2003, 2005, 2006. Susza, która objęła największy obszar Polski (95%), wystąpiła w 1969 roku, a najdłużej trwające okresy suszy wystąpiły w latach 1951-1956 oraz 1980-1985. Rejony Polski najczęściej nawiedzane przez susze to: Wielkopolska i Kujawy. Poza tym susze występują na Nizinie Śląskiej, Podgórzu Sudeckim oraz Nizinach – Mazowieckiej i Podlaskiej. Susze atmosferyczne najczęściej występowały w marcu oraz od czerwca do września. Początek susz atmosferycznych następował najczęściej w okresie wiosenno-letnim. Przebieg warunków atmosferycznych decydował o głębokości i zasięgu obszarowym tego zjawiska (Farat i in. 1995).

Susze hydrologiczne są konsekwencją wystąpienia susz atmosferycznych. Szczególną rolę w gospodarowaniu wodą odgrywają niżówki. Niżówki należy traktować, jako podstawowy objaw suszy hydrologicznej. Istnieje kilka używanych w Polsce definicji niżówek. Według Lambora to przepływy (stany) niższe od najwyższej wartości z minimum rocznych w ciągu wieloletnim (Lambor 1951). Według definicji przyjętej przez Farata i in. (1995) i zastosowanej w licznych analizach na obszarze całego kraju jest to ciąg przepływów codziennych o wartościach niższych od wyznaczonego przepływu granicznego trwający co najmniej 20 dni. Niekorzystne jest, gdy zimą zmniejsza się stosunek sumy opadów stałych do sumy opadów ciekłych. W efekcie czas retencji wody w zlewni ulega zmniejszeniu i okres wegetacyjny rozpoczyna się przy mniejszej retencji glebowej i powierzchniowej, co potęguje negatywne oddziaływanie na wegetację braków wody w okresie susz wiosennych. Konsekwencją suszy jest też zmniejszenie się produkcji rolnej, co w aspekcie ekonomicznym może być przyczyną wzrostu cen.

3. Przyczyny i mechanizmy powstawania suszy

Susze generowane są przez zjawiska meteorologiczne zarówno w skali globalnej, jak i regionalnej. Do zjawisk globalnych zalicza się wielkoskalowe procesy zachodzące na granicy ocean-atmosfera oraz globalną cyrkulację atmosferyczną, która determinuje rozkład stref klimatycznych. Wśród regionalnych wymienić można anomalie lokalizacji centrów ośrodków barycznych i dróg przemieszczania się cyklonów oraz powtarzanie się pewnych szczególnie sprzyjających powstawaniu suszy sytuacji synoptycznych, które wpływają na czas wystąpienia zjawisk sezonowych.

3.1. Przyczyny hydrometeorologiczne

Zagrożenie suszami w Polsce wynika m.in. ze stosunkowo niskich (zwłaszcza w paśmie Niżu Polskiego, (Kleczkowski 1991, Paślawski 1992) sum opadów atmosferycznych i ich dużej zmienności w czasie. Jednak nie tylko wysokość opadów w danym okresie decyduje o pojawieniu się suszy. Istotną rolę odgrywa wysokość opadów przed okresem suszy. Drugim ważnym czynnikiem jest zdolność atmosfery do wchłaniania pary wodnej, określana jako zdolność ewaporacyjna powietrza. Zależy ona od temperatury i prężności pary wodnej w powietrzu. Przy niskich opadach i małym niedosycie wilgotności powietrza może nie wystąpić susza.

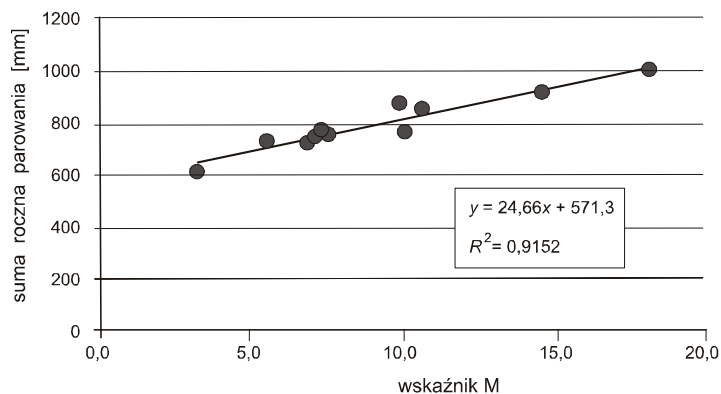
W ostatnich dekadach lat znacznemu pogorszeniu uległa struktura bilansu wodnego zlewni. Zależy ona głównie od dwóch grup czynników:

- warunków meteorologicznych, decydujących o parowaniu oraz zmienności i rozkładzie opadów atmosferycznych, które są elementem nieciągłym zarówno w czasie, jak i w przestrzeni;
- cech fizjograficznych zlewni (nachylenie powierzchni, gęstość i rodzaj pokrywy roślinnej, przepuszczalność i chłonność pokrywy glebowej), które decydują o wielkości odpływu i jego podziale na odpływ gruntowy i powierzchniowy, i które wpływają także na proces parowania;
- wpływu działania człowieka.

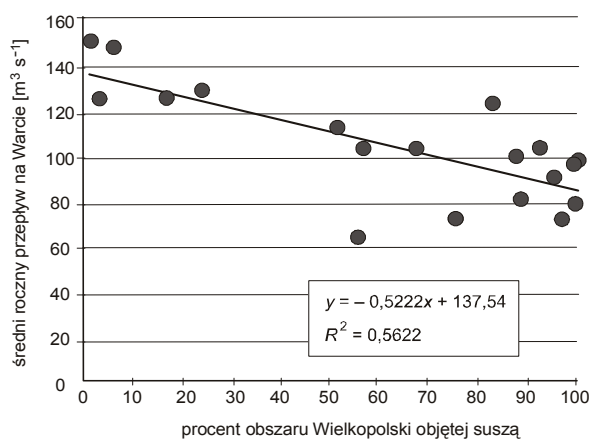
Z elementów meteorologicznych wpływających na wielkość ewapotranspiracji najważniejsze są te, które decydują o ilości energii dostępnej na parowanie (saldo promieniowania), i te, które określają zdolność ewaporacyjną powietrza, czyli temperatura powietrza, prędkość wiatru i niedosyt. Elementy te oddziałują na proces parowania synergicznie, a ilościowym wskaźnikiem ich oddziaływania jest ich iloczyn DVR ($DVR = \text{iloczyn niedosytu wilgotności powietrza} \times \text{prędkości wiatru} \times \text{saldo promieniowania}$). Zależność rocznych sum parowania od tego wskaźnika wykazuje bardzo silną korelację (ryc. 1). Projekcje klimatyczne wskazują na wzrost prędkości wiatru, niedosytu wilgotności powietrza i salda promieniowania oraz niezmienności opadów. Należy się spodziewać pogarszania się struktury bilansu wodnego małych zlewni i wzrostu okresów z małymi przepływami, a nawet z ich zanikiem.

Na tle warunków wodnych całego kraju obszar Wielkopolski rysuje się szczególnie niekorzystnie. Jeżeli dla całego kraju współczynnik odpływu wynosi 0,28, to dla zlewni Warty wynosi on tylko 0,23. Najgorsze warunki wodne panują w samym centrum Wielkopolski. W zlewni Mogilnicy współczynnik odpływu wynosi zaledwie 0,146.

Największe ryzyko suszy występuje w centralnej i północno-wschodniej Wielkopolsce. Występowanie suszy wielkoobszarowej w danym roku powoduje silne zmniejszenie przepływu w rzekach w roku następnym (ryc. 2).



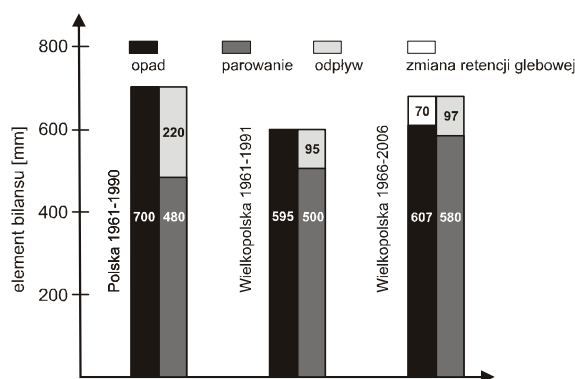
Ryc. 1. Zależność sumy rocznej parowania od wskaźnika $M = DVR/100$. Oznaczenia: D – niedosyt wilgotności powietrza [hPa], V – prędkość wiatru [ms^{-1}], R – saldo promieniowania [Wm^{-2}] (średnie roczne wartości elementów). Turew, Wielkopolska, 1996-2006



Ryc. 2. Zależność średniego rocznego przepływu na Warcie w Poznaniu od wielkości obszaru Wielkopolski objętej suszą w roku poprzednim

W okresie ostatnich kilkunastu lat obserwuje się szczególnie duże zmiany warunków meteorologicznych. Szybki wzrost średniej rocznej temperatury powietrza, któremu towarzyszył wzrost niedosytu wilgotności powietrza, prędkości wiatru i usłonecznienia, spowodował znaczny wzrost parowania terenowego w Wielkopolsce. Parowanie z wolnej powierzchni wody we wszystkich 11 latach w okresie 1996-2006 przewyższało sumy opadów. Sumy roczne parowania wzrosły w tym czasie od 600 mm roku 1996 (średnia roczna temperatura 8°C) do 1000 mm w roku 2006 (średnia roczna temperatura 10°C). Efektem tak silnego parowania było obniżenie się poziomu wody w jeziorach o prawie 1 metr, poziomu wód gruntowych o około 3-4 metrów i okresowy zanik prze-

plywu w małych ciekach. W Wielkopolsce w okresie 1996-2006 nastąpiła bardzo niekorzystna zmiana struktury bilansu wodnego (ryc. 3) w stosunku do okresu 1961-1991.



Ryc. 3. Struktura surowego bilansu wodnego w wieloleciu 1961-1991 i 1996-2006

Odpływ średni roczny w tym okresie pozostał prawie bez zmian, dzięki zwiększonemu odpływowi w okresie chłodnym, ale parowanie wzrosło o 80 mm, a opady o zaledwie 12 mm. Efektem tego było zmniejszenie retencji glebowej o 70 mm. Bardzo niekorzystnym zjawiskiem dla rolnictwa jest zmniejszenie się stosunku opadów letnich do zimowych. Oznacza to, że przyrost rocznej sumy opadów będzie wynikiem ich wzrostu głównie w okresie zimowym. To zjawisko można nazwać procesem mediteranizacji. Oznacza to, że problem odnowienia retencji wodnej gleby będzie się nasilał, gdyż zimowe, przeważnie ciekłe, a nie stałe opady będą w większości spływać po powierzchni gruntu lub wyparowywać w wyniku wzrostu temperatury i zdolności ewaporacyjnej powietrza. Niewiele pozostanie w glebie, jako pozimowe zapasy wody, które obecnie są zasadniczym elementem łagodzącym wiosenne susze klimatyczne.

3.2. Przyczyny natury antropogenicznej

Intensywny rozwój cywilizacyjny i wzrost demograficzny spowodowały niekorzystne przemiany krajobrazu będące rezultatem działalności człowieka. Nastąpiły niezwykle szybkie zmiany struktury użytkowania ziemi, a szczególnie zamiana stabilnych ekosystemów, takich jak lasy, łąki i mokradła, w ekosystemy niestabilne, szczególnie pola uprawne. To doprowadziło do dużych i szybkich zmian w strukturze bilansu cieplnego i wodnego całego kraju. Zubożenie szaty roślinnej wpłynęło na strukturę bilansu cieplnego, wywołując spadek natężenia strumienia ciepła utajonego z obszarów lądowych (mniejsze parowanie), co z kolei spowodowało duży wzrost temperatury powietrza i silną adwekcję ciepła nad obszary wodne. Nadmiar ciepła wzmógł parowanie z powierzchni wodnej i mokradeł. Wywołany zubożeniem szaty roślinnej spadek parowania tere-

nowego spowodował nie tylko generalny wzrost odpływu z terenu zlewni, ale także zmianę struktury czasowej przepływów w ciekach.

Szczególnie wiele niekorzystnych zmian w strukturze bilansu wodnego krajobrazu spowodowała działalność rolnicza i błędy w gospodarce wodnej. Uproszczenie struktury krajobrazu rolniczego – zwiększenie powierzchni pól uprawnych, likwidacja nieproduktywnych elementów krajobrazu, takich jak miedze, zadrzewienia śródpolne, zakrzaczenia, oczka polodowcowe, pasma łąk, spowodowało zwiększenie ilości i szybkości spływu powierzchniowego, zmniejszenie ilości wody wsiąkającej w glebę i w efekcie pogorszenie struktury bilansu wodnego, a szczególnie powierzchniowej retencji wodnej krajobrazu. Z kolei pogarszanie się struktury gleby w wyniku utraty materii organicznej i używania ciężkiego sprzętu powodującego zagęszczenie podornych warstw gleby prowadzi do zmniejszenia zdolności retencyjnej gleby.

Wzrost udziału powierzchni utwardzonych w ogólnej powierzchni zlewni – wzrost powierzchni dróg, parkingów, powierzchni nieprzepuszczalnych w terenach zabudowanych zmniejsza ilości wody wsiąkającej w glebę, a zwiększa spływu powierzchniowego i skraca czas od opadu do wezbrania w rzece. W efekcie obserwuje się zmniejszenie zasobów wodnych gleby i wzrost prawdopodobieństwa i intensywności hydrologicznych zjawisk ekstremalnych.

Zagrożenie suszami w Polsce wynika także z przewagi systemów melioracyjnych o charakterze odwadniającym, które ułatwiają odpływ nadmiaru wód, powodując ich nieodwracalną utratę oraz sprzyjają pogłębieniu suszy glebowej w okresach bezdeszczowych, a także z bardzo niskiej zdolności magazynowania wody w Polsce. W zbiornikach retencyjnych można zmagazynować tylko 6% średniego rocznego odpływu. Na przepływy niżówkowe w rzece mogą się nałożyć czynniki antropogeniczne zmniejszające zasoby dyspozycyjne, a zwłaszcza znaczne pobory wody. Rozpatrując przyszłe potrzeby stawiane przed gospodarką wodną, należy również uwzględnić plany perspektywiczne zagospodarowania przestrzennego, gdyż istotne zmiany w kierunkach zagospodarowania mogą w znaczący sposób wpłynąć na zmianę wielkości i struktury przepływów najniższych. Negatywne skutki susz zależą nie tylko od natężenia zjawiska, ale w dużej mierze od zaludnienia obszaru nim dotkniętego, gospodarki i używanych technologii, sposobu użytkowania ziemi i zasobów wodnych, stopnia rozwoju ekonomicznego itp.

4. Główne zagrożenia związane z niedoborem wody

Negatywne skutki susz można podzielić na trzy grupy: skutki środowiskowe, ekonomiczne i społeczne.

Skutki środowiskowe: obniżenie poziomu wód powierzchniowych i podziemnych, spadek wielkości przepływów (spadek poniżej poziomu nienaruszalnego stanowi zagrożenie dla organizmów żyjących w wodzie), wzrost stężenia zanieczyszczeń wód po-

wierzchniowych, wysychanie obszarów podmokłych, wzrost ilości i zasięgu pożarów, wzrost natężenia defoliacji, utrata biologicznej różnorodności krajobrazu, pogorszenie się kondycji zdrowotnej drzewostanów oraz pojawienie się szkodników i chorób drzew.

Skutki ekonomiczne: straty w produkcji rolnej, leśnej i zwierzęcej oraz w rybołówstwie, wyższe koszty produkcji żywności, niższa produkcja energii w elektrowniach wodnych, straty w dochodach z turystyki i transportu wodnego, kłopoty z zaopatrzeniem w wodę dla przemysłu energetycznego oraz dla procesów technologicznych w hutnictwie, górnictwie, przemyśle chemicznym, papierniczym, drzewnym, spożywczym itd., zakłócenia dostaw wody dla gospodarki komunalnej.

Skutki społeczne: negatywny wpływ na zdrowie ludzi narażonych bezpośrednio (fale upałów często towarzyszące suszom), możliwe ograniczenie dostępu do wody i wzrost jej zanieczyszczenia, wysokie koszty żywności, stres wywołany przez utratę plonów itp.

4.1. Zagrożenia dla produkcji rolniczej i leśnej

Plony roślin rolniczych w Polsce są znacznie niższe niż w wielu krajach Europy Środkowej, sięgając 54,9% średnich plonów w UE-15 (roczniki statystyczne 2005, 2006, 2007). Na różnice plonów bardzo duży wpływ ma stosowana technologia uprawy, ale także naturalne właściwości siedlisk rolniczych, w tym warunków wodnych, które są funkcją opadów atmosferycznych i retencji wodnej gleb. Stosunkowo duży udział gleb lekkich (60,8% w Polsce, wobec 31,8% w UE-15) (Harasim 2006) oraz relatywnie małe sumy opadów atmosferycznych, przy coraz większej ich zmienności, czynią produkcję rolną w Polsce bardzo niestabilną. Według Fabera (2002), na podstawie monitoringu CGMS, stosowanego w Europie do prognozowania plonów, oraz modelu WOFOST, stosowanego do symulowania wzrostu i rozwoju roślin, plony potencjalne w Polsce są ograniczone niedoborami wodnymi w 46,9% w uprawie pszenicy, w 42,9% w uprawie jęczmienia jarego oraz w 60% rzepaku ozimego i 58,9% ziemniaków.

Ekosystemy rolnicze w Polsce są, przynajmniej potencjalnie, dobrze zaopatrzone w energię; promieniowanie słoneczne jest wykorzystywane przez rośliny tylko w kilku procentach. Czynnikiem limitującym wielkość produkcji roślinnej jest zaopatrzenie w wodę. Coraz częściej braki wody występują na terenie Polski, a szczególnie na obszarach położonych na Niżu Polskim. Niezbędna intensyfikacja rolnictwa, przy jednoczesnym zmniejszaniu się areалу gruntów użytkowanych rolniczo (Nietupski 1995, Jankowiak 2005), spowoduje wzrost zapotrzebowania na wodę.

Wielkość deficytów wodnych w lata suche waha się na glebach lekkich od 36 do 56 mm. W lata bardzo suche i skrajnie suche, w których suma opadów wynosi odpowiednio 62% i 50% opadów normalnych deficyty wodne wahają się od 29 mm (w lata bardzo suche na glebach cięższych) do 169 mm (w lata skrajnie suche na glebach najlżejszych) (tab. 1), (Kędziora 2003).

Tabela 1. Deficyty wodne na gruntach ornym w okresie IV i IX w zlewni Wyskoci w okolicach Turwi, w Wielkopolsce

Klasa terenu	Grupy gleb	Rn	ETR	Opad (P) w lata:				Retencja	
				normalne	suche 82% normy	bardzo suche 62% normy	skrajnie suche 50% normy	Rc	Ru
1	Pl, pl.ps, pl:ps, ps.pl,	88	415	365	299	226	186	60	35
2	ps, ps:pl, ps:gl	90	415	365	299	226	186	80	45
3	ps.gl, pgl.gl, pgl:gl	93	415	365	299	226	186	120	65
4	pgm.gl, pgm:gl	95	415	365	299	226	186	160	80
		P + Rc w lata:				P + Rc-ETR w lata:			
		normalne	suche	bardzo suche	skrajnie suche	normalne	suche	bardzo suche	skrajnie suche
1	Pl, pl.ps, pl:ps, ps.pl,	425	359	286	246	10	-56	-129	-169
2	ps, ps:pl, ps:gl	445	379	306	266	30	-36	-109	-149
3	ps.gl, pgl.gl, pgl:gl	485	419	346	306	70	4	-69	-109
4	pgm.gl, pgm:gl	525	459	386	346	110	44	-29	-69

Rn – saldo promieniowania [$W m^{-2}$], ETR – ewapotranspiracja rzeczywista, [mm], P – opad [mm], Rc – retencja całkowita [mm], Ru – retencja użyteczna [mm], pl – piasek luźny, ps – piasek słabogliniasty, pgl – piasek gliniasty lekki, pgm – piasek gliniasty mocny

Skutki poszczególnych rodzajów suszy (klimatycznej, glebowej i hydrologicznej) w lasach zależą od rozkładu, wielkości i intensywności opadów i temperatury powietrza, lokalnych warunków morfologicznych, glebowych, hydrogeologicznych oraz stanu lasu i sposobu jego użytkowania (Pierzgalski i Jeznach 2006, Pierzgalski i in. 2012). Zjawisko suszy potęgowane jest przez wzrost potrzeb wodnych lasu m.in. wskutek zmian warunków hydrotermicznych. Zakłócenie warunków hydrotermicznych często skutkuje

osłabieniem funkcji życiowych drzew, a ich następstwem jest rozwój chorób grzybowych i gradacji szkodliwych owadów. Wzrost temperatury przy jednoczesnym zwiększeniu zasobów drzewostanowych powoduje kurczenie się dyspozycyjnych zasobów wody w lasach, co przejawia się opadaniem wód gruntowych i zmniejszeniem odpływu w ciekach. Zjawiska takie obserwowano od początku lat osiemdziesiątych. Wystąpiły wówczas na terenie całej Polski serie lat o niskich opadach przy równocześnie podwyższonej temperaturze powietrza. W warunkach klimatycznych Polski tylko w wyjątkowych okolicznościach bezpośrednią przyczyną obumierania drzew jest susza. Takie zjawiska występują w formie klęsk ekologicznych. Ich przykładem, w których jednym z czynników inicjujących były susze osłabiające stan zdrowotny drzew, są klęski ekologiczne w Górach Izerskich w latach 80. ubiegłego wieku oraz w Beskidzie Śląskim po 2000 roku.

Kierunkowe zmiany klimatyczne i anomalie pogodowe stwarzają dogodne warunki do rozwoju grzybów patogenicznych i mają niewątpliwy wielostronny wpływ na występowanie i przebieg chorób infekcyjnych drzew leśnych oraz gradację szkodników owadzych.

Tereny leśne są głównym regulatorem stanu środowiska przyrodniczego kraju. Przy całościowej ocenie strat w lasach wywołanych zmianami parametrów klimatycznych należy brać pod uwagę świadczenia ekosystemów leśnych w ujęciu holistycznym, a więc nie tylko wartość lasu jako producenta drewna, co decyduje o stronie finansowej prowadzenia gospodarki leśnej, ale także trudne do wyceny pozaprodukcyjne funkcje pełnione przez las. Każde osłabienie funkcji życiowych drzewostanów powoduje zmniejszenie zakresu pełnionych funkcji pozaprodukcyjnych. Do najważniejszych z nich należą hydrologiczne funkcje lasu, ochrona gleb przed erozją, zachowanie bioróżnorodności, przeciwdziałanie skażeniom środowiska, cele społeczne. Wartość funkcji pozaprodukcyjnych wielokrotnie przewyższa zysk pochodzący z eksploatacji zasobów drewna. Szczególnie podatne na wpływ suszy są drzewostany świerkowe, które ze względu na duże potrzeby wodne i płaskie systemy korzeniowe, w wyniku pojawiających się susz klimatycznych i glebowych, masowo wypadają z drzewostanów.

4.2. Zagrożenia dla środowiska przyrodniczego

Niedobory wody grożą pogorszeniem się stanu ekosystemów lądowych i wodnych. Wynikiem rosnącej częstości pojawiania się susz jest z jednej strony narastające przesuszenie środowiska, a z drugiej coraz częstsze pożary lasów. Szczególnie niepokojące jest przekształcanie mokradłowych ekosystemów w wilgotne, a nawet suche. Pociąga to za sobą zanikanie ostoi wielu gatunków zwierząt, szczególnie płazów, i ubożenie biologicznej różnorodności. Pożary lasów to nie tylko strata materiału drzewnego, ale utrata siedlisk roślin i zwierzyny. Szczególnie cenne są stosunkowo nieliczne leśne obszary mokradłowe. Przykładowo lasy łęgowe stanowią w Polsce 0,2% powierzchni leśnych, a mogłyby potencjalnie zajmować 9%. Obszary te umożliwiają m.in. zachowanie bioróż-

norodności, tworzą korytarze migracji gatunków, przyczyniają się do samooczyszczania wód. Obszary mokradłowe są najbardziej wrażliwe na prognozowane niekorzystne zmiany klimatyczne. W celu podniesienia produktywności lasów rosnących na obszarach nadmiernie uwilgotnionych, w latach 1951-1991 zmeliorowano w Polsce ok. 845 tys. ha lasów (Wiśniewski 1996). Cel zwiększenia produktywności lasów przysłonił aspekt przyrodniczy. Zapomniano, że wszelkiego rodzaju bagna i siedliska podmokłe są ważnym elementem środowiska. Mokradła stanowią bowiem niepowtarzalne biotopy o bardzo dużej bioróżnorodności oraz pełnią rolę naturalnych zbiorników retencyjnych, posiadających zdolność oczyszczania wody (Pawlaczyk i in. 2001, Frydel 2008, Miler i in. 2008). Brak zalewów prowadzi do degradacji siedlisk łągowych – ich grądowienia, a w przypadku starorzeczy następuje przyspieszenie procesu zarastania i łądowienia. Ograniczanie stref zalewów poprzez budowę wałów przeciwpowodziowych oraz zmianę reżimu hydrologicznego wód rzecznych, np. przez budowanie dużych zbiorników retencyjnych, wpływa niekorzystnie na te ekosystemy. Przykładem może tu być unikatowy ekosystem w skali europejskiej – Uroczysko Warta – kompleks grądów i łągów jesionowo-wiązowych, z dużym udziałem starodrzewu, położonych na najniższej terasie rzeki Warty, z zachowanymi starorzeczami i typową dla nich roślinnością. Od chwili oddania do użytkowania zbiornika Jeziorsko (o pojemności ok. 200 mln m³) w 1987 roku, położonego powyżej tego kompleksu, odnotowuje się jedynie efemeryczne zalewy na tych łągach (Kamiński i in. 2011).

4.3. Zagrożenia dla ludności i gospodarki w aspekcie zmian w dostępności i jakości zasobów wodnych

Polska charakteryzuje się niskimi zasobami wodnymi, które plasują ją pod tym względem w końcówce państw europejskich. Niedobór lub brak wody w rzekach powodował kiedyś zakłócenia w żegludze i możliwości spławu drewna i barek z towarami. Wysychały studnie, które były podstawowym źródłem zaopatrzenia ludzi i inwentarza w wodę, zakłócona była praca młynów, tartaków itp. Obecnie, wraz z postępem i rozwojem technologii, wiele negatywnych skutków wynikających ze zbytniego obniżenia poziomu wody w rzekach przestało istnieć, jednak z punktu widzenia gospodarki susze hydrologiczne nadal mogą stanowić poważny problem zarówno dla konsumentów wody, jak również dla jej użytkowników (Kępińska-Kasprzak 2012).

Ocena zagrożenia suszą wymaga podejścia wielokryterialnego, uwzględniającego nie tylko elementy meteorologiczne i hydrologiczne, ale również aspekt społeczny i gospodarczy. Skutki długotrwałej suszy o dużym natężeniu obserwowane są w wielu dziedzinach życia, środowisku, ekonomii oraz życiu społecznym (tab. 2). Zagrożeniu suszą nie można zapobiec, ale dzięki zrozumieniu mechanizmów jej powstawania oraz określeniu warunków sprzyjających jej rozprzestrzenianiu się można ograniczać jej skutki.

Podczas niżówek mogą pojawić się zakłócenia dostaw wody dla poszczególnych konsumentów (gospodarki komunalnej, przemysłu, rolnictwa itd.). W sytuacji wystąpienia przepływów niżówkowych powyżej zbiornika wodnego może dojść do zbyt małego dopływu wody do zbiornika. W takiej sytuacji instrukcja gospodarowania wodą przewiduje konieczność podjęcia decyzji o kolejności zaspokajania potrzeb poszczególnych zakładów oraz możliwość ewentualnych ograniczeń w korzystaniu z zasobu wodnego (Rozporządzenie 2006). W przypadku bardzo głębokiej suszy atmosferycznej i hydrologicznej mogą pojawić się problemy z dostarczaniem wody odpowiedniej ilości i jakości dla gospodarki komunalnej lub nawet ograniczenia w jej dostarczaniu. Suszy hydrologicznej towarzyszy również niekorzystny wzrost stężenia zanieczyszczeń. W okresie przepływów niżówkowych rzeki prowadzą często wody silnie zanieczyszczone substancjami organicznymi i biogennymi, a często zasolone (Kępińska-Kasprzak 2012).

Tabela 2. Oddziaływanie suszy na różne dziedziny

Dziedzina	Oddziaływanie	
	bezpośrednie	pośrednie
Środowisko (ekologia)	wilgotność glebowa poziom wód podziemnych wydajność źródeł przepływ w rzekach odpływ całkowity poziom wód w jeziorach poziom wód w zbiornikach retencyjnych	jakość wód produkcja roślinna siedlisko gatunki zagrożone burze pyłowe pożary lasu
Gospodarka	pobór wód podziemnych pobór wód powierzchniowych odpływ ze zbiorników retencyjnych pobór wody przez rośliny	woda do nawadniania woda na cele bytowe nieurodzaj woda dla zwierząt hodowlanych nawigacja elektrownie żywność i pasza dla zwierząt wzrost gospodarczy
Społeczeństwo	woda do picia	konflikty użytkowników wód zatrudnienie klęska głodu ubóstwo zdrowie emigracja śmiertelność

5. Straty wynikające z niedoboru wody

W Polsce nie prowadzi się systematycznych ocen i całościowych analiz negatywnych skutków susz dla gospodarki kraju. W przypadkach dotkliwych susz atmosferycznych

i glebowych szacuje się straty poniesione przez gospodarkę głównie na podstawie spadku plonów. Szacunkowo ocenia się również niekorzystne skutki tych zjawisk w leśnictwie, przyjmując za podstawę m.in. ilość pożarów wywołanych przez susze, usychanie drzewek w młodnikach i szkółkach oraz wzrost ilości szkodników i chorób. Nie prowadzi się natomiast szerszych analiz strat gospodarczych wynikających z susz hydrologicznych (takich jak spadek dochodów z żeglugi transportowej i turystycznej, spadek produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wodnych itp.). Ubogie dane statystyczne, szczególnie z lat 1950-1970, nie pozwalają na ocenę wielkości strat ponoszonych przez gospodarkę narodową w wyniku kolejnych okresów susz.

Podczas długotrwałej i rozległej suszy w 1992 roku zanotowano w Polsce znaczny spadek produkcji rolnej i liczne pożary lasów, pokrywające dużą powierzchnię (m.in. Puszcza Notecka, Puszcza Raciborska). W wyniku ekstremalnej suszy w 2006 roku spadki średnich krajowych plonów niektórych upraw dochodziły aż do 30%. Susza w 2008 roku objęła swoim zasięgiem 2091 gmin (tj. 68% gmin Polski) oraz 58% gruntów ornych kraju. W czerwcu szczególnie niesprzyjające warunki dla upraw wystąpiły z powodu niskich opadów atmosferycznych, od 20 do 50% normy, przy jednocześnie wysokiej temperaturze powietrza, wyższej od wieloletniej o ok. 1-1,5°C, wysokich wartości usłonecznienia i niskiej wartości wilgotności względnej powietrza.

Szkody w lasach spowodowane suszami są znacznie trudniejsze do określenia w porównaniu do szkód spowodowanych silnymi wiatrami lub pożarami. Mogą one być oszacowane, jako bezpośrednie lub pośrednie. Z danych uzyskanych z różnych źródeł wynika, że w Lasach Państwowych szkody w wymiarze rzeczowym i straty w wymiarze finansowym w latach przeciętnych dotyczą zdarzeń lokalnych i wynoszą od kilku do kilkunastu milionów złotych rocznie. Natomiast w latach suchych i bardzo suchych skala szkód się zwiększa do wymiaru regionalnego, a straty sięgają dziesiątki milionów złotych, czego dowodzi np. oszacowanie wg Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych bezpośrednich strat spowodowanych suszą w roku 2006 na 43,5 mln zł. Według danych Lasów Państwowych straty bezpośrednie spowodowane pożarami w okresie 2000-2009 wyniosły 56 mln zł, ale straty ekologiczne sięgnęły sumy 390 mln zł.

Należy jednak podkreślić, że bezpośrednie straty spowodowane suszami stanowią relatywnie niewielką część strat, których czynnikiem inicjującym lub katalizatorem są susze. Znacznie bardziej istotna jest rola susz w tzw. chorobie łańcuchowej drzewostanów. O skali „chorób lasu” świadczy rozmiar zabiegów ochronnych i ratowniczych prowadzonych w okresie 1946-1998 na łącznej powierzchni 9 mln ha.

Oprócz skutków „chorób lasu” w ocenie szkód spowodowanych suszami należy uwzględnić zmniejszenie produktywności lasu, koszty działań zapobiegających i ograniczających rozmiar strat związanych z czynnikami biotycznymi: przedwczesny wyrąb chorych drzew, przedsięwzięcia ochronne (opryski substancjami chemicznymi, pułapki

feromonowe itp.), zagospodarowanie obszarów kłęskowych, monitoring, koszty inwestycji infrastrukturalnych związanych z anomaliami klimatycznymi. Koszty zapobiegania lub ograniczania strat w lasach spowodowanych suszą są wysokie. Obejmują one m.in. inwestycje małej retencji, dodatkowe nakłady na gospodarowanie lasami wodochronnymi, eksploatację i konserwację urządzeń wodnych.

6. Tendencje zmian warunków wodnych

Często dla oceny przebiegu najniższych przepływów (stanów) wykorzystuje się ciągi przepływów minimalnych. Analiza trendów przepływów minimalnych rocznych wyznaczonych dla okresu 1951-2000 dla obszaru Polski wykazuje bardzo dużą przewagę trendów rosnących (w 61 przekrojach na 72 badane). Duża ich część (37 przekrojów) była istotna statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$. Przepływy minimalne roczne w 30-leciu 1951-1980 wykazały tendencję rosnącą w 70 przekrojach (na 72), z czego aż w 54 przypadkach była ona istotna statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$. Natomiast analiza trendów przepływów minimalnych rocznych z okresu 1981-2000 wykazała stopniowe obniżanie się wartości NQ (najniższy przepływ roczny). W 46 profilach (na 72 analizowane) zarysowała się tendencja malejąca, choć tylko w dwóch z nich była istotna statystycznie. W pozostałych 26 przekrojach odnotowano trendy rosnące, ale nieistotne statystycznie (Kępińska-Kasprzak 2012). Można zatem sądzić, że tendencje zmian przepływów minimalnych rocznych w okresie 1981-2000 były odbiciem zmian warunków termicznych, jakie rozpoczęły się w Polsce już w latach 70. ubiegłego wieku. Wydaje się, że nie istnieje niebezpieczeństwo krytycznego pogorszenia sytuacji, zwłaszcza w zakresie susz hydrologicznych w Polsce. Niemniej należy mieć na uwadze poniższe:

- W chwili obecnej na zmiany naturalne klimatu nakładają się zmiany antropogeniczne związane z rozwojem cywilizacji i przypuszcza się, że obserwowany globalny wzrost temperatury powietrza będzie się jeszcze utrzymywał przez dziesiątki, a nawet setki lat. Wyniki modeli klimatycznych wskazują na wzrost zmienności temperatury powietrza w półroczu letnim w centralnej i wschodniej Europie, co może skutkować większą ilością fal upałów i częstszym pojawianiem się susz.
- Na przepływy niżówkowe w rzece mogą się nałożyć czynniki antropogeniczne, np. pobory wody, pogłębiając niekorzystną sytuację, co dodatkowo zmniejsza zasoby dyspozycyjne na określonym obszarze.
- Rozpatrując zagadnienie przyszłych potrzeb stawianych przed gospodarką wodną należy również uwzględnić plany perspektywiczne zagospodarowania przestrzennego, gdyż istotne zmiany w kierunkach zagospodarowania mogą w znaczący sposób wpłynąć na zmianę wielkości i struktury poborów.

Projekcje klimatyczne przewidują, że narasta zagrożenie suszą w sezonie wegetacyjnym. Wzrośnie częstość suszy, a więc susza, której intensywność przekraczana jest

obecnie z prawdopodobieństwem 0,01 (tzw. susza stuletnia), zdarzy się znacznie częściej w przyszłości (np. średnio co 5 lat), por. Lehner i in. (2006). Projekcje na przyszłość obarczone są jednak znaczną niepewnością, ponieważ modele klimatyczne nie są w stanie wiarygodnie przewidzieć przyszłych opadów, podczas gdy dalszy wzrost temperatury wydaje się przesądzony.

W XX wieku w Polsce lata posuszne wystąpiły 24 razy, natomiast w XXI wieku w latach 2001-2012 suszę zaobserwowano 5-krotnie. Szczególnie dotkliwe były susze z 2003 i 2006 roku oraz ostatnia susza, która rozpoczęła się jesienią 2011 roku i trwała do wiosny 2012 roku, obejmując znaczną część Polski, a w niektórych częściach Polski trwała do lata. W tym okresie obserwowany był również znaczny spadek przepływów w rzekach.

7. Możliwości poprawy warunków wodnych środowiska celem przeciwdziałania zagrożeniu suszą

7.1. Aspekt systemowy przeciwdziałania suszy

W systemie ziemskim istnieją dwa powiązane ze sobą procesy, które są determinantami wielu innych zjawisk zachodzących na ziemi i mających istotne znaczenie dla bytowania zwierząt i roślin. Tymi procesami są proces przepływu energii i krążenie wody. Z jednej strony strumień energii jest siłą napędową procesu krążenia wody, ale strumień krążącej wody transportuje energię. Najlepszą ilościową charakterystyką tych dwóch procesów jest sporządzenie bilansu cieplnego i wodnego systemu. W zależności od skali przestrzennej, w jakiej rozpatrujemy te procesy, możemy mówić o bilansach ekosystemu, zlewni, krajobrazu, regionu, kontynentu czy globu. Uświadomienie sobie i zrozumienie wagi interakcji pomiędzy tymi dwoma procesami jest fundamentalnym warunkiem systemowego podejścia do działań w celu poprawy warunków wodnych środowiska i przeciwdziałania zagrożeniom wynikającym z niedoborów wody i ich łagodzenia. Podejmując te działania, należy brać pod uwagę dwa podejścia do tego problemu; działania adaptacyjne (leczenie objawowe) i działania modyfikacyjne (leczenie przyczynowe). Działania adaptacyjne powinny polegać na zwiększeniu zasobów wodnych w okresie występowania ich nadmiaru oraz na zwiększeniu oszczędności i efektywności wykorzystania tych zasobów we wszystkich dziedzinach gospodarki i życia człowieka. Działania modyfikacyjne mają na celu powstrzymanie niekorzystnych zmian w środowisku przyrodniczym i przywrócenie ekosystemom ich naturalnych cech i funkcji. W skali regionalnej nie mamy wpływu na wielkość opadów i ich zmienność w czasie i w przestrzeni, dlatego działania powinny się skupić na kształtowaniu pozostałych składników bilansu wodnego: odpływu, parowaniu i retencji wodnej gleby.

Nie można skutecznie przeciwdziałać wystąpieniu suszy atmosferycznej, a jedynie łagodzić jej skutki poprzez działania adaptacyjne. Adaptacja na poziomie krajowym

wymaga poprawy systemu osłony przed suszą, złożonego z systemów monitoringu, prognozowania długo- i krótkoterminowego oraz systemu ostrzegania, prewencji, przygotowania, odpowiedzi i wychodzenia z kryzysu. W IMGW-PIB opracowano operacyjny system prognozowania zagrożenia suszą z wykorzystaniem wartości wskaźnikowych (zob. <http://posucha.imgw.pl/>).

Ważnym elementem adaptacji jest nawadnianie, które może zniwelować negatywne konsekwencje zmian klimatu – niedobór wody, przede wszystkim w przypadku upraw jarych.

Strategia gospodarowania wodą na obszarach rolniczych wymaga podjęcia działań zarówno strukturalnych jak i niestructuralnych, które mogą zwiększyć ilość wody w krajobrazie, wydłużyć czas jej przebywania i zwiększyć efektywność jej wykorzystania przez: właściwą agrotechnikę, wzrost małej retencji, zwiększenie zawartości materii organicznej w glebach dla zwiększenia ich zdolności retencyjnych, odpowiednie kształtowanie szaty roślinnej prowadzące do zwiększenia infiltracji, zadrzewienia śródpolne kształtujące mikroklimat, zmniejszenie odpływu powierzchniowego i parowania potencjalnego oraz wyhodowanie bardziej wodooszczędnych odmian roślin uprawnych.

7.2. Zwiększenie małej retencji w krajobrazie (zgromadzenie nadmiaru wód wiosennych, szczególnie roztopowych)

Prawie ćwierć powierzchni terytorium Polski stanowią obszary o dużym i bardzo dużym stopniu zagrożenia wystąpieniem susz hydrologicznych. Są to w przeważającej mierze tereny położone w pasie nizin, gdzie istotną rolę w gospodarce odgrywa wysoko rozwinięte rolnictwo. W tym świetle nabierają znaczenia wszelkie działania zmierzające do rozwoju różnych form retencji wody.

Potrzebna retencja to niekoniecznie wielkie zbiorniki, o wysokich kosztach ekonomicznych, społecznych i środowiskowych. Istotna jest każda forma retencji w krajobrazie wykorzystująca zdolności retencyjnych zlewni, umożliwiająca zmagazynowanie wody w okresie jej nadmiaru (np. w efekcie roztopów lub znacznych opadów) i oddanie wody w okresie niedoboru – mała retencja, mokradła, zbiorniki przeciwpowodziowe, poldery itd. Konieczna jest optymalizacja sterowania zasobami wodnymi gromadzonymi w zbiornikach retencyjnych i w sieci hydrograficznej.

Małe zbiorniki śródpolne nie tylko gromadzą wodę w swej czaszy, ale także zwiększają retencję wodną w glebie terenów otaczających zbiornik. Przyczyniają się one do podniesienia poziomu wód gruntowych w terenach do nich przyległych, zwiększają wilgotność gleby, co z kolei zmniejsza erozję wietrzną gleb. Przyrost retencji glebowej i wód gruntowych, możliwy do uzyskania w terenach przyległych do małych zbiorników śródpolnych, może być nawet większy niż przyrost retencji w samym zbiorniku (Juszczak i Kędziora 2004, Ryszkowski i in. 2003).

Strategia gospodarki wodnej na obszarach rolniczych Polski wymaga podjęcia kroków, które mogą zwiększyć ilość wody w krajobrazie, wydłużyć czas jej przebywania i zwiększyć intensywność jej obiegu (Kundzewicz i Kędziora 2010, Kundzewicz i Juda-Rezler 2010). Cele powyższe wynikają z definicji małej retencji: „mała retencja jest to wydłużenie czasu i drogi obiegu wody oraz zanieczyszczeń w zlewni, mające na celu poprawę stosunków wodnych w zlewni, zasilenie wód podziemnych i oczyszczenie wód przy wykorzystaniu właściwości zlewni” (Kowalczak 2008).

Należy wskazać na to, że lasy są podstawowym filarem małej retencji wodnej (Tyczka 1997). Ten rodzaj retencji niejednokrotnie zawęża się tylko do małych zbiorników wodnych, podpiętrzeń cieków etc., lecz możliwe są także zabiegi nietechniczne: fitomielioracyjne zabiegi pielęgnacyjne, właściwa przebudowa drzewostanów. Koszt retencionowania 1 m³ wody w obiektach małej retencji mieści się zwykle w granicach 2-5 zł, a w wielkich zbiornikach retencyjnych ten koszt wynosi aż 15-40 zł.

Dla zachowania trwałości lasów, ich ciągłości i możliwości korzystania ze wszystkich pełnionych przez nie funkcji (produkcyjnych, ochronnych, rekreacyjnych) już w połowie lat 90., w ramach programu małej retencji, rozpoczęto w Lasach Państwowych budowę nowych oraz odtwarzanie starych zbiorników wodnych. Od 2006 roku, w ramach unijnego Programu Operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko” realizowane są dwa kompleksowe projekty dotyczące małej retencji w lasach:

- Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych,
- Przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach górskich i utrzymanie potoków górskich w dobrym stanie.

7.3. Poprawa struktury krajobrazu

Szate roślinną należy kształtować w kierunku umożliwienia wzrostu infiltracji, a zmniejszenia spływu powierzchniowego i parowania potencjalnego. Wprowadzając w monotoniczny krajobraz rolniczy odpowiednio gęstą sieć zadrzewień śródpolnych, można zmniejszyć parowanie z produkcyjnych pól uprawnych, jednocześnie intensyfikując obieg wody w całym krajobrazie. Zadrzewienia wpływają na wielkość parowania, szczególnie przez zmianę prędkości wiatru i higrotermicznych parametrów atmosfery. Wprowadzenie zadrzewień w krajobraz rolniczy daje podwójną korzyść w gospodarce wodnej. Z jednej strony intensyfikuje mały obieg wody, a z drugiej oszczędza wodę na polach chronionych zadrzewieniami. Zadrzewienia, intensyfikując obieg wody, korzystają z głębszych zapasów wody gruntowej, która jest niedostępna dla roślin polowych, a więc nie pogarszają ich warunków bytowania.

Szczególna rola zadrzewień pokazuje się w sytuacji adwekcyjnej, czyli wtedy, gdy nad obszar o bogatej szacie roślinnej i dobrze uwilgotnionej napływa sucha i ciepła masa

powietrza. Powoduje ona silny wzrost siły wysuszającej powietrza, co podnosi wielkość parowania potencjalnego i rzeczywistego. Na przykład, gdy po żniwach znajdują się obok siebie ścierniska i nawadniane pola buraków, ciepłe powietrze płynące z nad ścierniska zwiększa niepotrzebnie parowanie pola buraków i wtedy zadrzewienia są jedynym sposobem zapobiegania niekorzystnym efektom adwekcji.

Wielkość wpływu zadrzewień śródpolnych na gospodarkę wodną krajobrazu zależy także od ogólnego przebiegu pogody. Im bardziej suchy rok, tym większy wpływ zadrzewień na oszczędność wody w krajobrazie rolniczym. Lasy i zadrzewienia wpływają korzystnie na bilans wodny krajobrazu rolniczego, gdyż polepszają mikroklimat obszarów pól uprawnych w kierunku korzystnym dla produkcji rolniczej. Zwiększają sumę roczną opadów, a szczególnie zwiększają ilość wody, która w okresie zimowym i wczesnowiosennym infiltruje do gleby. Zmniejszają spływ powierzchniowy, a zwiększają odpływ gruntowy, jednocześnie spłaszczając falę odpływu i wydłużając jego czas. Zwiększają parowanie z powierzchni całego krajobrazu, intensyfikując mały obieg wody, ale zmniejszają parowanie z pól uprawnych. Znaczenie zadrzewień i lasów śródpolnych jest szczególnie istotne w warunkach adwekcji ciepłych mas powietrza nad nawadniane uprawy polowe.

7.4. Działania agrotechniczne

Konieczne jest zwiększenie efektywności użycia wody, w tym poprawa efektywności nawadniania („więcej plonu z jednej kropli”). Potrzebny jest wybór odpowiednich praktyk agrotechnicznych oszczędzających wodę (uprawa bezorkowa w celu ograniczenia straty wilgoci w glebie), a także właściwy wybór terminu siewu, zbioru i innych zabiegów. Retencję glebową można powiększyć przez zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie prowadzące do optymalizacji struktury gleby. Należy chronić wilgoć w glebie (np. przez mulczowanie). Warto propagować powrót do klasycznych metod uprawy w płodozmianie, np. zwiększenie nawożenia nawozami organicznymi lub wprowadzenie do uprawy roślin motylkowych. Ogranicza się w ten sposób presję chorób i szkodników, przez co można osiągnąć ograniczenie zużycia środków ochrony roślin, a jednocześnie korzystnie wpływać na zasoby materii organicznej w glebie, co w dłuższym horyzoncie może łagodzić wahania plonów.

Ważne jest niedopuszczenie do powstania podeszwy płużnej, która zmniejsza infiltrację i bardzo ogranicza wielkość strefy korzeniowej. Tutaj pomaga agrotechnika przez stosowanie co jakiś czas głębszej orki (specjalny pług do głębokiej orki). Najlepiej jednak stosować system bezorkowej uprawy roli. Ważne jest też takie zagospodarowanie zlewni, które zmniejsza spływ powierzchniowy i wydłuża czas jego trwania. Takim działaniem jest dążenie do zwiększenia stopnia zróżnicowania strukturalnego krajobrazu przez wprowadzenie zadrzewień i zakrzaceń, pasm łąk, kęp krzewów (niestety zli-

kwidowano miedze, które pełniły ważną funkcję – spowolnienie tempa spływu powierzchniowego) oraz maksymalne skrócenie czasu, w którym powierzchnia gleby pozbawiona jest pokrywy roślinnej.

Z przyrodniczego punktu widzenia dla zwiększenia intensywności wymiany wody w krajobrazie rolniczym lepiej jest, żeby było więcej małych zbiorników wodnych niż jeden duży. Parowanie z małego zbiornika wodnego jest większe niż z takiej samej powierzchni zbiornika dużego (Ryszkowski i Kędziora 1996, Ryszkowski i in. 2003). Na przykład, parowanie z małego zbiornika wodnego o powierzchni 0,4 km² jest w przeciętnych warunkach klimatycznych Polski o około 30% większe niż z takiej samej powierzchni zbiornika takiego jak Jeziorsko, o powierzchni około 40 km² (Kędziora i Ryszkowski 1999, Ryszkowski i Kędziora 1996). Takie zwiększenie parowania z małego zbiornika wydaje się na pierwszy rzut oka stratą zasobów wodnych. Jest tak dla właściciela zbiornika. Jednak należy pamiętać o tym, że zwiększone parowanie zwiększa zawartość pary wodnej w powietrzu, co z kolei zwiększa szansę kondensacji pary wodnej i zwiększonych opadów. Tak więc intensyfikacja pionowej wymiany pary wodnej przynosi ostatecznie korzyść dla środowiska w postaci zwiększenia sumy opadów, szczególnie w porze letniej.

Jak wspomniano wyżej, retencję wodną gleby można znacznie zwiększyć poprzez zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie. Materia organiczna zwiększa retencyjność gleby, dlatego że sama utrzymuje więcej wody niż materia mineralna, ale szczególne jej znaczenie polega na tym, że poprawia strukturę gleby, a tym samym zwiększa udział porów o średnich rozmiarach, mających istotne znaczenie dla ilości wody dostępnej dla roślin. Poza tym lepsza struktura gleby sprzyja większej infiltracji wody opadowej, zwiększając tym samym zawartość wody tak w strefie aeracji, jak i w wodzie gruntowej. Gdyby zwiększyć zawartość materii organicznej o 1%, to wzrost retencyjności w warstwie ornej (30 cm) wyniósłby 10 mm, czyli 100 m³ na hektarze. Poza tym nie jest to wzrost jednorazowy. Odnosi się on do każdego większego opadu. A więc w ciągu roku należy tę wielkość retencji kilkakrotnie powiększyć. Gdyby uwzględnić tylko trzykrotne w ciągu roku odnowienie retencji w warstwie ornej, to otrzymujemy w ciągu sezonu wegetacyjnego dawkę wody równą dużej dawce polewowej, a to już jest ekonomicznie istotna oszczędność, pomijając poprawę warunków higrotermicznych gleby sprzyjających aktywności mikroorganizmów i fauny glebowej.

7.5. Zmniejszenie pokrycia terenu powierzchniami nieprzepuszczalnymi

Jednym z ważnych działań prowadzących do zwiększenia zasobów wodnych w glebie jest unikanie nadmiernego zabudowania powierzchni ziemi nieprzepuszczalnymi powierzchniami. Pozwoli to na zwiększenie infiltracji wody opadowej w głąb gleby, zwiększy czas przebywania wody w krajobrazie, a jednocześnie zmniejszy spływ powierzch-

chniowy i zagrożenie powodzią. W zlewni mocno zabudowanej ilość wody wsiąkającej do gleby może być kilkakrotnie mniejsza niż w zlewni bez takiej zabudowy.

7.6. Poszukiwanie odmian roślin uprawnych odporniejszych na suszę

Potrzebne działania adaptacyjne w sektorze rolnictwa obejmują dostosowanie upraw do zmieniających się warunków siedliskowych i wahań termicznych oraz opadowych. Chodzi np. o wybór gatunków i odmian roślin uprawnych bardziej odpornych na suszę, o dłuższym okresie wypełniania ziarna, a także o wyhodowanie bardziej wodooszczędnych odmian roślin uprawnych. Potrzebna jest aktualizacja oceny przydatności upraw i wykorzystywanych technologii produkcji, efektywnych w warunkach „nowego” klimatu.

8. Podsumowanie i wnioski

Rolnictwo i gospodarka żywnościowa są – w skali światowej – największym użytkownikiem wody (Kundzewicz i in. 2010). Wzrost liczby ludności oznacza wzrost potrzebnych ilości wody do nawodnień upraw. Nawadniane rolnictwo, umożliwiające stabilizację plonów i wyższą wydajność w porównaniu z rolnictwem zasilanym tylko opadami atmosferycznymi, jest największym konsumentem wody w skali świata. Zajmując 20% światowego areału upraw (w Polsce – tylko 0,43% krajowych gruntów rolnych), zapewnia 40% światowych plonów. Nawodnienia rolnicze są odpowiedzialne za 70% światowych poborów wody, ale w niektórych krajach wartość ta przekracza 90%. W warunkach klimatycznych Polski w okresie wegetacji występują niedobory opadów, co ma istotny negatywny wpływ na gospodarkę wodną rolnictwa. Zaznacza się to szczególnie na Niżu Polskim, a zwłaszcza w Wielkopolsce. Te niedobory wody nie mogą być w pełni pokryte zasobami dyspozycyjnymi wód powierzchniowych, które są bardzo małe. Niekorzystne dla rozwoju rolnictwa kształtowanie się zasobów wodnych to efekt nie tylko oddziaływania warunków klimatycznych, lecz w dużym stopniu wynik nieprzemyślanych działań człowieka. Regulacje rzek i likwidacja licznych, małych podpiętrzeń na nich, melioracje dolin rzecznych, zbyt często stosowana ochrona wałami siedlisk łąkowych przed zalewem, wylesienia i likwidacja zadrzewień, odwadniania śródpolnych oczek wodnych i dolinek smużnych na wysoczyznach doprowadziły do zmniejszenia zdolności retencyjnych zlewni cieków w krajobrazie rolniczym i nasilenie się procesów erozyjnych gleb. Dalszy rozwój gospodarki rolniczej uwarunkowany jest zapewnieniem możliwości sterowania zasobami wody na użytkach rolnych z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska. Niezbędne jest sformalizowanie i prawne ujęcie zintegrowanej gospodarki wodnej na terenach zlewni (Kędziora 2010, Zalewski i Wagner-Lotkowska 2004).

Z przedstawionych wyżej faktów, analiz i przemyśleń wypływają wnioski określające kierunki przyszłych działań strategicznych w gospodarce wodnej na obszarach rolnych

w celu przeciwdziałania negatywnym efektom zmian klimatycznych w najbliższych dekadach lat:

- 1) Zmienność warunków meteorologicznych, występujące na przemian lata mokre i okresy suszy wymagają stosowania zabiegów melioracyjnych umożliwiających regulację stosunków powietrzno-wodnych gleb i zwiększenie ich zdolności retencyjnych.
- 2) Na gruntach ornych podstawowym kierunkiem prac melioracyjnych powinna być odbudowa i modernizacja urządzeń drenarskich stabilizujących plony w latach o różnym uwilgotnieniu. W większym zakresie należy stosować drenowanie niesystematyczne i częściowe oraz wykorzystywać każdą możliwość retencjonowania odpływów drenarskich z regulowanym odpływem z wylotów drenarskich łącznie.
- 3) Jako współdziałające z drenowaniem należy stosować w szerokim zakresie zabiegi aglomeracyjne poprawiające właściwości fizyko-wodne gleb i zwiększające ich zdolności retencyjne, a tym samym zmniejszające niedobory wody dla roślin w okresie wegetacyjnym. Zakres niezbędnych aglomeracji poszerza się z uwagi na negatywne oddziaływanie mechanizacji prac polowych przejawiające się zagęszczeniem wierzchnich warstw gleby.
- 4) Istotnym zadaniem w przyszłości będzie retencjonowanie wody w zlewniach małych cieków w krajobrazie rolniczym zarówno przez budowę sztucznych zbiorników retencyjnych, jak i podpiętrzanie jezior oraz zabudowę małych zbiorników wiejskich i stawów. Istotną rolę może też odegrać sterowanie retencją gruntową w dolinach małych rzek nizinnych poprzez regulowany odpływ na wybudowanych jazach.
- 5) Prawidłowe przestrzenne zagospodarowanie zlewni z optymalizacją struktury użytków i dostosowanie produkcji rolnej i leśnej do naturalnych zasobów środowiska jest podstawowym zagadnieniem, które powinno być podjęte w sposób bardziej efektywny od zaraz. Dotyczy to zwłaszcza tych zlewni, w których planuje się podejmowanie prac melioracyjnych, a w których już nastąpiło lub planuje się wydzielenie przyrodniczych obszarów chronionych. Plany gospodarki wodnej powinny też być czynnikiem wiodącym przy kompleksowym zarządzaniu obszarów wiejskich, które dają podstawy kształtowania struktury użytkowania ziemi z uwzględnieniem przesłanek ekologicznych i potrzeb gospodarki rolnej.

Wszystkie te działania powinny doprowadzić do zwiększenia ilości wody w krajobrazie, wydłużenia czasu przebywania wody w krajobrazie i zwiększenia intensywności jej obiegu, a tym samym do zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów wodnych na obszarach rolnych w Polsce.

Literatura

- Dai A., Trenberth K.E., Qian T. (2004) *A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming*. J. Hydrometeorol. 5: 1117-1130.

- Faber A. (2002) *Środowiskowe uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce i Europie według symulacji CGMS*. Pam. Puł. Z. 130(1): 137-151.
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P. (1995) *Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990*. Mat. Badawcze, seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód nr 16, IMGW, Warszawa.
- Frydel K. (2008) *Woda wróciła, czyli o małej retencji w Nadlesnictwie Kaliska słów kilka*. CILP, Warszawa.
- Harasim A. (2006) *Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie*. IUNG-PIB, Puławy, s. 171.
- Jankowiak J. (2005) *Zmiany użytkowania ziemi w okresie transformacji gospodarki w Polsce*. [W:] *Ochrona środowiska w gospodarce przestrzennej* (red. L. Ryszkowski i A. Kędziora). Wyd. Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, s. 115-125.
- Juszcak R., Kędziora A. (2004) *Retencja małych zbiorników wodnych w zachodniej części zlewni Rowu Wysokość*. Roczniki AR Poznań, 25: 193-200.
- Kamiński B., Miler A.T., Okoński B., Grajewski S., Schwartz K. (2011) *Floodplain forest technical and monitoring solutions for protection of the Uroczysko Warta floodplain forest*. Polish Journal of Environmental Studies 20(5): 1193-1201.
- Kędziora A., Ryszkowski L. (1999) *Does plant cover structure in rural areas modify climate change effects?* Geographia Polonica 72(2): 65-87.
- Kędziora A., Olejnik J. (2002) *Water balance in agricultural landscape and options for its management by change in plant cover structure of landscape*. [W:] *Landscape ecology in agroecosystems management*. (red. L. Ryszkowski). CRC Press. Boca Raton: 57-110.
- Kędziora A. (2003) *Ocena deficytów wodnych na obszarach rolniczych na przykładzie zlewni Wysokość*. [W:] *Działalność naukowa PAN* 15: 117-119.
- Kędziora A. (2010) *Landscape management practices for maintenance and enhancement of ecosystem services in a countryside*. In: *Ecohydrology for water ecosystems and society in Ethiopia*. Ecohydrology and Hydrobiology 10(2-4): 133-152.
- Kępińska-Kasprzak M. (2012) *Zmienność niżówek w Polsce i ich wpływ na gospodarowanie wodą*. Rozprawa doktorska, IMGW, maszynopis.
- Kleczkowski A. (1991) *Zagrożenia i bariery rozwoju w gospodarce wodnej*. [W:] *Polska w obliczu współczesnych wyzwań cywilizacyjnych*. Komitet Prognoz „Polska w XXI wieku” przy Prezydium PAN. Warszawa, s. 220-232.
- Kowalczak P. (2008) *Zagrożenia związane z deficytem wody*. Wydawnictwo Kurpisz S.A. Poznań
- Kundzewicz Z. W., Kędziora A. (2010) *Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko i gospodarkę – obserwacje i projekcje*. [W:] *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Studia i Raporty IUNG-PIB. Puławy. 19: 115-132.
- Kundzewicz Z.W., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgalski E. (2010) *Zagrożenia związane z wodą*. Nauka 4: 87-96
- Kundzewicz Z.W., Juda-Rezler K. (2010) *Zagrożenia związane ze zmianami klimatu*. Nauka nr 4: 69-76.
- Lambor J. (1951) *Bilans wodny dorzecza Warty na tle potrzeb gospodarczych Wielkopolski*. Gosp. Wodna, t. XI, z. 2.
- Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs H., Kaspar F. (2006) *Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated assessment*. Climatic Change 75: 273-299.
- Miler A.T. (2008) *Las i woda – wybrane zagadnienia*. [W:] *Woda dla lasu, las dla wody*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej Rogów. R.10. Zesz. 2(18).

- Miler A.T. (2013) *Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Monografia.
- Miler A.T., Kamiński B., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B., Stasik R., Drobiewska E., Krysztofiak A., Poszyler-Adamska A., Korzak M. (2008) *Ochrona obszarów mokradłowych na terenach leśnych*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Monografia.
- Nietupski T. (1995) *Prognoza przemian zachodzących w rolnictwie polskim w najbliższym 10-leciu*. [W:] *Zasady ekopolityki w rozwoju obszarów wiejskich*. Red. Ryszkowski L. i Bałazy S. Poznań, s. 31-43.
- Paślowski Z. (1992): *Hydrologia i zasoby wodne dorzecza Warty*. Konferencja naukowa na temat: Ochrona i racjonalne wykorzystanie zasobów wodnych na obszarach rolniczych Wielkopolski. Koreferaty i wnioski. Poznań, 5-28.
- Pawlaczyk P., Wołejko L., Jermaczek A., Stańko R. (2001) *Poradnik ochrony mokradeł*. Wydawnictwo Lubuskiego Klubu Przyrodników, Świebodzin.
- Pierzgalski E., J.Tyszka, A. Stolarek (2012) *Powodzie i susze w lasach*. IMGW, Seria: Monografie IMGW-PIB, Warszawa, t. III, s. 243-255.
- Pierzgalski, E., Jeznach, J. (2006) *Measures for soil water control in Poland*. Journal of Water and Land Development, s. 79-89.
- Rocznik statystyczny (2005), (2006), (2007)* Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zakresu instrukcji gospodarowania wodą (2006). Dz. U. nr 150 poz. 1087.
- Ryszkowski L., Bałazy S., Kędziora A. (2003) *Kształtowanie i ochrona zasobów wodnych na obszarach wiejskich*. Zakł. Bad. Środ. Roln. i Leśn. PAN, Poznań: 70 ss.
- Ryszkowski L., Kędziora A. (1996) *Mała retencja wody w krajobrazie rolniczym*. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Konf. XI, 289: 217-225.
- Suliński J. (1993) *Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych*. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej, Kraków, Rozp., nr 179, Kraków.
- Tyczka J. (1997) *Retencja wodna w lasach*. Biblioteczka Leśniczego, 87: 20.
- Wiśniewski S. (1996) *Dotychczasowe metody regulacji stosunków wodnych w lasach i ich efekt*. Sylwan 11: 75-83.
- Zalewski M., Wagner-Lotkowska I. (red.) (2004) *Integrated Watershed Management – Ecohydrology and Phytotechnology – Manual*. UNESCO IHP, UNEP.

Risks resulting from water shortages

A worsening of the water balance has been observed over decades in many European countries. Disturbances of meteorological and hydrological processes, as well as structural changes of vegetation and soil cover are main causes of droughts. Rapid development of civilization and population growth have led to a strong distortion of processes of energy flow and matter cycling, especially water circulation, and finally have led to deterioration of water conditions. Intensive agricultural activity has led to simplification of the landscape structure (monoculture) and land degradation, primarily due to organic matter decline, deterioration of soil structure and in consequence led to deterioration of water holding capacity of the landscape. The use of heavy farming machinery as well as excessive use of fertilizers has led to soil compaction and to the depletion of soil organic matter. Climate changes taking place in recent decades, particularly temperature rise and unfavorable change in annual rainfall patterns aggravated this situation.

Decreasing of ratio of summer precipitation to winter precipitation, unfavorable for agriculture, has been observed in Poland. Increase of frequency of droughts has been and is a result of these adverse changes in the management of the environment as well as in climate change. The analysis of temporal and spatial pattern of drought in Poland is presented in the paper. The natural as well as anthropogenic causes of these phenomena are analyzed. The major errors in the field of water management, which have brought about deterioration of the structure of the water balance of the basin, are listed. The most important environmental, economic, and social risks resulting from water shortages, particularly dangerous to agriculture, forestry, public health and – in general – to the national economy have been discussed. The losses due to these risks as well as opportunities for counteracting are presented. The need to develop a strategy of integrated water management system basing on the systemic approach to solving problems of water shortages is the final conclusion emerging from the paper. This systemic approach must take into account the use of natural environmental capacity, appropriate planning of maximum structural diversity of landscape, as well as application of technical means. All these measures increase the duration of water sojourn in the landscape and improve the efficiency of water use.

Key words: water shortages, droughts, threats, opportunities to improve integrated water management