

Monografie
Komitetu
Gospodarki
Wodnej
Polskiej
Akademii
Nauk

Zeszyt 40

2017

Tamara TOKARCZYK
Wiwiana SZALIŃSKA
Irena OTOP
Marta BEDRYJ

ZARZĄDZANIE RYZYSKIEM SUSZY

WARSZAWA 2017

RADA REDAKCYJNA

Beniamin Więzik – WSA, Bielsko-Biała, przewodniczący
Kazimierz Banasik – SGGW, Warszawa, wiceprzewodniczący
Kaź Adamowski – University of Ottawa, Kanada
Jean Cunge – SOGREAH Grenoble, Francja
Małgorzata Gutry-Korycka – Uniwersytet Warszawski
Roman Krzysztofowicz – University of Virginia, USA
Zbigniew Kundzewicz – Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań
Maciej Maciejewski – IMGW-PIB, Warszawa
Artur Magnuszewski – Uniwersytet Warszawski
Wojciech Majewski – IMGW-PIB, Warszawa
Jarosław Napiórkowski – Instytut Geofizyki PAN
Romuald Szymkiewicz – Politechnika Gdańska
Stanislas Wicherek – Université Paris IV Sorbonne, Francja

Sekretarz Redakcji

Ewa Sawicka-Madejska – Sekretarz Rady Redakcyjnej

01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61

e-mail: kgw@imgw.pl

RECENZENT

prof. dr hab. inż. Laura Radczuk

Opracowanie językowe – Joanna Mrozek

Przygotowanie graficzne i skład – Rafał Stepnowski

© Copyright by Komitet Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk

© Copyright by Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	5
1. Susza jako zagrożenie	8
1.1. Definicje suszy	9
1.2. Czynniki kształtujące susze	12
1.3. Skala czasowo-przestrzenna suszy	15
1.4. Wpływ suszy na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo	19
2. Susza jako ryzyko	23
2.1. Ryzyko suszy	25
2.2. Ocena stopnia zagrożenia suszą	26
2.3. Ocena konsekwencji wystąpienia suszy	27
3. Zarządzanie ryzykiem suszy	29
3.1. Ramowa struktura strategicznego zarządzania ryzykiem suszy	32
3.2. Diagnostyka uwarunkowań ryzyka i identyfikacja kluczowych potrzeb	34
3.3. Opcje zarządzania ryzykiem suszy	36
4. System zarządzania ryzykiem suszy	38
4.1. Ocena i prognoza zagrożenia suszą	39
4.2. Analiza i ocena ryzyka suszy	46
4.3. Wizualizacja i prezentacja zagrożenia i ryzyka	50
4.4. Wspomaganie decyzji w warunkach niepewności	51
4.5. Metody ograniczania i przeciwdziałania skutkom suszy	54
4.6. Monitorowanie ryzyka suszy	58
5. Plan zarządzania suszą	61
5.1. Plany zarządzania suszą w Europie	65
5.2. Plan zarządzania suszą w Polsce	66
6. Podsumowanie	69
Słownik wybranych pojęć	70
Bibliografia	73

**Tamara TOKARCZYK, Wiwiana SZALIŃSKA,
Irena OTOP, Marta BEDRYJ**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM SUSZY

WPROWADZENIE

Zarządzanie ryzykiem w podejściu do wielu zagrożeń naturalnych, w tym w szczególności do powodzi, jest szeroko rozpowszechnione. Ujęcie suszy w kategoriach ryzyka nie jest do chwili obecnej jednoznacznie zdefiniowane, pomimo, że to najdroższe zagrożenie naturalne na świecie (Cook i in. 1999; Wilhite 2000). Konieczność zarządzania ryzykiem związanym z występowaniem zagrożenia dla ludzi, gospodarki i ekosystemów z tytułu niedostarczenia wody celem zapewnienia pokoju i stabilności politycznej wskazali Grey oraz Sadoff (2007), nazywając bezpieczeństwem wodnym.

Szacuje się, że w ciągu ostatnich trzydziestu lat koszty poniesione w wyniku wystąpienia susz w Europie wyniosły 100 mld euro (Tsakiris i in. 2013). W ostatnich latach nastąpił wzrost liczby epizodów suszy, co doprowadziło do znacznych strat ekonomicznych. Susze XXI wieku charakteryzują się wyższymi temperaturami, dłuższym czasem trwania oraz większym zasięgiem przestrzennym i są coraz bardziej zaostrzane przez zapotrzebowanie na wodę (Allen i in. 2015). Dotkliwe susze niszczą przede wszystkim rolnictwo i produkcję energii (Maxwell, Soule 2011).

Wystąpieniu suszy nie można zapobiec, ale dzięki zrozumieniu mechanizmów jej powstawania oraz określeniu warunków sprzyjających jej rozprzestrzenianiu się można wpływać na zmniejszanie lub ograniczanie jej skutków (Tokarczyk 2010).

Prowadzenie wszelkiej działalności obarczone jest pewnym poziomem ryzyka, które stwarza pogoda. W wielu sektorach gospodarki (rolniczym, sadowniczym,

budownictwie, energetycznym, transporcie, turystycznym czy rozrywkowym) przychody uzależnione są bezpośrednio lub pośrednio od warunków pogodowych. Pomiar poziomu ryzyka związanego z pogodą jest trudny do identyfikacji ilościowej. Literatura przedmiotu odnosi się głównie do opisu możliwości stosowania instrumentów używanych w zarządzaniu ryzykiem, ukierunkowanych na jego ograniczanie w warunkach ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych. Zarządzanie określane jest jako zbiór (zestaw) czynności składających się z planowania, organizowania, motywowania i kontroli, ukierunkowanych na realizację celów w sposób skuteczny i efektywny. W świetle literatury (Chong, Brown 2001), zarządzanie ryzykiem utożsamiane jest z procesem podejmowania działań dotyczących kontroli jego poziomu poprzez: (a) unikanie ryzyka, (b) łagodzenie ryzyka, polegające na redukcji potencjalnych szkód za pomocą jego ograniczania, (c) dzielenie ryzyka, rozłożenie ryzyka na większą liczbę jednostek oraz (d) absorbowanie ryzyka, polegające na dostosowywaniu się do wszelkich zdarzeń powodujących ryzyko. Inne podejście polega na przyjęciu założenia, że zarządzanie ryzykiem jest procesem, który powinien trwać cały czas (Jajuga 2007). W tym podejściu podkreśla się, że zarządzanie ryzykiem stanowi element podejmowania istotnych strategicznych decyzji. Przed negatywnymi skutkami ryzyka można zabezpieczyć się na dwa sposoby: pasywny oraz aktywny. Pierwszy wiąże się z brakiem ograniczania ryzyka lub brakiem możliwości identyfikacji i technicznego przeciwdziałania. Sposób aktywny polega na podejmowaniu wszelkich działań mających na celu niwelowanie ryzyka oraz redukcję strat.

W gospodarce wodnej zarządzanie ryzykiem, zwłaszcza w odniesieniu do powodzi i susz, będących konsekwencją występowania ekstremalnych zjawisk i procesów przyrodniczych, jest szczególnie istotne. Monitoring hydrologiczno-meteorologiczny, opracowanie dokumentów planistycznych, stanowiących elementy fazy prewencji traktuje się jako część cyklu, którego głównym celem jest implementacja działań minimalizujących skutki wystąpienia zagrożeń. Skuteczność zarządzania ryzykiem zależy bowiem od jego właściwej oceny. Warunkiem koniecznym przy właściwym, zrównoważonym zarządzaniu wodą jest zrozumienie procesu suszy rozpatrywanej w kategorii naturalnego zagrożenia (Wilhite 2000). Susze generowane są przez zjawiska meteorologiczne zarówno w skali globalnej, regionalnej, jak i lokalnej. Do 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 sytuacji synoptycznych, które wpływają na terminowość zjawisk sezonowych, tj. zbyt wczesne, późne pojawienie się lub ich

brak (Stahl, Hisdal 2004). W odróżnieniu od innych zjawisk, np. powodzi, susze mają tendencje do przewlekłego trwania oraz dużego zasięgu terytorialnego. Powstają w wyniku nałożenia się kilku zjawisk meteorologicznych, których wydzielenie i ocena wpływu na wielkość i czas trwania suszy pozostaje wciąż aktualnym tematem badań naukowych (Dębski 1970; Wilhite, Glatz 1985; Rasmussen i in. 1993). W latach 80. XX w. pojawił się nowy kierunek badań nad hydrologicznymi zjawiskami w ujęciu klimatycznym, określony jako hydroklimatologia (Hirschboeck 1988). Podstawę analiz stanowią tu szeregi czasowe elementów klimatycznych i hydrologicznych w postaci opadów, temperatury powietrza, ewapotranspiracji oraz odpływu, charakteryzujących zmienność czasową i przestrzenną zjawisk. Nowe podejście przyczyniło się do rozwoju przyczynowo-skutkowych metod oceny i opisu zjawisk w ujęciu czasowo-przestrzennym z uwzględnieniem intensywności przebiegu.

Oddziaływanie susz na środowisko oraz gospodarkę i społeczeństwo powoduje, że prowadzone prace badawcze poświęcone zagadnieniom ich występowania skupiają się nie tylko na wykazaniu potrzeby ich monitorowania, prognozowania, ale również ocenie ryzyka. Ujęcie wielowymiarowej postaci suszy w gospodarce wodnej wymusza stosowanie podejścia jak do zarządzania ryzykiem.

Celem niniejszej pracy jest opracowanie koncepcji strategicznego zarządzania ryzykiem suszy na podstawie zintegrowanego podejścia, ujmującego naturalny charakter suszy oraz antropopresję w ocenie zagrożeń hydrometeorologicznych, ich konsekwencji i doborze opcji adaptacyjnych oraz działań minimalizujących skutki wystąpienia suszy. Zamysłem autorki jest również zwrócenie uwagi czytelnika na potrzebę wdrożenia odpowiedniego systemu zarządzania ryzykiem z uwzględnieniem strategii i polityki, procesów i procedur zarządzania ryzykiem, zapewnienie kluczowych potrzeb ludności i ekosystemów w zrównoważonym podejściu oraz oceny rezultatów i kontroli zarządzania ryzykiem.

Podstawą do opracowania koncepcji systemu strategicznego zarządzania ryzykiem suszy są wytyczne i rekomendacje zawarte w następujących dokumentach:

- Raport Komisji Europejskiej: Plan Zarządzania Suszą opracowany przez grupę Ekspertów ds. Niedoborów Wody i Susz (EC 2007);
- Wytyczne do przygotowania Planów Zarządzania Ryzykiem Suszy opracowane w ramach Zintegrowanego Programu Zarządzania Ryzykiem Suszy dla Europy Środkowej i Wschodniej (GWPCEE 2015);
- Strategiczne podejście w zarządzaniu ryzykiem suszy opracowane pod auspicjami UNESCO przez WWF – World Wildlife Found (WWF, GIWP 2016);
- Norma PN-ISO 31000:2012 – wersja polska, Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne, 2012.

1. SUSZA JAKO ZAGROŻENIE

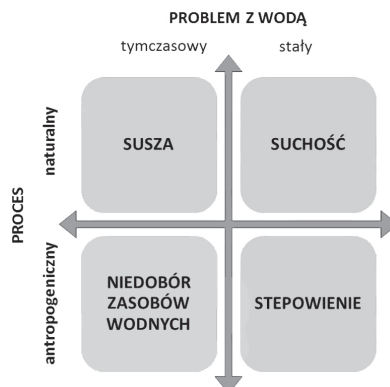
Ogólne pojęcie suszy rozumiane jako pojawiająca się cyklicznie naturalna cecha klimatu, której zasięg jest często trudny do określenia, oznacza zjawisko ograniczonej dostępności do wody. Suszę odróżnia się od zjawisk związanych z ograniczoną dostępnością do wody (rys. 1) w następujących aspektach:

- susza występuje tylko w okresie, który charakteryzuje się niedostatkim wody w danych warunkach klimatycznych, relatywnie jako odchylenie od warunków normalnych opadów, wilgotności glebowej, położenia zwierciadła wody gruntowej oraz przepływów w rzekach, nie zaś w okresie, który jest uznany za suchy;
- susza nie powinna być utożsamiana z suchością charakterystyczną dla regionów o suchym klimacie, w których naturalnie występuje znacznie mniejsza dostępność wody;
- susza odnosi się nie tylko do zjawisk ekstremalnych, ale wszystkich, którym towarzyszą warunki mniejszej dostępności wody w danym regionie.

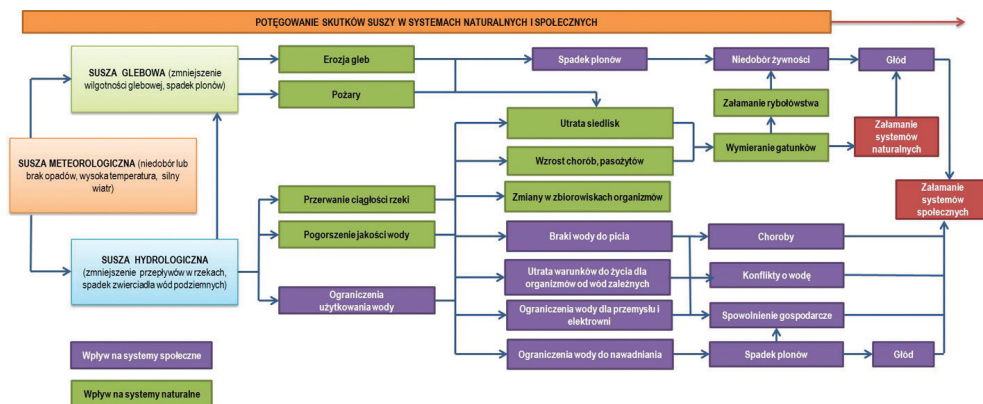
Susza ma również charakter rozwijającego się procesu. Jej początek związany jest z długotrwałym brakiem opadów lub ich niedoborem oraz towarzyszącą im wysoką temperaturą powietrza. W konsekwencji suszy atmosferycznej dochodzi do zmian ilościowych w cyklu hydrologicznym. Dodatkowo wysoka ewapotranspiracja powoduje obszarowe zmniejszenie się spływu powierzchniowego, spadek wilgotności gleby, zmniejszanie się przepływów w wodach powierzchniowych oraz spadek zwierciadła wód podziemnych.

Ujmując suszę jako zjawisko naturalne o fazowym charakterze wyróżnia się:

1. suszę meteorologiczną – okres, w którym dopływ wilgoci spada poniżej stanu normalnego w danych warunkach klimatycznych uwilgotnienia;



Rys. 1. Rodzaje zjawisk związanych z ograniczoną dostępnością wody (Vlachos, Douglas 1983)



Rys. 2. Potęgowanie skutków suszy w systemach naturalnych i społecznych (modyfikacja autorek na podstawie WWF, GIWP 2016)

2. suszę glebową – okres, w którym wilgotność gleby jest niedostateczna do zaspokojenia potrzeb wodnych roślin;
3. suszę hydrologiczną – okres, w którym dochodzi do obniżenia zasilania wód powierzchniowych i podziemnych.

Ocena suszy w takim ujęciu opiera się zazwyczaj na jednym lub kilku parametrach meteorologicznych i hydrologicznych, np. opadzie, ewapotranspiracji, wilgotności gleby, przepływie w rzekach, odpływie czy poziomie wód podziemnych.

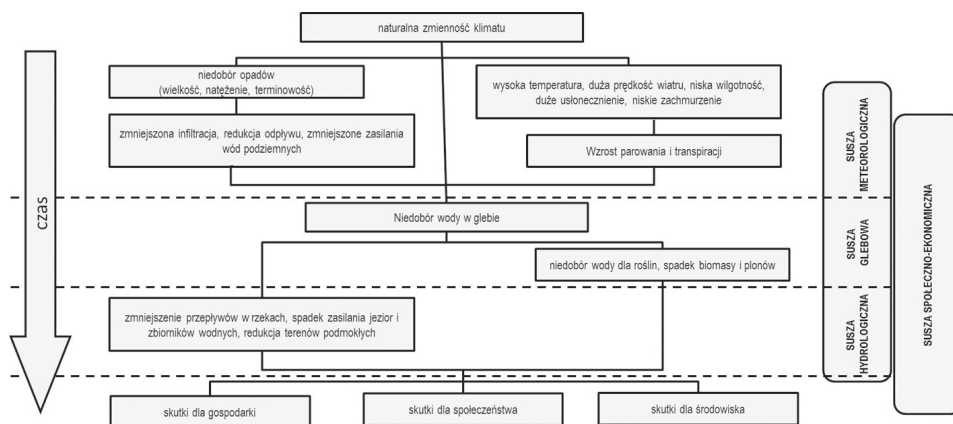
Obecnie susza traktowana jest jako zjawisko złożone, wielowymiarowe, któremu pojawianiu się towarzyszą niejednokrotnie negatywne skutki obserwowane w środowisku (systemach naturalnych), społeczeństwie i gospodarce (systemach społecznych). Ocena suszy w takim ujęciu zawiera analizę przyczynowo-skutkową, uwzględniającą zarówno jej naturalny charakter, wpływ człowieka, jak i ich wzajemne oddziaływanie i synergę (rys. 2).

1.1. Definicje suszy

Złożoność zjawiska przekłada się na definiowanie suszy, które wciąż jest otwartym problemem. Na przestrzeni lat susze określane były zarówno jako naturalna cecha klimatu, jak i zauważalny brak wody, którego skutki odczuwalne są w środowisku, gospodarce oraz społeczeństwie (Changnon 1987; Zelenhasic, Salvai 1987; Farat i in. 1995; Kogan 1995; Mager i in. 1999; Tate, Gustard 2000; Hisdal i in. 2001; Stahl 2001; Dubicki 2002; Lloyd-Hughes, Saunders 2002; Łabędzki, Bąk 2004; Lorenc i in. 2006). Rozwój oraz ewolucja zmian podejścia uwidaczniają się

w stosowanych definicjach suszy. Definiuje się ją jako okres, w którym panujące warunki długotrwałego braku opadu lub znacznych niedoborów opadów w stosunku do parowania mają charakter fazowego procesu, w którym wydziela się: suszę atmosferyczną, glebową, hydrologiczną (Maidment 1993; Tallaksen, van Lanen 2004; Wilhite 2005; Nagarajan 2010). Niektórzy badacze podkreślają aspekt gospodarczy, a suszę definiują jako okres o zmniejszonej dostępności do wody na określonym terenie (Linsley i in. 1975; Beran, Rodier 1985). Pojawia się definicja suszy rolniczej jako okres z niewystarczającą ilością wody do zaspokojenia zapotrzebowania na produkcję roślinną (Dębski 1953, Heim 2002, Łabędzki i in. 2008). Suszę w ujęciu geofizycznym, inżynierskim i ekonomicznym przedstawił Yevjevich (Dracup 1991), wyróżniając suszę klimatyczną, meteorologiczną, hydrologiczną, limnologiczną oraz glebową w podejściu geofizycznym. W ujęciu inżynierskim suszą nazwał niedobór wody określane wielkością opadów, przepływów oraz innych wskaźników ilościowych charakteryzujących bilans wodny. W podejściu ekonomicznym uznał susze za przyczynę strat ekonomicznych, wynikających z niedostarczenia potrzebnej ilości wody użytkownikom. Według Report U.S. National Drought Policy Commission (USDA 2000) susza jest przedłużającym się, anomalnym niedostatkiem wilgotności, mającym niekorzystny wpływ na roślinność, zwierzęta i ludność. Sánchez-Quispe i in. (2001) wydzielił susze operacyjne, Mishra i Singh (2010) – susze społeczno-ekonomiczne, które wyrażają niedobory wody rozumiane jako deficyt zaopatrzenia w wodę w celu zaspokojenia potrzeb społecznych i środowiskowych, spowodowane naturalnymi przyczynami, niewłaściwym wykorzystaniem zasobów wodnych lub działalnością gospodarczą człowieka (Tsakiris i in. 2013). Ostatnio badacze zdefiniowali suszę ekologiczną jako epizodyczny deficyt dostępności wody, prowadzący do przekroczenia progu wrażliwości ekosystemów, co wpływa na ekosystemy i wyzwala sprzężenia zwrotne w systemach naturalnych i/lub społecznych (Crausbay 2017). Schemat ideowy prezentujący podejście do suszy, wywołanej przez naturalne przyczyny w relacji z czynnikami antropogenicznymi oraz jej skutki przedstawia rys. 3.

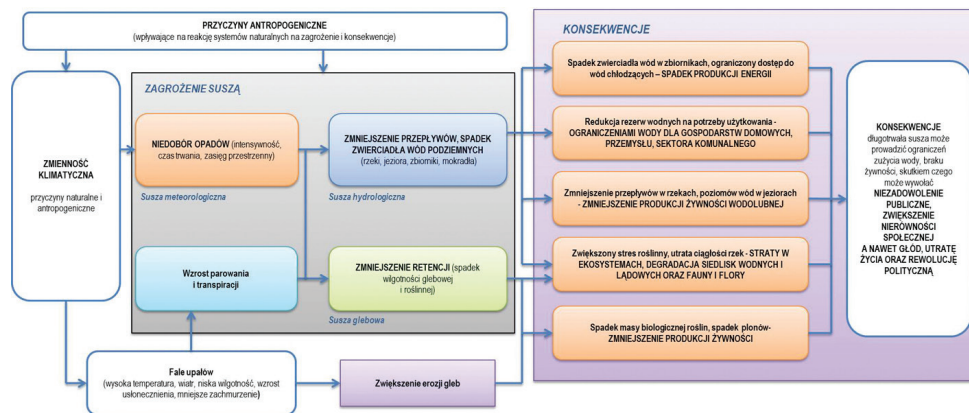
Ocena w tym ujęciu wiąże się z przyjęciem założenia, że susza jest zjawiskiem nie tylko o wymiarze fizycznym, ale również gospodarczym, społecznym, a nawet politycznym. Konsekwencją takiego podejścia jest podział na dwa typy definicji: konceptualną i operacyjną. Definicja konceptualna ma na celu opis procesu suszy, zrozumienie jej przyczyn i skutków oraz kreowanie polityki przeciwdziałania skutkom suszy. Definicja operacyjna służy do jednoznacznego określenia początku, końca oraz intensywności susz na podstawie danych meteorologicznych, z zastosowaniem różnego kroku czasowego oraz przestrzennego. Definicja ta ukierunkowana jest przede wszystkim na potrzeby decydentów, gospodarowanie zasobami wodnymi



Rys. 3. Związki między suszą meteorologiczną, glebową i hydrologiczną a społeczno-ekonomiczną (na podstawie US National Drought Mitigation Centre; <http://drought.unl.edu/>)

oraz wdrażanie działań służących ochronie zasobów wodnych i formułowaniu strategii łagodzenia skutków suszy. Przykładem wdrożenia takiego podejścia jest Australia. Stosowana tu definicja odnosi się zarówno do zrozumienia zmienności klimatu i naturalnych przyczyn występowania zjawiska (konceptualna), jak i do procesu zarządzania ryzykiem w warunkach normalnych oraz suszy (operacyjna). Takie zdefiniowanie wprowadziło regulacje w rolnictwie dotyczące oceny wystąpienia suszy i odszkodowań. Pomoc finansowa udzielana jest rolnikom w stanie suszy wyjątkowej, tzn. w sytuacji, gdy panujące warunki są bardziej suche od uznawanych za normalne. Stan suszy wyjątkowej ogłaszany jest na podstawie oceny dokonanej przez naukowców.

Zastosowanie teorii systemów w analizie przyczynowo-skutkowej suszy pozwala na wydzielenie systemu naturalnego (gleba, rzeki, rośliny, zwierzęta) oraz społecznego, który odnosi się do wszelkiej działalności człowieka (szeroko pojęta gospodarka, społeczeństwo, polityka). Obecna ocena pozwala na odniesienie się do bezpośrednich skutków suszy w rolnictwie, gospodarce oraz społeczeństwie, jako połączonego efektu propagacji niedoborów opadów w cyklu hydrologicznym i czynników antropogenicznych, nie ujmuje jednak wzajemnych powiązań tych skutków. Tymczasem powiązania te wykazują cechy zjawisk emergentnych. Zjawiska takie wykazują formowanie zupełnie nowych własności w stosunku do indywidualnych własności ich poszczególnych komponentów. Właściwe podejście do oceny skutków suszy wymaga więc oceny skutków bezpośrednich w poszczególnych systemach naturalnych i społecznych, jak również oceny wielowymiarowej struktury ich powiązań. Cały ciężar oceny suszy przenosi się na wielokryterialną ilościową i jakościową ocenę jej skutków, dla których możliwe jest zdefiniowanie i podjęcie



Rys. 4. Susza jako zagrożenie i jej konsekwencje (na podstawie WWF, GIWP 2016)

optymalnych działań, mających na celu ograniczanie i przeciwdziałanie skutkom suszy. Wymusza to zmianę w obrazowaniu i parametryzacji zjawiska suszy jako zagrożenia naturalnego i jego emergentnych konsekwencji w systemach naturalnych i społecznych wywołanych synergicznym oddziaływaniem presji czynników naturalnych i antropogenicznych (rys. 4).

W przedkładanej pracy susza rozumiana jako zjawisko cykliczne (ciągłe pojawiające się), o zasięgu regionalnym, oznaczające ograniczoną dostępność do wody, o ewoluującej w czasie naturze rozwoju, jest zdarzeniem losowym charakteryzującym się intensywnością, czasem trwania oraz zasięgiem przestrzennym. Tak zdefiniowana susza z jednej strony pozwala na określenie jej jako zjawiska naturalnego mogącego stanowić zagrożenie, którego rozwój obejmuje fazę suszy meteorologicznej, glebowej i hydrologicznej, z drugiej zaś na podejście w sposób skategoryzowany i ujęcie suszy jako klęski żywiołowej.

1.2. Czynniki kształtujące susze

Znajomość czynników warunkujących występowanie suszy jest niezbędna do oceny zjawiska. Przyczyny pojawienia się suszy są złożone, zależą nie tylko od procesów klimatotwórczych, jak obieg energii cieplnej i wody, ale także od czynników geograficznych. Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi wpływa na atmosferyczną część cyklu hydrologicznego obiegu wody poprzez zróżnicowanie intensywności parowania oraz wysokości opadów. Opady i parowanie mają cykliczny charakter (dobowy, roczny), a ich przebieg zależy od strefy klimatycznej. W dłuższym okresie czasu układ atmosfera – powierzchnia Ziemi,

wyrażony jako przychód wody (opady) i straty wody (parowanie), pozostaje w równowadze. W skali globalnej w ciągu roku wyparowuje tyle samo wody, ile spada w postaci opadów. W skali regionalnej zaznacza się wyraźna strefowość warunków wilgotnościowych. Gdy wielkość parowania przewyższa wysokość opadów, różnica między opadem a parowaniem jest ujemna i występuje deficyt wody. Anomalie w przebiegu procesów hydrometeorologicznych należą do najważniejszych przyczyn powstawania suszy. Susza jest czasową anomalią w przeciwieństwie do suchości, która jest stałą cechą klimatu obszarów o niskich opadach. Temperatura i wilgotność powietrza, wiatr oraz czas wystąpienia i charakter opadów, w tym ich rozkład, intensywność oraz czas trwania deszczu, odgrywają istotną rolę w pojawianiu się susz. Zdolność ewaporacyjna powietrza ma istotny wpływ na występowanie suszy. Wielkość ewapotranspiracji zależy od energii docierającej do powierzchni Ziemi w postaci promieniowania oraz zdolności atmosfery do pochłaniania pary wodnej, tj. niedosytu wilgotności oraz prędkości wiatru. Należy rozróżnić fale upałów od suszy. Fala upałów trwa przeciętnie kilka, a wyjątkowo kilkanaście dni, natomiast susza jest zjawiskiem utrzymującym się długo, przez kilka tygodni, miesięcy, a nawet lat. Wystąpienie fali upałów podczas epizodu suszy wzmacnia jej negatywne skutki (Chang, Wallace 1987).

Przyczyn występowania ekstremalnych zdarzeń pogodowych należy upatrywać nie tylko w zmienności cyrkulacji atmosferycznej, ale również we współczesnym ociepleniu się klimatu (Twardosz 2009). Wysoka temperatura powietrza oraz niedobory opadów spowodowane są anomalią cyrkulacji atmosferycznej, występowaniem blokujących napływ wilgotnych mas powietrza układów antycyklonalnych (Feudale, Shukla 2007, 2010). Układami sprzyjającymi powstawaniu susz na obszarze Polski są według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein typy cyrkulacji atmosferycznej: BE (południowa cyrkulacja pośrednia między cyrkulacją cyklonalną i antycyklonalną), C₂D (zachodnia cyrkulacja antycyklonalna), D₂C (południowo-zachodnia i południowa cyrkulacja antycyklonalna), E₁ (południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja antycyklonalna), E₂C (północno-zachodnia cyrkulacja antycyklonalna), E (północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna) i G (centralna cyrkulacja antycyklonalna), (Baranowski 2001). Antycyklonalne układy cyrkulacji typu D₂C i E odgrywają znaczącą rolę blokującą układy niskiego ciśnienia i przypadają najczęściej na początek okresu wegetacyjnego w Polsce (przełom kwietnia i maja). W sytuacji południowo-wschodniej i wschodniej cyrkulacji E₁ oraz centralnej G, latem występuje najwyższa temperatura powietrza. W tych okresach w kształtowaniu warunków termicznych i wilgotnościowych nad Polską ważną rolę odgrywa czynnik solarny, uwarunkowany małym zachmurzeniem i adwekcją ciepłego powietrza z sektora południowego. Najdłuższe czasy trwania (maks. 10-14 dni), w porównaniu

z innymi typami wykazuje cyrkulacja antycyklonalna E_1 (południowo-wschodnia i wschodnia). Największa częstotliwość występowania układów wyżowych w Polsce przypada na marzec, maj, czerwiec i październik (Baranowski 2001).

Warunki klimatyczne w skali regionalnej i lokalnej kształtowane są przez czynniki geograficzne, takie jak szerokość geograficzna, wysokość nad poziomem morza, rzeźba, pokrycie i użytkowanie terenu. Na występowanie i rozwój suszy wpływają również przekształcenia w środowisku naturalnym w wyniku antropopresji. Działalność człowieka, poprzez nadmierną eksploatację zasobów wodnych, wylesianie, zabiegi agrotechniczne, procesy erozyjne czy zwiększanie powierzchni uszczelnionych, wpływa na zdolność retencjonowania wody, zmiany w strukturze bilansu cieplnego i wodnego, czego skutkiem są zmiany w odpływie. Również zmiany klimatu mogą prowadzić do przekształcenia obiegu wody w zlewni i zmian struktury bilansu wodnego, co może prowadzić do wzrostu częstotliwości występowania susz (Gutry-Korycka i in. 2014).

Występowanie suszy w skali regionalnej i lokalnej uzależnione jest od wielu czynników:

- 1) Czynniki meteorologiczne – zwłaszcza niedostatek opadów lub długotrwałe okresy bezopadowe, którym towarzyszą duże wartości parowania, temperatury powietrza, prędkości wiatru, usłonecznienia i niedosytu wilgotności powietrza; najczęstsza przyczyna rozwoju suszy i redukcji zasobów wodnych zlewni.
- 2) Czynniki fizycznogeograficzne – w sposób bezpośredni i pośredni oddziałują na wielkość odpływu. Gęstość sieci rzecznej, spadki podłużne zlewni i cieków oraz litologia wpływają bezpośrednio, natomiast pośrednio oddziałują wzniesienie nad poziomem morza i ekspozycja zlewni (Balco 1976). Spadek terenu wpływa w znacznym stopniu na ilość wody infiltrującej do wód podziemnych oraz prędkość spływu powierzchniowego. Szybki drenaż wód podziemnych w zlewniach o bardzo dużych spadkach i nachyleniach zboczy pociąga za sobą małe spływy jednostkowe w okresach obniżonych stanów wody (Pietrygowa 1972).
- 3) Warunki geologiczne i hydrogeologiczne – zwłaszcza przepuszczalność podłoża odgrywa decydującą rolę w procesie odpływu, gdyż warunkuje wsiąkanie wód opadowych (Dynowska 1972, Poźniak 1973). W zlewniach o podłożu słabo przepuszczalnym wskutek małej infiltracji i niskim zasilaniu koryt rzecznych z wód podziemnych, przepływy niżówkowe mogą spadać do zera.
- 4) Pokrycie terenu szatą roślinną – jest istotnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się odpływu ze zlewni. W stanach dostatecznego uwilgotnienia zlewni przyczynia się do zwiększenia infiltracji (makropory strefy korzeniowej), wpływa na zmniejszenie parowania z powierzchni gruntu, zmniejsza

s wpływ powierzchniowy oraz może opóźnić lub spowolnić proces tajania śniegu. Największy wpływ na kształtowanie się odpływu ma las, jednak jego rola jest zmienna w czasie i niełatwa do oceny. Ogólnie jest wyrażany pogląd, iż wzrost stopnia zalesienia zmniejsza dynamikę odpływu podziemnego i działa stabilizująco również na odpływ rzeczny (Jokiel 1987, 1994; Kucharska, Tyszka 1984). Wilgat (1984) zwraca uwagę, że w okresach niżówkowych duża lesistość wpływa na zmniejszanie się odpływu wskutek zużywania przez las znacznych ilości wody na parowanie.

- 5) Jeziora i tereny podmokłe – wpływają na rozkład odpływu w czasie oraz zwiększenie odpływów podczas niżówek. Jeziora głębokie, dzięki drenowaniu wielu poziomów wodonośnych, powodują zwiększony dopływ wód podziemnych do cieków powierzchniowych (Drwal 1985). Jeziora przepływowe, zlokalizowane w dolnej części zlewni, powodują podwyższenie i wyrównanie przepływów niżówkowych. Natomiast jeziora położone w części źródłowej w niewielkim stopniu przyczyniają się do podwyższania przepływów w okresach niżówkowych. Obszary podmokłe w kotlinach górskich w niewielkim stopniu wpływają na podwyższenie przepływów w okresach niżówkowych, z wyjątkiem cieków zasilanych z torfowisk wysokich (Bartnik 2005). W zlewniach o małych opadach letnich, gdzie parowanie z obszarów podmokłych przewyższa parowanie terenowe, zasilanie rzek szybko ustaje, a odpływy niżówkowe są mniejsze niż w podobnych zlewniach bez terenów podmokłych (Vladimirov 1970).
- 6) Działalność człowieka i jej wpływ na poszczególne elementy: (a) pedosferę – zwiększenie erozji gleb poprzez niewłaściwe prowadzenie zabiegów agrotechnicznych (brak tarasowania stoków), wycinanie zadrzewień, zły dobór roślin, intensywny wypas bydła, degradację gleb poprzez rozwój przemysłu i transportu, niewłaściwie prowadzoną gospodarkę rolną, osuszanie terenów podmokłych, obniżanie poziomu wód podziemnych; (b) biosferę – spadek liczby gatunków wskutek zanieczyszczenia wód, przecinanie naturalnych korytarzy ekologicznych, szlaków wędrówek, wprowadzanie gatunków inwazyjnych, wylesianie i naruszenie stabilności ekosystemów.

1.3. Skala czasowo-przestrzenna suszy

Zagadnienie suszy analizowane jest najczęściej w aspekcie częstotliwości występowania oraz zasięgu obszarowego. Najbardziej rozległe susze XX i XXI w. w Ameryce Północnej wystąpiły w latach 1954-1957 w centralnej części Stanów Zjednoczonych i Kanadzie, w latach 1976-1977 w północnych Stanach Zjednoczo-

nych i środkowej Kanadzie oraz w 1988 r. w centralnej części USA i południowej Kanadzie (Cook i in. 1999; Keyantash, Dracup 2004; Sheffield i in. 2009). W Oceanii najbardziej dotkliwa była dziewięciomiesięczna susza z przełomu lat 1982-1983 (Nicholls 2004, Mpelasoka i in. 2008). W Afryce, intensywne susze wystąpiły w połowie lat 70. oraz 80. (Hulme 1992, Oba i in. 2001, Tarhule, Lamb 2003, Dai i in. 2004) i na początku lat 90. (Rouault, Richard 2005). Najbardziej dotkliwa trwała od 1982 do 1984 r. Rozpoczęła się w Południowej Afryce w grudniu 1982 r., po czym połączyła się z suszą z Afryki Środkowej, osiągając szczyt w kwietniu 1983 r. (Sheffield i in. 2009). W Ameryce Południowej najcięższą (trwającą 12 miesięcy) była susza z 1963 r. (Marengo i in. 2008), natomiast najbardziej rozległą z 1982 r. Swoim zasięgiem objęła Peru, Kolumbię, Wenezuelę i północną Brazylię (Marengo i in. 1998). W Europie najsurowsza susza wystąpiła w latach 1975-1976 (Sheffield i in. 2009). W Azji susze pojawiały się od 1984 do 1988 r. w środkowej Syberii, północnych oraz południowo-wschodnich Chinach. Jednak najbardziej rozległą, obejmującą ponad 8 mln km² od wschodnich Chin do Środkowej Azji, była susza występująca w latach 1997-1998 (Sheffield i in. 2009). Globalnej oceny zasięgu przestrzennego obszarów podatnych na występowanie susz dla trzech wydzielonych okresów 1902-1949, 1950-2008 i 1902-2008 dokonali Wang i in. (2014) (tabela 1).

Przeprowadzone badania wykazały, że w pierwszej połowie XX w. dominowały obszary najmniej podatne na susze, w drugiej połowie – obszary podatne i chronicznie podatne na występowanie susz. Natomiast biorąc pod uwagę cały okres badawczy (1902-2008) większość obszarów sklasyfikowano jako podatne (wschodnia Ameryka Północna, Europa, zachodnia Rosja, środkowa Ameryka Południowa i Afryka Środkowa) oraz jako chronicznie podatne (Europa Południowa, wschodnia Ameryka Północna i Afryka Środkowa). Najmniej podatne na suszę okazały się regiony Afryki i Ameryki Północnej, Indii i środkowo-zachodniej Australii (Wang i in. 2014).

Tabela 1

Udział (%) obszarów podatnych na występowanie surowych susz w ujęciu globalnym (Wang i in. 2014)

Lata	Udział obszarów najmniej podatnych na występowanie susz [%]	Udział obszarów podatnych na występowanie susz [%]	Udział obszarów chronicznie podatnych na występowanie susz [%]
1902-1949	47,45	36,36	16,19
1950-2008	11,44	47,47	41,09
1902-2008	13,09	71,32	15,59

Ujęcie suszy w kategoriach częstotliwości i obszaru występowania jest jednak niewystarczające z punktu widzenia oceny zagrożenia. Ocena intensywności suszy oraz jej skutków, ze względu na zróżnicowanie zależne od obszaru występowania oraz kumulacji konsekwencji w przedłużającej się i coraz bardziej rozległej suszy, jest wykluczona ze względu na charakter zjawiska jako wolno rozwijającego się, o trudnym do uchwycenia początku i końca, zmiennym w czasie epicentrum i różnym natężeniu w czasie jej trwania. Analizy suszy powinny opierać się na ocenie intensywności, czasie trwania, zasięgu przestrzennym w różnych skalach czasowych, przestrzennych w różnych regionach geograficznych z uwzględnieniem jej propagacji w cyklu hydrologicznym (Demuth, Stahl 2001; Panu, Sharma 2002; Burke i in. 2006). Jednak złożoność czasowo-przestrzenna suszy utrudnia ocenę jej oddziaływania, co podkreśla Vicente-Serrano (2007). Duża zmienność zjawiska suszy powoduje, że dobór odpowiedniej skali czasowej (doba – sezon – lata) i przestrzennej (zlewnia – region – kontynent) jest istotnym problemem. Złożoność przebiegu procesu rozwoju powoduje, że susza może trwać od tygodni, miesięcy do kilku lat, a jej nasilenie może być zmienne w czasie i przestrzeni. Obserwowane są często nawroty niekorzystnych warunków, a przy intensywnej suszy niewielkie opady nie są w stanie przywrócić równowagi wodnej w obszarze np. zlewni. Również identyfikacja przestrzenna epicentrow suszy jest trudna ze względu na dużą zmienność obszaru objętego kłęską i różne warunki lokalne. Większość badaczy podkreśla, że podstawę do oceny suszy w ujęciu ilościowym stanowi analiza przestrzenna zjawisk oraz procesów meteorologicznych i hydrologicznych. Znajomość klimatu regionu jest kluczowa do zrozumienia przyczyn powstawania suszy, a zmienność czasowa wyraża czas jej trwania, tendencję do wydłużania się w czasie oraz powtarzalność. Ocena przestrzenna suszy może być rozpatrywana w dowolnej skali pod warunkiem, że w danym obszarze mamy możliwość obserwacji zjawiska lub procesów je kształtujących (Tokarczyk 2010). Znajomość obszaru, jego naturalnego ukształtowania, zagospodarowania przestrzennego oraz prowadzonej gospodarki wodnej daje podstawę do oceny działalności antropogenicznej. Przy ocenie suszy kładzie się nacisk na wzajemne relacje zdarzeń naturalnych i antropopresji w ujęciu czasowym (tabela 2).

Potrzeba sprecyzowania pojęcia suszy, zaklasyfikowania jej według kryteriów dostosowanych do danego obszaru i opisanie parametrami liczbowymi wynika ze względów praktycznych. W ocenie suszy kluczowa jest więc identyfikacja procesu jej rozwoju, intensywności, zmienności czasowej i zasięgu przestrzennego oraz konsekwencji. Identyfikację suszy jako zjawiska naturalnego można sprowadzić do następujących kroków:

- a) faza suszy poddana ocenie (meteorologiczna, glebowa, hydrologiczna);

- b) podstawowy krok czasowy oceny zjawiska (dzień, dekada, miesiąc, sezon, rok);
- c) wydzielenie okresów suszy z serii danych;
- d) zasięg przestrzenny suszy (regionalny, lokalny).

Dobór parametrów opisu suszy zależy nie tylko od dostępności danych, ale również od skali (globalnej, regionalnej) oceny. Jednak charakter zjawiska, tj. czas trwania i zasięg obszarowy, decydują o konsekwencjach. Długi czas trwania suszy oraz duży zasięg przestrzenny powodują, że susza wpływa praktycznie na całość kształt funkcjonowania danego obszaru, a skutki, jakie wywołuje, niejednokrotnie się kumulują. W ocenie konsekwencji suszy należy wziąć pod uwagę trend częstości występowania oraz zasięgu przestrzennego. Nie ma jednoznacznych dowodów na twierdzenie, że zasięg obszarowy suszy wykazuje tendencję rosnącą. Analizy trendu w skali globalnej wykazują, że po 1980 r. liczba intensywnych, długotrwałych suszy oraz ich zasięg obszarowy wzrasta (Blunden i in. 2011; Dai 2011). Według Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu od 1950 r. długotrwałe, intensywne susze obserwuje się w południowej Europie i Afryce Zachodniej, natomiast w innych regionach, w tym samym czasie, występują tendencje odwrotne (IPCC 2012). Sheffield i in. (2012) dowodzą, że globalny zasięg suszy jest niezmienny,

Tabela 2

**Relacje zdarzeń meteorologicznych i klimatycznych
i antropopresji w ujęciu skali czasowej (opracowanie własne)**

Czynniki	Skala czasowa		
	Krótkoterminowa (dni, tygodnie)	Średnioterminowa (miesiące, sezon, lata)	Długoterminowa (dziesięciolecia)
Zdarzenie meteorologiczne i klimatyczne	Okresy bezopadowe, krótkotrwałe niedobory wody Okresy anomalnie suchej pogody, fale upałów	Susze Okresy suche o czasie trwania i intensywności, mające niekorzystny wpływ na ekosystemy, gospodarkę, społeczeństwo	Suchość i pustynnienie Stały i dotkliwy brak dostępnej wody, utrudniający lub uniemożliwiający wzrost i rozwój życia, prowadzący do utraty produktywności biologicznej
Antropopresja	Deficyt wody Przejściowy brak równowagi w naturalnie odnawialnych zasobach wodnych, wzrost popytu wywołany np. zwalczaniem pożaru, utrata podaży spowodowana np. awarią lub zniszczeniem infrastruktury do poboru wody	Niedobory wody, stres wodny Trwały brak równowagi między podażą a popytem, w wyniku wzrostu średniego zapotrzebowania przewyższającego długoterminową dostępność zasobów odnawialnych. Stopień nasilenia nierównowagi różnicuje niedobór wody i stres wodny	Pustynnienie Wskutek wylesiania, prowadzenia niezrównoważonego rolnictwa, wyczerpania zasobów wodnych lub przedłużającej się suszy

a obserwowane od lat 80. XX w. ocieplenie nie przyczynia się do wzrostu zasięgu obszarowego. Czwarty Raport IPCC sygnalizuje potrzebę wskazywania metody oceny trendów, ponieważ wnioski dotyczące rosnącej liczby ekstremalnych suszy na świecie mogą być przeszacowane z powodu stosowania różnych wskaźników (IPCC 2012). Również prowadzone analizy częstotliwości występowania suszy w skali globalnej i regionalnej prowadzoną do różnych wniosków. Spinoni i in. (2013) badali częstość występowania suszy, średni czas trwania, nasilenie i intensywność w założonych horyzontach czasowych: 1981-2010 (niedawna przeszłość), 2017-2041 (bliska przyszłość) oraz 2071-2100 (daleka przyszłość). Badania wykazały, że w bliskiej przyszłości susze będą występowały częściej w stosunku do niedawnej przeszłości w regionie śródziemnomorskim, na Bałkanach, w basenie Morza Czarnego, natomiast w Skandynawii oraz krajach bałtyckich częstotliwość ta będzie mniejsza. W przypadku Europy Środkowej brak jest wyraźnego trendu wzrostu.

1.4. Wpływ suszy na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo

Szczególnie dotkliwa, długotrwała susza o dużym zasięgu terytorialnym może mieć niszczyielskie skutki w postaci znacznych strat w plonach, pożarów lasów, nasilenia degradacji gleby, pustynnienia, zwiększenia rywalizacji o zasoby wodne, a także przemocy społecznej (Bruins, Berliner 1998; Quiring, Papakryiakou 2003; Pausas 2004; MacDonald 2007; Shen i in. 2007). Rolnictwo jest zazwyczaj pierwszym sektorem odczuwającym skutki pojawiającej się suszy, uważanej za jedną z głównych klęsk żywiołowych wpływających na światową produkcję żywności (Dilley i in. 2005; Narasimhan, Srinivasan, 2005; Helmer, Hilhorst 2006). Przykładami mogą być susze z początku XXI w., w wyniku których straty rejestrowane były nie tylko w rolnictwie i gospodarce, ale również odczuwalne były skutki społeczne. W Stanach Zjednoczonych niszczyielskie skutki wywołała susza z 2002 r., która swoim zasięgiem objęła aż dwadzieścia sześć stanów USA, powodując straty w wysokości ponad 2,7 miliarda dolarów, susza z 2011 r. na południu kraju oraz z roku 2012 w centralnej części USA (Wilhite i in. 2007, Kogan i in. 2013). W Hiszpanii niszczyielską była susza trwająca od 1991 do 1995 r. Jej skutki odczuwalne były w rolnictwie (plony zmniejszyły się o 35,86%) oraz w gospodarce wodnej (systemy nawadniające ulegały częstym awariom i nie były w stanie zaspokoić zapotrzebowania). Fundusze pomocowe w tym okresie wyniosły około 600 milionów euro (Vogt, Somma 2000). Analizy przestrzenne wykazały, że obszar dotknięty suszą nie pokrywał się z obszarem, na którym doszło do spadku plonów. Prowadzone w tym czasie działania interwencyjne doprowadziły do złagodzenia skutków na czę-

ści obszaru. W czasie trwania suszy osłabione rośliny były częściej atakowane przez szkodniki i choroby, co pośrednio przyczyniło się do spadku plonów (Warrick 1984). W Polsce największą i najbardziej dotkliwą była susza w latach 2015-2016. Jej przebieg i intensywność były różne w różnych regionach kraju. Straty w rolnictwie oszacowano na ponad 1 mld zł. Negatywne skutki odczuwalne były także w energetyce. Z powodu braku możliwości dostarczenia wody do chłodzenia bloków energetycznych (w dostatecznej ilości i o odpowiedniej temperaturze), w przemyśle wprowadzono ograniczenia w dostawach wody i energii do największych zakładów. W regionach południowej Polski wystąpiły problemy z dostawami wody do gospodarstw domowych. Towarzystwa rybackie alarmowały o masowym śnięciu ryb, wynikającym z deficytu tlenu w wodzie o zbyt wysokiej temperaturze (tzw. przyducha) oraz stratach w materiale zarybieniowym wskutek zwiększonej presji ptaków rybożernych przy niskim stanie wód. Rejestrowane niskie stany wód były także przyczyną zamknięcia szlaków dla żeglugi, turystyki i rekreacji. Długotrwały brak opadów i towarzyszące temu wysokie temperatury spowodowały duże zagrożenie pożarem w lasach, do których wprowadzono zakaz wstępu.

Susza wpływa na funkcjonowanie ekosystemów (szczególnie słodkowodnych, zależnych od wody) i agroekosystemów w sposób bezpośredni i pośredni. Wpływ suszy na funkcje ekosystemów słodkowodnych oraz jej konsekwencje przedstawia tabela 3.

Wpływ suszy na system społeczny wzrasta również w warunkach, gdy występuje zagrożenie niedotrzymania funkcji ekosystemów, zwłaszcza słodkowodnych. Bezpośredni i pośredni wpływ suszy na elementy systemu społecznego reprezentowanego przez wybrane sektory w odniesieniu do zagrożenia dotrzymania funkcji ekosystemów słodkowodnych przedstawiono w tabeli 4.

W odniesieniu do społeczeństwa konieczne jest zrozumienie jego reakcji na zagrożenie suszą oraz sposobu radzenia sobie z nią, czyli tzw. odporności społecznej. Przy czym odporność oznacza zdolność grup, społeczności, miast do przetrzymania okresów zagrożeń lub klęsk żywiołowych i powrotu do stanu normalnego (National Research Council 2011). W przedmiotowej literaturze wskazuje się trzy główne czynniki wpływające na odporność społeczną: poziom stresu, zdolność społeczną do łagodzenia skutków i adaptacji oraz możliwość powrotu do warunków normalnych (Gupta 2011; Schmidt, Garland 2012; Ranjan 2013, 2014; Lundberg, Johansson 2015). Przeprowadzona ocena odporności społecznej na zagrożenie suszą w odniesieniu do działalności gospodarczej i jej potencjalnego stresu wykazała, że podczas trwania suszy zwiększa się zapotrzebowanie na wodę, co sprawia, że gotowość dostaw musi być odporna nie tylko na susze, ale przede wszystkim na uszkodzenia i awarie (Miller i in. 2009, Corti i in. 2011, Watts i in. 2012). Zdolność społeczną do

Tabela 3

Wpływ suszy na ekosystemy słodkowodne (opracowanie własne)

Funkcje ekosystemów słodkowodnych	Konsekwencje suszy
Dostarczanie produktów	
Ryby i inne produkty wodne wykorzystywane do produkcji żywności, produkty lecznicze oraz cele ozdobne	Utrata siedlisk słodkowodnych prowadzi do zaniku ryb, śmierci innych zwierząt wodnych i roślin
Woda	Obniżanie stanów wody w rzekach poniżej poziomów poboru unie-możliwia dostawy wody do domów, przemysłu i rolnictwa; wysychanie naturalnych źródeł i małych cieków oraz utrata ciągłości przepływu w rzekach może obniżyć gwarancję zaopatrzenia w wodę oraz ograniczyć możliwości magazynowania wody w zbiornikach
Osady, rumowisko	Zmniejszanie przepływu oraz utrata ciągłości rzecznej może spowodować zahamowanie transportu osadów bogatych w składniki odżywcze
Regulacyjne	
Regulacja przepływu wody, odwadnianie, retencjonowanie	Wysuszenie i zagęszczenie gleby spowodowane wysokimi temperaturami może utrudniać przesiąkanie i zasilanie wód podziemnych, wywołane suszą pożary lasów mogą zmniejszyć ich rolę w regulacji odpływu wody
Oczyszczanie	Przesuszenie mokradeł zmniejsza ich zdolność do oczyszczania wody
Kontrola biologiczna	Utrata siedlisk spowodowana obniżaniem poziomu wody i utratą ciągłości przepływu prowadzi do zmniejszenia kontroli biologicznej, rozprzestrzenianie nasion
Siedliskowe	
Cykl życiowy gatunków wędrownych	Spadek stanów wody i przepływów oraz przerwanie ciągłości rzecznej może spowodować utratę odpowiednich siedlisk reprodukcyjnych, schronień i terenów szkółkarskich
Różnorodność genetyczna	Utrata gatunków może doprowadzić do zmniejszenia różnorodności genetycznej, zachwiania puli genowej
Fotosynteza	Utrata siedlisk i gatunków prowadzi do utraty produkcji pierwotnej, zachwiania obiegu składników pokarmowych
Kulturotwórcze	
Rekreacja i turystyka	Obniżenie poziomu wody i utrata ciągłości przepływu w rzekach zmniejsza atrakcyjność wód powierzchniowych i wykorzystania rzek do uprawiania rekreacyjnego sportu, pływania łódkami czy kajakami
Nauka, edukacja, wiedza	Obniżenie poziomu wody, utrata ciągłości przepływu w rzekach, utrata gatunków prowadzi do spadku możliwości korzystania z ekosystemów słodkowodnych w celach naukowo-poznawczych; Odsłonięcie znalezisk archeologicznych np. wraków statków, pozostałości po mostach, zabytkach architektonicznych – zwiększenie wiedzy

łagodzenia skutków wyraża potrzeba wdrożenia rozwiązań umożliwiających zarządzanie deszczówką w gospodarstwach domowych (Rockström i in. 2002; Simelton i in. 2009; Ranjan 2013, 2014). W rolnictwie odporność społeczna jest określona

Tabela 4

Wpływ suszy na elementy systemu społecznego (sektory) spowodowane zagrożeniem funkcji ekosystemów słodkowodnych (opracowanie własne)

Sektor	Wpływ suszy na funkcje ekosystemów słodkowodnych	Skutki suszy w systemie społecznym		Eskalacja skutków suszy	
		Skutki suszy w systemie społecznym	Straty i zahamowanie wzrostu plonów i produkcji roślinnej, utrata dochodów przez rolnictwo, obniżenie produkcji żywności	Etap I	Etap II
Rolnictwo	Zmniejszanie wilgotności gleby, ograniczenia ilości wody do nawadniania	Straty w przemyśle spożywczym w produkcji nabiału, mięsa	Zwiększenie importu żywności, wyższe bezrobocie, konflikty między rolnikami a innymi użytkownikami wody, utrata środków utrzymania wśród rybaków i rolników, niedobory żywności i głód	Spowolnienie rozwoju gospodarczego, problemy zdrowotne i niedożywienie, choroby, zwiększona nierówność społeczna, niepokoje społeczne, konflikty o wodę i żywność	
	Zmniejszanie wilgotności gleby, ograniczenia wody dla zwierząt gospodarskich	Spadek plonów, utrata upraw, zwiększenie zachorowalności roślin i zwierząt hodowlanych			
	Degradacja procesów ekosystemowych, zwiększenie inwazji owadów i chorób	Straty z produkcji rybnej			
	Degradacja siedlisk rybnych, zmniejszenie produkcji ryb				
Turystyka	Obniżenie poziomów wód powierzchniowych, ograniczenia dla rekreacji i turystyki	Straty w przemyśle turystycznym i rekreacyjnym	Wzrost bezrobocia w sektorze turystycznym, utrata środków do życia	Spowolnienie rozwoju gospodarczego	
Energetyka, przemysł, nawigacja	Zmniejszenie przepływów, ograniczenia dostępności wody, w tym do chłodzenia.	Spadek produkcji energii w elektrowniach wodnych	Wzrost bezrobocia w przemyśle, zwiększony import żywności, konflikty o wodę między użytkownikami	Spowolnienie rozwoju gospodarczego, niepokoje społeczne, konflikty o wodę i żywność	
	Spadek stanów wody i przepływów w rzekach i kanałach	Ograniczenia transportu towarów drogowymi wodnymi, niedobory wody dla przemysłu, spadek produkcji przemysłowej oraz dochodów z eksportu			
Gospodarstwa domowe	Obniżenie stanów wody w rzekach poniżej poziomów poboru wody	Niedobory wody na potrzeby gospodarstwa domowego	Drobne konflikty użytkowników, zwiększona nierówność społeczna	Problemy zdrowotne, odwodnienie, choroby, niepokoje społeczne, i konflikty o wodę i żywność	
Inne	Obniżenie poziomów wód powierzchniowych	Spadek aktywności działalności kulturalnej związanej z wodą	Niezadowolenie społeczne	Spowolnienie rozwoju gospodarczego, niepokoje społeczne i konflikty polityczne	
	Zmniejszenie wilgotności gleby	Pożary	Straty w majątku, degradacja gleb		

jako zdolność do przetrwania suchych lat i powrotu do poziomu produkcji sprzed zdarzenia (Ranjan 2013). Samoświadomość społeczeństwa i korzystanie z narzędzi zarządzania ryzykiem zwiększa odporność społeczną, co może mieć wpływ nie tylko na system społeczny, ale także na ekosystemy (Schmidt, Garland 2012). Oznacza to, że adaptacja i planowanie przeciwdziałania skutkom suszy mogą mieć pozytywny wpływ synergiczny na system naturalny i społeczny.

Ze względu na złożoność zagadnienia i szerokie oddziaływanie suszy, jej ocenę przeprowadza się na podstawie informacji jakościowej i ilościowej (Steinemann i in. 2005). Wzajemne oddziaływanie różnych czynników powoduje, że wielu badaczy koncentruje się na ocenie skutków suszy z uwzględnieniem wpływu regionalnych uwarunkowań (Warrick 1984; Trnka i in. 2007; Peltonen-Sainio i in. 2010; David i in. 2011; Kristensen i in. 2011). Dopiero połączenie oceny przeprowadzonej subiektywnie przez lokalnych ekspertów z obiektywnymi danymi daje możliwość opracowania wielowymiarowych wskaźników suszy z uwzględnieniem warunków lokalnych, narażenia i podatności obszaru (Svoboda i in. 2002). Natomiast badania ukierunkowane na poprawę prognozowania suszy przyczynią się do minimalizacji jej skutków i odpowiedniego dostosowania np. rolnictwa celem maksymalizacji produkcji rolnej (Potop 2011). Ocenia się, że susza może spowodować obniżkę plonów do 60%. Jest to istotne zwłaszcza w kontekście badań, które przewidują, że susze, jako kluczowy czynnik wpływający na światowe bezpieczeństwo żywnościowe, będą pojawiały się coraz częściej (Tubiello i in. 2007; Li i in. 2009). Dlatego też działania łagodzące skutki suszy są elementem strategii adaptacji w odniesieniu do konsekwencji zmian klimatycznych i społeczno-gospodarczych (Starkel, Kundzewicz 2008).

Ocena suszy, jej naturalnych przyczyn pojawiania się w połączeniu z wpływem działalności antropogenicznej i analizą konsekwencji odczuwalnych w środowisku, społeczeństwie i gospodarce daje podstawy do przeciwdziałania jej skutkom, jeśli zastosujemy podejście oparte na analizie ryzyka.

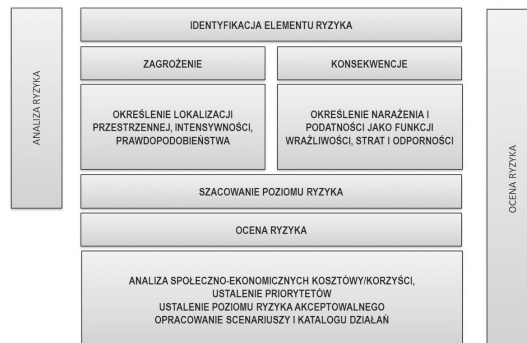
2. SUSZA JAKO RYZYKO

Susza rozumiana jako zagrożenie hydrometeorologiczne w skrajnych przypadkach jest klęską żywiołową. Zagrożenie jest zdefiniowane jako niebezpieczne zjawisko, działalność człowieka lub stan, który może spowodować utratę życia, obrażenia ciała lub inne skutki dla zdrowia, szkody materialne, utratę środków na utrzymanie, zakłócenia społeczne i gospodarcze oraz szkody w środowisku (UNISDR 2009). Ilościowa ocena zagrożenia odnosi się do częstości, prawdopodobieństwa występowania suszy o różnej intensywności, w różnych obszarach i jest określana na pod-

stawie danych historycznych i analiz naukowych. Skutki zjawiska, konsekwencje dla systemu naturalnego i społecznego oraz możliwości ich ograniczenia są przedmiotem analizy i oceny ryzyka suszy. Są one podstawą do zrozumienia zagrożenia i procesów odpowiedzialnych za jego wystąpienie. Świadomość i wiedza prowadzi do właściwego ograniczania skutków i zarządzania ryzykiem, które ukierunkowane jest na jego minimalizację. Ocena ryzyka jest częścią procesu zarządzania i podstawą do podejmowania decyzji. Ogólny schemat elementów oceny ryzyka przedstawia rys. 5.

Wynikiem oceny ryzyka jest opracowanie scenariuszy i katalogu działań mających na celu jego zminimalizowanie. Ograniczanie ryzyka jest procesem długoterminowym. W połączeniu ze zrównoważonym rozwojem i planowaniem działań adaptacyjnych stanowi element strategii i polityki prowadzonej na różnych szczeblach. Proces ograniczania ryzyka suszy powinien mieć charakter partycypacyjny i angażować szeroki wachlarz interesariuszy, takich jak władze krajowe i lokalne, społeczność oraz organizacje społeczeństwa obywatelskiego, organizacje regionalne i ponadregionalne, wielostronne i dwustronne organy międzynarodowe, środowisko naukowe, sektor prywatny oraz media.

Ważnym aspektem procesu ograniczania ryzyka suszy jest jego stały rozwój. Zdolności rozwojowe można postrzegać na trzech poziomach: indywidualnym i grupowym, instytucjonalnym oraz systemowym. Rozwój ograniczania ryzyka suszy powinien być koordynowany, wdrażany i monitorowany w ramach krajowych mechanizmów w zakresie ograniczania ryzyka związanego z klęskami żywiołowymi. Wymaga to zaangażowania politycznego na wysokim szczeblu, wsparcia instytucjonalnego oraz właściwego i skutecznego zarządzania. Skuteczne przeciwdziałanie suszy powinno uwzględniać pięć głównych elementów: (a) politykę i zarządzanie, (b) identyfikację i monitorowanie ryzyka oraz wczesne ostrzeżenie, (c) budowanie świadomości, zarządzanie wiedzą i edukację, (d) minimalizowanie ryzyka suszy oraz



Rys. 5. Elementy oceny ryzyka (na podstawie UNISDR 2004)

(e) wzmacnianie działań łagodzących oraz podnoszących gotowość na wystąpienie suszy. Elementy te powinny być uwzględniane na szczeblu krajowym, regionalnym, lokalnym oraz wspólnotowym.

Polityka i zarządzanie powinny odpowiadać na lokalne potrzeby społeczności i opierać się na politycznym zaangażowaniu oraz istniejących mechanizmach. Prowadzenie polityki i planowania na poziomie lokalnym i wspólnotowym zwiększa samodzielność w przeciwdziałaniu i odporność na suszę.

Identyfikacja zagrożenia suszą, monitorowanie ryzyka i wczesne ostrzeżenie jest punktem wyjścia do budowania odporności. Metody oceny ryzyka, bazujące na analizie i ocenie zagrożenia pozwalają na lepsze zrozumienie konsekwencji i skutków w obszarach narażonych na suszę.

Budowanie świadomości, zarządzanie wiedzą i edukacja poprzez gromadzenie i rozpowszechnianie informacji na temat zagrożeń powinny być powiązane z budowaniem społecznej świadomości w zakresie ograniczania ryzyka suszy. Interakcja między twórcami i użytkownikami informacji jest niezbędna do tworzenia użytecznych komunikatów. Edukacja na rzecz ograniczania ryzyka suszy jako interaktywny proces wzajemnego uczenia się społeczeństwa i instytucji z wykorzystaniem wiedzy naukowej i lokalnej przyczynia się do lepszego zrozumienia mechanizmów powstawania suszy.

Minimalizowanie ryzyka suszy, przegląd komponentów ryzyka w połączeniu z efektywnym zarządzaniem środowiskiem i zasobami naturalnymi, rozwojem społecznym i gospodarczym oraz planowaniem przestrzennym prowadzi do zmniejszenia podatności na suszę.

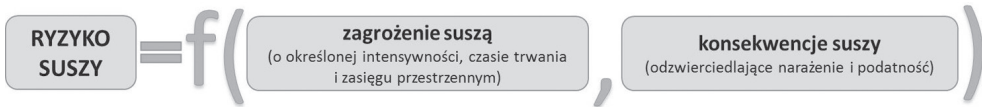
Wzmacnianie działań łagodzących oraz podnoszących gotowość na wystąpienie suszy wpływa na zmniejszenie skutków i strat, gdy władze i społeczeństwo są dobrze przygotowane, posiadają odpowiednią wiedzę i umiejętności potrzebne do skutecznego zarządzania suszą oraz są gotowe do działania. Łagodzenie skutków i gotowość mają większy wpływ na zmniejszenie skali suszy i jej skutków niż ograniczanie się do prowadzenia działań doraźnych w sytuacjach awaryjnych.

Podstawą do właściwego i skutecznego zarządzania ryzykiem suszy jest przyjęcie spójnego systemu pojęć i definicji, które pozwolą na określenie jakościowe i ilościowe poszczególnych komponentów wymaganych do oceny i analizy ryzyka.

2.1. Ryzyko suszy

Ryzyko suszy rozumiane jest jako właściwość systemu społecznego i naturalnego, odzwierciedlająca interakcję pomiędzy klimatycznym zagrożeniem suszą

meteorologiczną i hydrologiczną a podatnością społeczną, środowiskową oraz gospodarczą (WWF, GIWP 2016). Tak zdefiniowane ryzyko suszy zawiera dwie podstawowe składowe: (a) zagrożenie – brak opadów, obniżenie przepływów w rzekach, obniżenie zwierciadła wód podziemnych oraz (b) konsekwencje – wynikające z zagrożenia o określonej skali, np. spadek plonów czy pożary lasów (rys. 6).



Rys. 6. Składowe oceny ryzyka (na podstawie WWF, GIWP 2016)

W analizie ryzyka kluczowe jest zrozumienie i zaakceptowanie niepewności związanej z jego ilościową i jakościową oceną, będącą wynikiem złożonej natury zjawiska i jego konsekwencji.

2.2. Ocena stopnia zagrożenia suszą

Ocena ryzyka suszy polega na określeniu zagrożenia zjawiskiem w kategoriach prawdopodobieństwa jego wystąpienia z uwzględnieniem intensywności, czasu trwania i zasięgu przestrzennego oraz możliwości wystąpienia czynników meteorologicznych kształtujących suszę i warunkujących propagację deficytu opadów w poszczególnych komponentach cyklu hydrologicznego (rys. 7).

Zależność pomiędzy czynnikami warunkującymi wystąpienie suszy a odpowiedzią hydrologiczną zlewni podlega zmienności zarówno w czasie, jak i przestrzeni, i może się różnić w zlewniach oraz sezonach.

Ocenę stopnia zagrożenia wyraża się więc poprzez możliwość wystąpienia określonego zdarzenia lub sekwencję zdarzeń w populacji wszystkich możliwych zdarzeń. Prawdopodobieństwo, jako miara oceny, jest bezwymiarowe i związane z określoną skalą czasową. Na przykład prawdopodobieństwo, że wartość przepływu spadnie poniżej określonego progu wyraża się w kategorii prawdopodobieństwa nieosiągnięcia w ciągu 1 roku, 10 lat, 100 lat. Ocena stopnia zagrożenia może być wyrażona również w sposób jakościowy.



Rys. 7. Składowe oceny zagrożenia (na podstawie WWF, GIWP 2016)

2.3. Ocena konsekwencji wystąpienia suszy

Konsekwencje wyrażają wpływ suszy na gospodarkę, społeczeństwo lub środowisko. Ich miary mogą być przyjmowane w formie ilościowej (monetarnie, nominalnie) lub jakościowej skategoryzowanej (wysokie, średnie, niskie). Niekiedy wyrażane są opisowo (tabela 5).

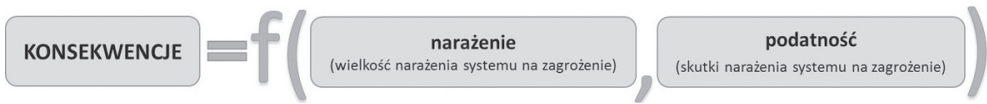
W systemowym podejściu strategicznym dotkliwość konsekwencji suszy o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym dla poszczególnych elementów systemów społecznych i naturalnych jest efektem narażenia elementu na zagrożenie i jego podatności (rys. 8-9).

N a r a ż e n i e charakteryzuje element systemu społecznego lub naturalnego, podlegający ekspozycji na zagrożenie suszą (np. wielkość populacji, wielkość

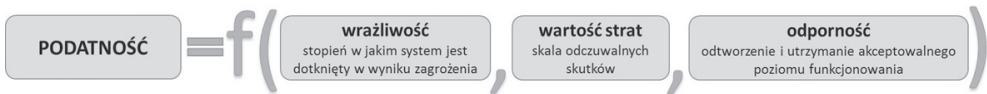
Tabela 5

Ocena konsekwencji suszy o określonym poziomie intensywności wyrażonej za pomocą wybranych wskaźników (źródło: National Drought Mitigation Center, Nebraska)

Kategoria	Zagrożenie		Konsekwencje
	Wskaźnik surowości suszy Palmera	Wskaźnik standaryzowanego opadu <i>SPI</i>	
Początki suszy	-1,0 do -1,9	-0,5 do -0,7	Sytuacja prowadząca do wystąpienia suszy: krótkotrwałe suche okresy negatywnie wpływające na vegetację roślin (w tym upraw i pastwisk); pojawienie się suszy: początek występowania niedoborów wody; brak całkowitej regeneracji upraw i pastwisk
Susza umiarkowana	-2,0 do -2,9	-0,8 do -1,2	Nieznaczne straty w uprawach/pastwiskach; niskie stany wody w zbiornikach, ciekach, studniach; możliwość wystąpienia niedoborów wody w bliskiej przyszłości; wymagane wprowadzenie ograniczeń w korzystaniu z wody na zasadzie dobrowolności
Susza intensywna	-3,0 do -3,9	-1,3 do -1,5	Prawdopodobieństwo wystąpienia strat w uprawach/pastwiskach; częste niedobory wody; wprowadzone ograniczenia w korzystaniu z wody
Susza bardzo intensywna	-4,0 do -4,9	-1,6 do -1,9	Duże straty w uprawach/pastwiskach; występujące na dużym obszarze niedobory wody lub ograniczenia w korzystaniu z wody
Susza ekstremalna	poniżej -5,0	poniżej -2,0	Wyjątkowo intensywne i rozległe straty w uprawach/pastwiskach; niedobory wody w zbiornikach wodnych, ciekach i studniach, powodujące zagrożenie braku wody



Rys. 8. Składowe oceny konsekwencji (na podstawie WWF, GIWP 2016)



Rys. 9. Składowe oceny podatności (na podstawie WWF, GIWP 2016)

i rodzaj upraw, obszar występowania określonego siedliska). **P o d a t n o ś ć** określa możliwość wystąpienia konsekwencji na skutek zagrożenia suszą o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym. Charakteryzuje również stopień, w jakim dany element systemu naturalnego lub społecznego nie jest w stanie poradzić sobie z negatywnymi skutkami suszy. Podatność jest funkcją wrażliwości, wartości strat i odporności.

W r a ż l i w o ś ć określa stopień, w jakim element systemu naturalnego lub społecznego jest dotknięty suszą o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym (np. niedobór wilgoci w glebie może obniżyć plony o kilkadziesiąt procent). Wynikiem oceny wrażliwości jest identyfikacja obszarów wrażliwych. **W a r t o ś ć s t r a t** przedstawia nominalnie skalę wielkości szkód. Miary szacowania wartości szkód powinny być znormalizowane i zestandaryzowane pod kątem hierarchizacji obszarów narażonych na suszę np. liczba osób poszkodowanych w związku z ograniczonym dostępem do wody czy procentowa utrata powierzchni siedlisk. Uproszczone podejście może obejmować jakościową ocenę w postaci skategoryzowanej (wysoka, średnia lub niska wartość strat). **O d p o r n o ś ć** oznacza zdolność elementu systemu naturalnego lub społecznego do odtworzenia w określonym terminie akceptowalnego poziomu funkcjonowania oraz jego utrzymania z uwzględnieniem potencjału adaptacyjnego. Podejmowanie działań mających na celu zwiększanie odporności elementu systemu naturalnego lub społecznego bezpośrednio redukuje ryzyko suszy.

Ocena suszy w kategoriach ryzyka, które wiąże ze sobą ocenę zagrożenia i konsekwencji, wymaga podejścia ciągłego, systematycznego i stale rozwijanego. Spełnienie tych wymagań zapewnia zastosowanie procesu i procedur zarządzania ryzykiem suszy.

3. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM SUSZY

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozwiązania problemu dotyczącego niedoboru wody i suszy w Unii Europejskiej (KOM(2007)414) oraz Sprawozdanie z przeglądu europejskiej polityki w dziedzinie niedoboru wody i suszy (KOM(2012)672) odnoszą się do suszy jako zjawiska o charakterze naturalnym i definiują ją jako tymczasowy spadek dostępności wody związany m.in. z brakiem opadów. Podkreśla się konieczność rozróżnienia suszy i niedoborów wody, ponieważ niedobór jest zjawiskiem spowodowanym działalnością antropogeniczną i pojawia się w sytuacji, gdy realizowane zapotrzebowanie na wodę przekracza dostępne zasoby wodne. Jednak często dochodzi do nakładania się efektów wywołanych naturalnym przebiegiem zjawiska suszy oraz antropopresją, co prowadzi do sztucznie pogłębionych, intensywnych susz o gwałtownym przebiegu, wydłużonym czasie trwania i trudnym do przewidzenia pojawianiu się. Zaleca się, aby ocena suszy uwzględniała czynniki naturalne i uwarunkowania związane z kształtowaniem zasobów wodnych oraz ich wykorzystaniem, a także opierała się na analizie ryzyka w procesie zarządzania.

Zarządzanie ryzykiem jest ciągłym, proaktywnym i systematycznym procesem mającym na celu zrozumienie ryzyka i informowanie o nim z szerokiej perspektywy. Proces zarządzania ryzykiem suszy opiera się na ogólnie stosowanych zasadach zarządzania ryzykiem i jest dostosowany do różnych poziomów obszarowych, legislacyjnych i finansowych. Obejmuje następujące kroki:

- określenie rezultatów, które należy osiągnąć;
- identyfikację kluczowych założeń (czynników) sukcesu;
- identyfikację ryzyka;
- analizę i uszeregowanie ryzyka pod względem prawdopodobieństwa i skutków;
- określenie gotowości do ponoszenia ryzyka oraz poinformowanie o niej;
- określenie i ocenianie reakcji na ryzyko;
- ustalenie reakcji na ryzyko rezydualne;
- monitorowanie i sprawozdawczość.

Proces ten powinien być osadzony w kulturze organizacyjnej i wykorzystywany jako wskazówka w odniesieniu do wyników i udoskonalień, w tym sposobu alokacji zasobów finansowych i ludzkich. Systemowe podejście do problemu zarządzania ryzykiem zawarte jest w Normie ISO 31000:2009, która jest zestawem zasad, ram i wytycznych do przestrzegania przy wdrażaniu procesu oceny ryzyka (Wróblewski 2015). Struktura ramowa zarządzania ryzykiem tworzy zestaw elementów zapewniających podstawy i ustalenia organizacyjne w zakresie planowania, monitorowania, wdrażania, dokonywania przeglądów i ciągłego doskonalenia zarządzania ryzykiem

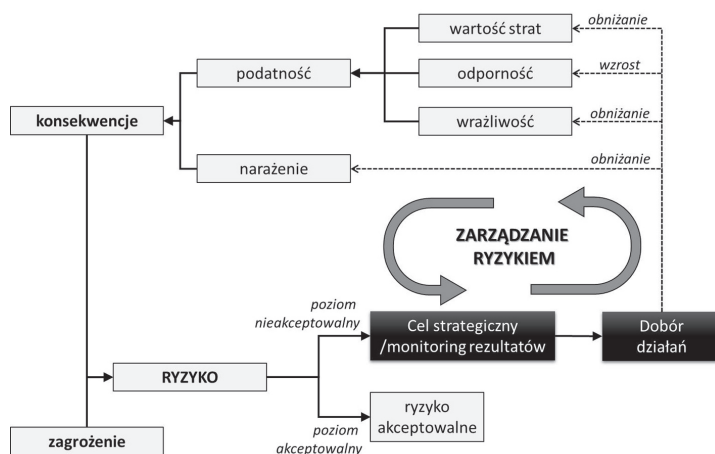
(ISO Guide 73:2009 Risk Management – Vocabulary). Ramy zarządzania ryzykiem są osadzone na strategii ogólnej, polityce, prowadzonych działaniach oraz praktyce. Uwzględniają związki zewnętrzne i wewnętrzne, procesy, zasoby, zakresy odpowiedzialności, prowadzone działania i przedstawiane są jako pięcioelementowy zestaw zawierający:

- 1) akceptację odpowiedzialności za ryzyko oraz doskonalenie wszechstronnej kontroli i strategii postępowania z ryzykiem;
- 2) permanentne doskonalenie zarządzania ryzykiem poprzez opracowywanie zestawu przedsięwzięć, analiz, prowadzenie przeglądów i modyfikację systemu;
- 3) identyfikację osób odpowiedzialnych za zarządzanie ryzykiem, które powinny być właściwie przygotowane, dysponować odpowiednimi zasobami, a także prowadzić i doskonalić kontrolę, monitorowanie oraz komunikację wewnętrzną i zewnętrzną;
- 4) podejmowanie decyzji na każdym szczeblu z uwzględnieniem ryzyka i zastosowaniem odpowiednich procesów zarządzania nim;
- 5) terminowe i kompletne raportowanie stosowanych procesów do komórek, zespołów odpowiedzialnych za nadzór oraz kontrolę zarządzania ryzykiem.

Zarządzanie ryzykiem powinno ułatwiać podejmowanie strategicznych decyzji, które przyczynią się do osiągnięcia rezultatów.

W odniesieniu do susz zarządzanie ryzykiem ukierunkowane jest na ocenę zagrożenia hydrometeorologicznego oraz jego konsekwencji w odniesieniu do systemów naturalnego i społecznego wraz z przeciwdziałaniem. W trakcie suszy dochodzi do sytuacji konfliktowych i realizacja działań zabezpieczających potrzeby określonego elementu systemu społecznego lub naturalnego może negatywnie wpływać na dotrzymanie gwarancji wynikającej z potrzeb innych użytkowników. Przeciwdziałanie skutkom suszy oraz ich ograniczanie, uwzględniające potrzeby wszystkich użytkowników wraz z ich zabezpieczeniem na zasadach zrównoważonego podejścia, przy jednoczesnej minimalizacji strat gospodarczo-ekonomicznych i środowiskowych, wymaga wprowadzenia strategicznego zarządzania ukierunkowanego na osiągnięcie oczekiwanych rezultatów. Jest to możliwe, jeśli wszystkie działania wpływające bezpośrednio lub pośrednio na osiągnięcie efektów, przyczynią się do uzyskania pożądaných rezultatów. Podejście takie powinno być ujęte w długofalowej strategii gospodarowania wodami i przeciwdziałania skutkom suszy na poziomie krajowym. Do osiągnięcia celu konieczne jest opracowanie planu zarządzania suszą, który obejmuje wskazanie zakresu kierunkowych działań na drodze systemowego podejścia z uwzględnieniem wszystkich składowych oceny i dynamiki zmian ryzyka w czasie oraz analiz wzajemnego powiązania pomiędzy elementami systemów naturalnych i społecznych.

Realizacja celów zarządzania ryzykiem suszy na zasadach zrównoważonego podejścia prowadzi do wzrostu odporności systemów ludzkich, środowiska i gospodarki, wpisując się w założenia długofalowej strategii planistycznej. Stopień odporności na ryzyko suszy definiuje się w sposób mierzalny, aby umożliwić ocenę i weryfikację skuteczności podejmowanych działań łagodzących. Zarządzanie ryzykiem, uwzględniające aktualne uwarunkowania klimatyczne, gospodarcze i legislacyjne powinno umożliwiać dynamiczne wprowadzanie korekt i adaptacji do przewidywanych zmian np. klimatu czy rozwoju socjoekonomicznego. Wprowadzenie strategicznego podejścia opiera się na zasadzie, że efektywne zarządzanie ryzykiem jest niezbędne do skutecznego osiągnięcia oczekiwanych rezultatów, a korzyści są większe niż skutki potencjalnego ryzyka. Podstawową funkcją procesu zarządzania ryzykiem jest jego redukcja do akceptowalnego poziomu, na drodze racjonalnego kompromisu pomiędzy kosztami związanymi z realizacją określonych zadań w przeciwdziałaniu skutkom suszy a osiągniętymi korzyściami społecznymi, środowiskowymi i gospodarczymi (rys. 10).



Rys. 10. Ukierunkowanie procesu zarządzania ryzykiem suszy (opracowanie własne)

Całkowite wyeliminowanie ryzyka nie jest możliwe, ale poprzez odpowiednie działania można je zmniejszać lub ograniczać jego skutki do akceptowalnego poziomu, którego wielkość pozwala na zaspokajanie potrzeb wodnych systemu społecznego i naturalnego w warunkach suszy (tzw. ryzyko rezydentne).

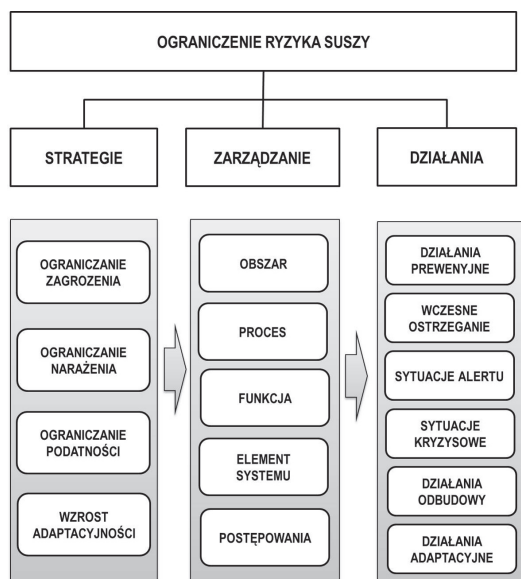
Zrównoważone podejście w zarządzaniu ryzykiem suszy, polegające na równoprawnym traktowaniu użytkowników wód przy uwzględnieniu konieczności ochrony środowiska naturalnego, wprowadza konieczność stosowania strategii zarządzania, stanowiącą główną wytyczną postępowania. Strategia zarządzania uwzględnia:

- cele ogólne i cząstkowe, które rozstrzygają o funkcjonowaniu i rozwoju;
- otoczenie i czynniki wewnętrzne;
- poziom organizacyjno-techniczny i zasoby;
- programy i plany;
- elastyczne podejście do horyzontu planowania;
- ocenę z zastosowaniem kryteriów efektywności.

3.1. Ramowa struktura strategicznego zarządzania ryzykiem suszy

Strategiczne zarządzanie ryzykiem suszy na zasadach zrównoważonego podejścia polega na zabezpieczeniu aktualnych i prognozowanych potrzeb wodnych ludności, gospodarki i środowiska, minimalizując powstałe straty społeczno-ekonomiczne. Pozwala na priorytetyzację działań łagodzących i przeciwdziałających skutkom wystąpienia suszy z uwzględnieniem horyzontu czasowego ich wdrożenia. Strategie zarządzania odnoszą się do: (a) obszarów, (b) procesu, (c) funkcji, (d) elementu systemu oraz (e) postępowania. Ogólny schemat strategicznego zarządzania ryzykiem suszy przedstawia rys. 11.

Strategie zarządzania ryzykiem w obszarach odnoszą się zarówno do terytorium występowania susz (zlewnia, dorzecze, region wodny), jak również szczebli prowadzonej polityki (kraj, region, lokalny), które powinny być komplementarne wobec



Rys. 11. Ogólny schemat strategicznego zarządzania ryzykiem suszy (opracowanie własne)

siebie, aktualne z obowiązującymi regulacjami legislacyjno-prawnymi i zgodne z innymi planami obowiązującymi w danym obszarze, np. planami zagospodarowania przestrzennego.

Strategie zarządzania ryzykiem w odniesieniu do procesu pozwalają na priorytetyzację elementów systemu naturalnego i społecznego (hodowla ryb, odtworzenie habitatu, degradacja gleby w wyborze działań łączących skutki i ograniczających ryzyko suszy).

Strategie zarządzania ryzykiem w odniesieniu do funkcji pozwalają na określenie priorytetyzacji funkcji obiektu i jego wpływu na ryzyko suszy, np. utrzymanie użytkowania rolniczego obszaru czy zmiana na funkcję retencjonowania wody.

Strategie zarządzania ryzykiem w odniesieniu do elementu systemu naturalnego i społecznego pozwalają na priorytetyzację ich podatności na wystąpienie suszy, np. sektora gospodarki, gałęzi przemysłu, osób powyżej 65. roku życia, siedliska wodnego itp., co wpływa na poziom ryzyka.

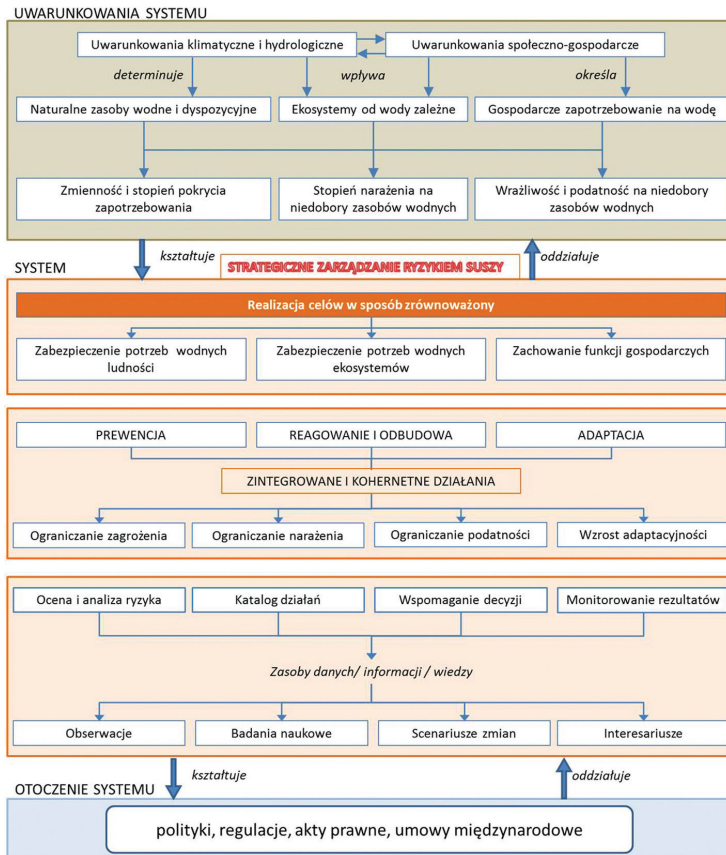
Strategie zarządzania w postępowaniu pozwalają na priorytetyzację czynności np. prowadzenie gospodarki wodnej na zbiornikach, utrzymanie stałego piętrzenia, odwodnienia i jego wpływu na poziom ryzyka suszy.

Zarządzanie strategiczne ryzykiem suszy opiera się na kompleksowym podejściu wielowymiarowym, skalowalnym, w ujęciu adaptacyjnym ukierunkowanym na wybór i realizację opcji przeciwdziałania skutkom suszy (rys. 12).

Kompleksowe podejście wymusza opracowanie systemu funkcjonalnego i metodycznego, w którym susza rozumiana jest w kategoriach ryzyka i zawiera następujące elementy:

- diagnozę uwarunkowań systemu jako emergentnej właściwości klimatu, odpowiedzi hydrologicznej zlewni na warunki klimatyczne oraz interakcji systemów społecznego i naturalnego;
- identyfikację kluczowych potrzeb (ludności i ekosystemów od wody zależnych, gospodarczych) dla ich osiągnięcia na drodze zrównoważonego kompromisu;
- opcje zarządzania ryzykiem suszy na etapie prewencji, reagowania i odbudowy oraz adaptacji;
- implementację metod i narzędzi zarządzania ryzykiem suszy, w tym do operacyjnej analizy i oceny ryzyka, doboru optymalnych działań oraz ciągłego rozwoju i doskonalenia systemu;
- ocenę rezultatów i sposobów monitorowania, kontrolę zarządzania ryzykiem.

Budowa i rozwój systemu musi odpowiadać na aktualne uwarunkowania oraz umożliwiać w elastyczny sposób wprowadzanie przyszłych zmian. System zarządzania ryzykiem opracowuje się dla wybranej jednostki obszarowej w skali, dla której analizowane jest ryzyko suszy (dorzecze, region wodny, zlewnia).



Rys. 12. Ogólny schemat strategicznego zarządzania ryzykiem suszy (na podstawie WWF, GIWP 2016)

3.2. Diagnoza uwarunkowań ryzyka i identyfikacja kluczowych potrzeb

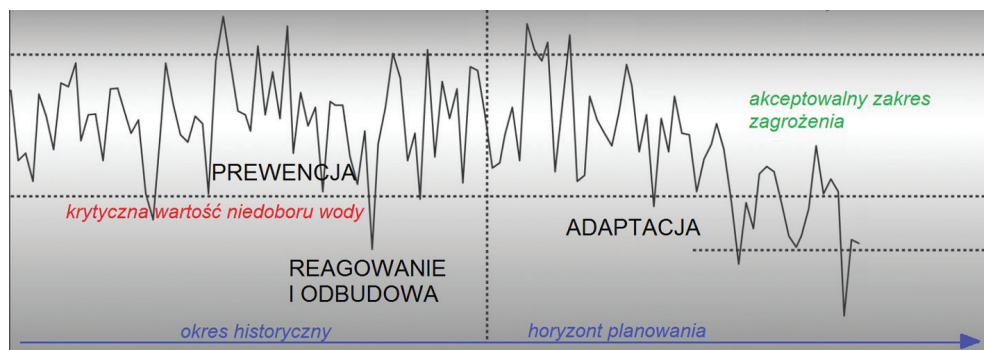
Diagnoza uwarunkowań ma na celu identyfikację i ocenę składowych ryzyka suszy, w tym wielkości zagrożenia suszą w ujęciu probabilistycznym, wielkości narażenia oraz podatności poszczególnych elementów systemów naturalnego i społecznego. Przebiega wieloetapowo, a poszczególne etapy przeprowadzane są równocześnie w odniesieniu do wszystkich zidentyfikowanych elementów systemów. Etapy diagnozy obejmują:

- inwentaryzację dostępnych źródeł danych, informacji i wiedzy dotyczących czynników naturalnych i antropogenicznych kształtujących suszę na danym obszarze (m.in. danych klimatycznych, glebowych, hydrologicznych, prognoz z modeli klimatycznych i hydrologicznych, zagospodarowania obszaru, prowa-

- dzonych zabiegów agrotechnicznych, stopnia uszczelnienia obszaru);
- inwentaryzację informacji o elementach systemów naturalnego i społecznego, np. uprawach, siedliskach przyrodniczych, gałęziach przemysłu, obszarach chronionych, transporcie wodnym, turystyce, jak również informacji o stratach i skutkach ekonomicznych wystąpienia suszy historycznych dla poszczególnych elementów systemów społecznych i naturalnych;
 - określenie niezbędnego zakresu i rozdzielczości czasowo-przestrzennej danych wymaganych do oszacowania ryzyka wystąpienia suszy i oceny wpływu suszy;
 - określenie naturalnych zasobów wodnych oraz zasobów dyspozycyjnych;
 - przegląd i analizę dokumentów strategicznych dla danego obszaru, związanych z szeroko pojętą problematyką suszy i metodami jej przeciwdziałania;
 - określenie zapotrzebowania poszczególnych elementów systemów społecznego i naturalnego na zasoby wodne;
 - określenie wielkości narażenia i jego przestrzennej zmienności elementów systemów naturalnego i społecznego;
 - opracowanie macierzy oceny wrażliwości i podatności obszaru na susze, obejmującej wpływ wszystkich czynników kształtujących susze (naturalnych i antropogenicznych) na wszystkie zinwentaryzowane elementy systemów naturalnego i społecznego. Macierz podatności jest pochodną macierzy wrażliwości, w której nadany stopień wrażliwości może ulec modyfikacji ze względu na stopień odporności danego elementu oraz wartość względną strat;
 - analizę zmienności w czasie i spodziewanych projekcji zmian (z uwzględnieniem zmian klimatu) w zasobach naturalnych i dyspozycyjnych oraz w zapotrzebowaniu na zasoby wodne dla poszczególnych elementów systemów naturalnego i społecznego z uwzględnieniem scenariuszy społeczno-gospodarczych;
 - określenie wpływu prognozowanych zmian na wielkość wrażliwości i podatności poszczególnych elementów systemu.

Przeprowadzona diagnoza uwarunkowań systemu zarządzania suszą wraz z określeniem aktualnych wartości i spodziewanych zmian czynników kształtujących susze, pozwala na przeprowadzenie oceny i analizy ryzyka zjawiska dla poszczególnych elementów systemów naturalnego i społecznego na danym obszarze. Ocena i analiza ryzyka jest ukierunkowana na opracowanie planu strategii zarządzania i określenie jej celów poprzez wyznaczenie priorytetowych elementów systemów społecznego i naturalnego oraz identyfikację ich kluczowych potrzeb. Ocena i analiza ryzyka obejmuje wielowymiarowe ujęcie poziomu ryzyka suszy z uwzględnieniem zagrożenia, narażenia i podatności wraz z jej składowymi wrażliwością, odpornością, wartością strat oraz profilowaniem jego zmian w ustalonych horyzontach planowania.

Profilowanie ryzyka pozwala na określenie horyzontów czasowych dla poszczególnych celów strategicznych i wspomaga dobór działań w ramach określonych opcji zarządzania (rys. 13).



Rys. 13. Profilowanie ryzyka w odniesieniu do opcji zarządzania ryzykiem (opracowanie własne)

Znając ryzyko, można ustalić strategię efektywnego nim zarządzania. Wybór strategii polega na określeniu, czy poziom ryzyka jest akceptowalny, czy należy je odrzucić. Brak akceptacji skutkuje przyjęciem strategii „unikania” ryzyka. Natomiast akceptacja, w zależności od istniejącego poziomu ryzyka, może zakończyć się wyborem strategii „podjęcia”, „redukcji” lub „transferu” ryzyka. Po przeanalizowaniu możliwych opcji i wariantów, należy wybrać strategię właściwą dla danego ryzyka. Istotne jest, aby dokonywać wyboru strategii dla poszczególnych ryzyk w połączeniu z ogólną strategią oraz strategiami przyjętymi dla innych ryzyk. Przyjęte strategie powinny być spójne w skali wszystkich ryzyk oraz przekładane na konkretne działania, niezbędne do ich realizacji. Działania te muszą być na bieżąco monitorowane.

3.3. Opcje zarządzania ryzykiem suszy

Opcje zarządzania obejmują różne etapy, odnoszące się do zagrożenia wystąpienia suszy: prewencję w sytuacji braku zagrożenia, reagowanie i odbudowę w przypadku wystąpienia zagrożenia oraz adaptację. Prewencja dotyczy poszerzania akceptowalnego zakresu zagrożenia suszą poprzez realizację działań ochronnych (technicznych i nietechnicznych), działań strukturalnych, organizacyjnych i edukacyjnych. Reagowanie i odbudowa odnoszą się do działań, które powinny zostać uruchomione w trakcie wystąpienia zagrożenia i obejmują działania informacyjne, operacyjne, interwencyjne oraz naprawcze. Działania adaptacyjne podejmowane są,

gdy w danym horyzoncie czasowym prognozowany jest wzrost ryzyka (np. wzrost wielkości zagrożenia spowodowanego spadkiem dostępnych zasobów wodnych w wyniku wzrostu temperatury i ewapotranspiracji lub wzrost częstotliwości występowania zagrożenia wskutek wystąpienia licznych okresów bezopadowych z wysoką temperaturą powietrza). Powodem może być również wzrost narażenia systemów społecznego i naturalnego w wyniku zwiększenia się populacji, powstania

Tabela 6

Opcje zarządzania ryzykiem na etapie prewencji, reagowania i odbudowy oraz adaptacji

	Opcje zarządzania					Adaptacja
	Prewencja	Reagowanie i odbudowa				
		Wczesne ostrzeżenie	Gotowość do podjęcia akcji (alert)	Zarządzanie kryzysowe	Odbudowa	
Zagrożenie	brak	Początkowa faza rozwoju suszy	Rozwój suszy obejmujący kolejne elementy cyklu hydrologicznego	Pogłębianie się niedoborów wody na wszystkich poziomach cyklu hydrologicznego	Powrót zasobów wodnych do warunków normalnych	brak
Konsekwencje	brak	brak	Bezpośrednie skutki suszy dla pojedynczych elementów systemów naturalnych i społecznych	Obserwowane lub możliwe do wystąpienia znaczne konsekwencje suszy	Skutki suszy pozostają nadal odczuwalne	brak
Rodzaj działania	Działania ochronne techniczne i nietechniczne, działania strukturalne, działania organizacyjne i edukacyjne	Działania informacyjne.	Działania operacyjne – podjęcie działań na zasadach dobrowolnych	Działania interwencyjne – uruchomienie procedur zarządzania kryzysowego, wprowadzenie restrykcji obligatoryjnych	Działania naprawcze	Działania strategiczne – planowanie krótkookresowe, długookresowe, budowanie odporności/ Działania sprawdzające, kontrolne – sprawdzanie skuteczności planów przeciwdziałania suszy i jego efektów
Cel działań	Ograniczanie zagrożenia	Ograniczanie narażenia			Odbudowa zasobów wodnych	Ograniczanie podatności i podnoszenie odporności

Tabela 6

Opcje zarządzania ryzykiem na etapie prewencji, reagowania i odbudowy oraz adaptacji, cd.

		Opcje zarządzania				
		Reagowanie i odbudowa			Adaptacja	
Prewencja		Wczesne ostrzeżenie	Gotowość do podjęcia akcji (alert)	Zarządzanie kryzysowe		Odbudowa
Monitorowanie rezultatów	<p>Bieżąca ocena prowadzonych inwestycji działań, szkoleń, programów edukacyjnych.</p> <p>Monitorowanie rezultatów na wszystkich szczeblach od administracji rządowej i samorządowej po społeczność lokalną i użytkowników</p>	<p>Monitoring operacyjny i działania dostosowawcze, prowadzone przez wskazane organizacje i osoby administracji publicznej, zarządców wód i przedstawicieli interesariuszy</p>			<p>Ocena stopnia ograniczenia skutków suszy, która wystąpiła</p>	<p>Monitoring rezultatów prowadzony w sposób ciągły, ukierunkowany na adaptację do zachodzących i prognozowanych zmian</p>

nowych siedlisk gatunków chronionych lub podatności w efekcie wzrostu wartości dochodów z produkcji rolniczej. Adaptacja, jako opcja zarządzania ryzykiem, polega na opracowaniu planów krótko- i długookresowych, uwzględniających niestacjonarność ryzyka i możliwość korekty jego wielkości i częstości występowania, wynikającej zarówno ze zmian warunków naturalnych (klimatu), jak i społeczno-gospodarczych oraz ich synergii. Syntetyczne przedstawienie poszczególnych opcji zarządzania przedstawia tabela 6.

4. SYSTEM ZARZĄDZANIA RYZYKIEM SUSZY

Warunkiem koniecznym do efektywnego zarządzania jest wykorzystanie odpowiednich narzędzi oceny, analizy i monitorowania ryzyka. Zarządzanie jest logicznie uporządkowanym ciągiem następujących po sobie zdarzeń, działań, decyzji i wdrożeń, których efektem jest zmniejszenie poziomu ryzyka do poziomu akceptowanego. Pozwala na identyfikację ryzyka, które w przyszłości może zagrozić realizacji nadrzędnych celów. W procesie zarządzania ważne jest wdrożenie opracowanych i operacyjnie efektywnych metod oraz narzędzi o odpowiedniej funkcjonalności, w postaci systemu obejmującego następujące komponenty:

- a) ocenę i prognozę zagrożenia suszą o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym;
- b) analizę i ocenę ryzyka suszy;
- c) wizualizację i prezentację zagrożenia i ryzyka;
- d) ocenę niepewności ryzyka;
- e) systemy wspomagania decyzji;
- f) repozytorium działań;
- g) monitorowanie ryzyka suszy.

4.1. Ocena i prognoza zagrożenia suszą

Punktem wyjścia do oceny i prognozy zagrożenia suszą jest *inwentaryzacja i integracja danych*. Inwentaryzacja ma na celu określenie źródeł oraz zakresu danych możliwych do pozyskania z istniejących systemów monitoringu, obejmujących zarówno pomiary naziemne, satelitarne, jak również identyfikację istniejących braków. Integracja danych obejmuje propozycję ustanowienia kanałów pozyskiwania informacji o suszy, sposobu prezentacji danych oraz ich rozdzielczości czasowej i przestrzennej na potrzeby zarządzania ryzykiem suszy.

W tym celu przeprowadzane są następujące etapy:

- określenie niezbędnego zakresu i rozdzielczości czasowo-przestrzennej danych wymaganych do oszacowania ryzyka wystąpienia suszy i oceny wpływu suszy, m.in.: danych klimatycznych, glebowych, hydrologicznych, informacji o uprawach, stanie roślinności, informacji o stratach i skutkach ekonomicznych wystąpienia susz historycznych oraz prognoz z modeli klimatycznych i hydrologicznych;
- określenie dostępności danych w odniesieniu do przyjętego w metodyce systemu wskaźników suszy;
- analiza dostępności danych w ramach funkcjonujących systemów monitoringu, w tym monitoringu suszy;
- identyfikacja istniejących braków i określenie zapotrzebowania względem systemów gromadzenia danych i informacji;
- propozycja ustanowienia otwartych kanałów informacyjnych w celu zapewnienia wymiany informacji między sektorami, decydentami wszystkich szczebli, profesjonalistami i interesariuszami.

Sposób identyfikacji zagrożenia suszą przeprowadza się w odniesieniu do: a) intensywności, czasu trwania i częstotliwości wystąpień susz historycznych, b) aktualnego stanu warunków wilgotnościowych, meteorologicznych i hydrolo-

gicznych oraz c) prognoz warunków meteorologicznych i projekcji klimatycznych. Podstawą oceny zagrożenia jest analiza danych historycznych w kontekście wystąpienia poszczególnych faz rozwoju suszy i niedoborów wody.

Ocenę i prognozę zagrożenia suszą w ujęciu probabilistycznym przeprowadza się na podstawie wskaźników opisu suszy i niedoborów wody. Zastosowanie wartości wskaźnikowych pozwala na stosunkowo łatwą interpretację wyników w różnych warunkach klimatycznych i dla różnych przedziałów czasu. Standaryzacja wskaźników umożliwia przedstawianie ich w skali lokalnej, jak i regionalnej. Dobór odpowiedniego kroku czasowego jest kluczowym czynnikiem w analizie współwystępowania, zależności oraz cykliczności warunków wilgotnościowych, meteorologicznych i hydrologicznych. Zestawienie najczęściej stosowanych wskaźników oceny suszy z uwzględnieniem wymaganych danych wejściowych oraz skali czasowej przedstawia tabela 7. Szczególnie popularnym jest wskaźnik *SPI*. Stosowany jest również do oceny faz suszy atmosferycznej, glebowej i hydrologicznej, przy czym fazy suszy opisywane są różną skalą czasową określania *SPI*.

Kluczowe dla potrzeb systemu zarządzania ryzykiem suszy jest zapewnienie odpowiedniego zestawu wskaźników, pozwalającego na:

- identyfikację warunków wilgotnościowych w różnych elementach cyklu hydrologicznego (atmosferycznych, glebowych, hydrogeologicznych, hydrologicznych) z różnym krokiem czasowym;
- odniesienie bieżących warunków wilgotnościowych do średnich wieloletnich, reprezentujących warunki normalne;
- ocenę intensywności suszy, czasu trwania oraz zmienności przestrzennej, możliwie w sposób znormalizowany i bezwymiarowy;
- przedstawienie złożonych procesów i ich wzajemnych powiązań (wystąpienia suszy, rozwoju i utrzymywania się suszy) za pomocą uproszczonej oceny.

Równoczesne zastosowanie wskaźników łączonych do oceny zagrożenia suszą daje lepszą reprezentację, zarówno przestrzenną, jak i czasową, analizowanego zjawiska oraz procesu jego rozwoju.

Przykładem systemu oceny i prognozy zagrożenia suszą jest *Prognostyczno-Operacyjny System Udostępniania CHA* (charakterystyk Suszy POSUCH@) (<http://posucha.imgw.pl>), opracowany w IMGW-PIB przez Autorki w ramach projektu *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo* (POIG.01.03.01-14-011/08), zrealizowanego w latach 2009-2011. System oceny zagrożenia suszą oparty jest na wielokryterialnej ocenie natężenia, czasu trwania i ekspozycji na zagrożenia suszą, z uwzględnieniem meteorologicznej i hydrologicznej fazy jej rozwoju. System działa w trybie operacyjnym, bazując na danych meteorologicznych i hydrologicznych pozyskiwanych z dobowym krokiem czasowym. Odpowiada na

Tabela 7

Zestawienie najczęściej stosowanych wskaźników oceny suszy (opracowanie własne)

Nazwa	Autor	Rodzaj wskaźnika	Dane	Skala czasowa	Opis	Zastosowania
<i>SPI</i> , Standardized precipitation Index (wskaźnik standaryzowanego opadu)	McKee i in. (1993)	Wskaźnik suszy atmosferycznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie atmosferycznej cyklu hydrologicznego	Opady; wieloletnie ciągi danych	1, 3, 6, 12, 24, 48 miesięcy	Ocena deficytu opadów w różnych skalach czasowych; skala czasowa odzwierciedla wpływ suszy na dostępność różnych zasobów wodnych (wilgotność gleby, przepływy w rzekach, wody podziemne)	Wdrożony do oceny suszy w ramach wspólnej strategii wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej; rekomendowany przez WMO jako kluczowy wskaźnik suszy atmosferycznej na potrzeby monitoringu operacyjnego
<i>PDSI</i> , Palmer Drought Severity Index (wskaźnik surowości suszy Palmera)	Palmer (1965); modyfikacja Wells i in. (2004)	Wskaźnik suszy atmosferycznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie atmosferycznej i glebowej cyklu hydrologicznego	Opad, temperatura, ewapotranspiracja, wilgotność glebowa, odpływ	miesiąc	Nadmiar bądź niedobór opadu odniesiony do wielkości opadu miarodajnego klimatycznie – wilgoci, która może uczestniczyć w lokalnej wymianie wody w powierzchniowych warstwach gleby	Szeroko stosowany w operacyjnym monitoringu suszy
<i>KBI</i> , Climatic Water Balance (Klimatyczny Bilans Wodny)	Rojek (1994)	Wskaźnik suszy atmosferycznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie atmosferycznej cyklu hydrologicznego	Opady, temperatura powietrza, usłonecznienie, prędkość wiatru, niedosyt wilgotności	miesiąc	Kompleksowy wskaźnik stopnia uwilgotnienia atmosfery; jest różnicą między opadem a ewapotranspiracją potencjalną	Monitoring suszy atmosferycznej w obszarach rolniczych; wdrożony przez IUNG-PIB na potrzeby monitoringu suszy rolniczej w Polsce (SMSR)
<i>SPEI</i> , (Wskaźnik Standaryzowanego Opadu i Parowania Terenowego)	Vicente-Serrano i in. (2010)	Wskaźnik suszy atmosferycznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie atmosferycznej cyklu hydrologicznego	Opady, temperatura powietrza, usłonecznienie, prędkość wiatru, niedosyt wilgotności	miesiąc	Standaryzowana różnica między opadem a ewapotranspiracją potencjalną	Stosowany w monitoringu suszy w aspekcie zmian klimatu

Nazwa	Autor	Rodzaj wskaźnika	Dane	Skala czasowa	Opis	Zastosowania
<i>EDI, Effective Drought Index</i> (Wskaźnik Suszy Efektywnej)	Byun, Wilhite (1996)	Wskaźnik suszy atmosferycznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie atmosferycznej cyklu hydrologicznego	Opady	1, 3, 6, 12, 24, 48 miesięcy	Ocena ilościowa deficytu opadów	Dobry wskaźnik do monitoringu operacyjnego, zarówno meteorologicznego, jak i rolniczego sytuacji suszy, ponieważ obliczenia są aktualizowane codziennie. Wdrożony w IMGW-PIB do oceny suszy w Polsce (www.posucha.ingw.pl)
<i>CDI, Crop Drought Index</i> (Wskaźnik suszy rolniczej)	Brunini i in. (2005), Łabędzki (2006)	Wskaźnik suszy glebowej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie glebowej cyklu hydrologicznego	Opady, temperatura powietrza, usłonecznienie, prędkość wiatru, niedosyt wilgotności, wilgotność gleby	dekada/ miesiąc	Określa redukcję ewapotranspiracji, spowodowanej niedoborem wody w glebie w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej	
<i>SWSI, Surface Water Supply Index</i> (Wskaźnik zapasu wody powierzchniowej)	Shafer, Dezman (1982)	Wskaźnik suszy hydrologicznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie hydrologicznej cyklu hydrologicznego	Opady, przepływy, pokrywa śnieżna	miesiąc	Łączy retencje zbiornikową, przepływ w rzekach i dwa typy opadu: (śnieg i deszcz w obszarach górskich)	Relatywnie łatwy do policzenia; jest reprezentatywną miarą dostępności wody dla zlewni w wybranym obszarze
<i>SRI, Standardized Runoff Index</i> (Standardyzowany Wskaźnik Odpływu)	Shukla, Wood (2008)	Wskaźnik suszy hydrologicznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie hydrologicznej cyklu hydrologicznego	Odpływ ze zlewni; wieloletnie ciągi danych	1, 3, 6, 12, 24, 48 miesięcy	Ocena deficytu odpływu w różnych skalach czasowych	

Nazwa	Autor	Rodzaj wskaźnika	Dane	Skala czasowa	Opis	Zastosowania
<i>FI (FDC)</i> , Wskaźnik odpływu na podstawie krzywej sum czasów trwania przepływów	US Geological, http://water.usgs.gov	Wskaźnik suszy hydrologicznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie hydrologicznej cyklu hydrologicznego	Przepływ	dość	Ocena obecnego reżimu hydrologicznego w stosunku do wielolecia	Wdrożony w IMGW-PIB do oceny suszy w Polsce (www.posucha.imgw.pl)
Niżówka	Jakubowski 2003	Wskaźnik suszy hydrologicznej; identyfikuje warunki wilgotnościowe w fazie hydrologicznej cyklu hydrologicznego	Przepływ	dość	Charakteryzuje okresy niżówkowe parametrami: czasem trwania, objętością niedoboru przepływu, przepływem najniższym	

wymagania funkcjonalne i użytkowników końcowych w odniesieniu do dostępnych zasobów bazodanowych. Produktami systemu są mapy przestrzennej zmienności intensywności suszy, wykresy zmian intensywności suszy w czasie oraz krótkoterminowe i średnioterminowe prognozy warunków wilgotnościowych, hydrologicznych i meteorologicznych.

Ocena suszy prowadzona jest na podstawie czterech wybranych wskaźników:

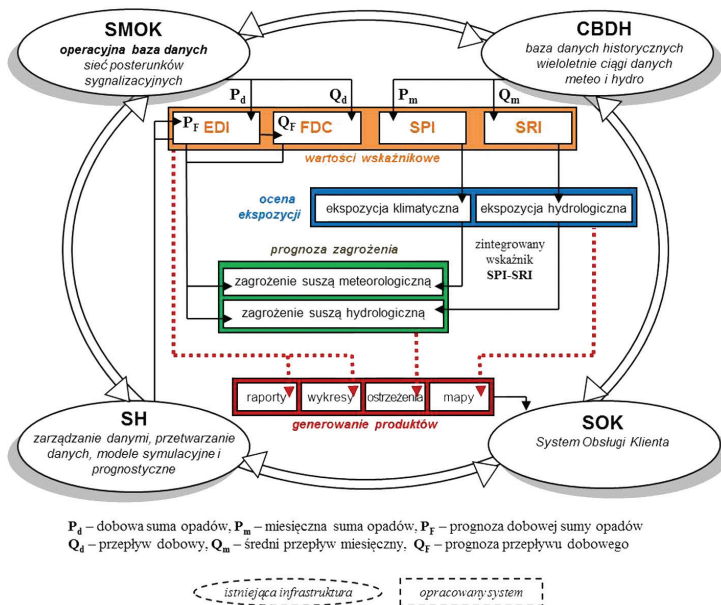
1. *EDI* – wskaźnik suszy efektywnej (Byun, Wilhite 1999), służący do wykrywania suszy meteorologicznej, określenia jej intensywności, czasu trwania, zmienności czasowej oraz do krótkoterminowej prognozy wilgotnościowych warunków meteorologicznych;
2. *SPI* – wskaźnik standaryzowanego opadu (McKee i in. 1993), służący do odwzorowania przestrzennego suszy meteorologicznej, określenia regionalnej ekspozycji na susze oraz prognozy zagrożenia suszą meteorologiczną;
3. *FI(FDC)* – wskaźnik odpływu opracowany na podstawie krzywej sum czasów trwania przepływów (<http://water.usgs.gov>). Służy do wykrywania suszy hydrologicznej, określenia jej intensywności, czasu trwania, analizy czasowej zmienności oraz do krótkoterminowej prognozy wilgotnościowych warunków hydrologicznych;
4. *SRI* – wskaźnik standaryzowanego odpływu (Shukla, Wood 2008), służący do określenia regionalnej ekspozycji na susze hydrologiczne oraz prognozy zagrożenia suszą hydrologiczną.

Analiza wartości wybranych wskaźników suszy pozwala na identyfikację i ocenę suszy meteorologicznej i hydrologicznej, badanie jej zmienności czasowej i przestrzennej, określenie klimatycznej i hydrologicznej ekspozycji na susze w wybranych regionach oraz prognozę poziomu zagrożenia suszą.

Tabela 8

Identyfikacja faz suszy według wskaźnika *SPI*
(opracowane na podstawie Szalai, Szinell 2000; Łabędzki 2008; WMO 2012)

Skala czasowa <i>SPI</i>	Identyfikacja susz	Zastosowanie
<i>SPI</i> 1 (<i>SPI</i> dla 1 miesiąca)	susze krótkotrwałe	monitoring suszy atmosferycznej
<i>SPI</i> 3 (<i>SPI</i> dla 3 miesięcy)	susze krótkotrwałe lub sezonowe	monitoring suszy glebowej; dobrze koreluje z wilgotnością gleby
<i>SPI</i> 6 (<i>SPI</i> dla 6 miesięcy)	susze sezonowe	monitoring suszy glebowej i hydrologicznej; dobrze koreluje z wilgotnością gleby i przepływami w rzekach
<i>SPI</i> 12 (<i>SPI</i> dla 12 miesięcy)	susze średnioterminowe (wielomiesięczne)	monitoring suszy hydrologicznej; dobrze koreluje z przepływami w rzekach
<i>SPI</i> 24 (<i>SPI</i> dla 24 miesięcy)	susze długoterminowe (kilkuletnie)	monitoring suszy hydrologicznej; dobrze koreluje z poziomem wód podziemnych



Rys. 14. System oceny zagrożenia suszą (Tokarczyk, Szalińska 2013)

Ocenę klimatycznej ekspozycji na susze meteorologiczne przeprowadzono na podstawie danych historycznych wartości miesięcznych SPI dla wielolecia 1966-2005 i wybranych stacji meteorologicznych, stosując metodę analizy prawdopodobieństwa przejścia z jednego stanu do drugiego (Paulo i in. 2005). Miarę ekspozycji obszaru na suszę stanowi suma prawdopodobieństwa wystąpienia klasy suszy (umiarkowanej, silnej i ekstremalnej), zdefiniowanej zgodnie z założonymi granicami wartości SPI w modyfikacji Łabędzkiego i in. (2008). Ekspozycja obszaru na susze hydrologiczne oceniana jest podobnie jak w przypadku suszy meteorologicznej, na podstawie danych historycznych wartości miesięcznych SRI dla wielolecia 1966-2005.

Podstawą do średnioterminowej prognozy (na kolejny miesiąc) zagrożenia suszą jest ocena prawdopodobieństwa warunkowego przejścia między klasami wilgotnościowymi wyrażanymi za pomocą wskaźników SPI oraz SRI . Prawdopodobieństwo zagrożenia suszą w kolejnym miesiącu klasyfikowane jest jako niskie, średnie lub wysokie.

W systemie realizowana jest też prognoza krótkoterminowa (na kolejne trzy dni) warunków wilgotnościowych na podstawie prognoz opadu, uzyskiwanych z numerycznych modeli prognozy pogody.

System umożliwia również ocenę zagrożenia suszą na podstawie zintegrowanej miary warunków hydrometeorologicznych, z zastosowaniem wskaźnika dwuwymiarowego $SPI-SRI$. Główny problem polega na określeniu warunków

normalnych reprezentowanych przez oba wskaźniki. Autorki zaproponowały, aby klasa reprezentująca warunki normalne wyznaczana była za pomocą elipsy równego prawdopodobieństwa z zastosowaniem metody Eytona (Tokarczyk, Szalińska 2014). Wieloletnie szeregi czasowe wydzielonych klas połączonego wskaźnika *SPI-SRI* stanowią podstawę do ich analiz, jako łańcucha Markowa w celu rozpoznania jego charakterystyk stochastycznych i przyjęcia jednego spośród pięciu możliwych stanów w każdym miesiącu z określonym prawdopodobieństwem.

Istotnym elementem oceny i prognozy zagrożenia suszą jest dobór wartości progowych dla poszczególnych wskaźników oceny suszy celem wydzielenia poszczególnych faz jej rozwoju w miarę narastania i ustępowania. Wartości progowe charakteryzują stopień intensywności suszy w powiązaniu z dotkliwością jej skutków w skategoryzowanym ujęciu: stan normalny/ostrzegawczy/alarmowy, co jest kluczowym elementem w systemach wczesnego ostrzegania.

Wartości progowe są bezpośrednio powiązane z programem działań w ramach opcji zarządzania, obejmującego etap reagowania i odbudowy, wskazując na konieczność podjęcia lub zakończenia określonych działań.

4.2. Analiza i ocena ryzyka suszy

Ocena ryzyka suszy wyraża możliwe, potencjalne szkody w określonej skali czasowej (sezonowe, roczne, dziesięcioletnie) w jednostkach opisujących wielkość konsekwencji suszy. Konieczność oceny ryzyka w kategoriach potencjalnych strat jest bezpośrednio związana z potrzebą zarządzania ryzykiem, w ramach którego przeprowadza się analizę ekonomiczną zysków i strat poszczególnych opcji zarządzania. Podstawę oceny ryzyka suszy stanowi analiza danych historycznych, w tym danych hydroklimatycznych. Należy położyć w niej nacisk na identyfikację zdarzeń suszy, które w systemie społecznym lub naturalnym doprowadziły do znacznych strat lub osiągnięcia stanu niedopuszczalnego pod względem ekologicznym. Analiza zdarzeń historycznych pozwala określić np. zachowanie się zlewni w warunkach suszy (czy jest wrażliwsza na krótkie, ale znaczne niedobory opadów, czy jest przystosowana do dłuższych, ale mniej poważnych i łagodniejszych deficytów wody) oraz wskazać słabe strony i luki w działaniach prewencyjnych.

W klasycznym podejściu miara oceny ryzyka suszy wyraża iloczyn stopnia zagrożenia suszą i wielkości strat związanych z jej wystąpieniem. Dwuwymiarowość podejścia może skutkować tym, że zdarzenia o odmiennym charakterze użytkują ten sam poziom przy ocenie ryzyka suszy. Przykład macierzy oceny ryzyka dla pięciostopniowej skali prawdopodobieństwa zagrożenia i potencjalnych konse-

Tabela 9

Macierz oceny ryzyka (opracowanie własne)

Prawdopodobieństwo	Konsekwencje				
	brak	małe	średnie	duże	katastrofalne
bardzo małe	1	2	3	4	5
małe	2	4	6	8	10
średnie	3	6	9	12	15
duże	4	8	12	16	20
bardzo duże	5	10	15	20	25

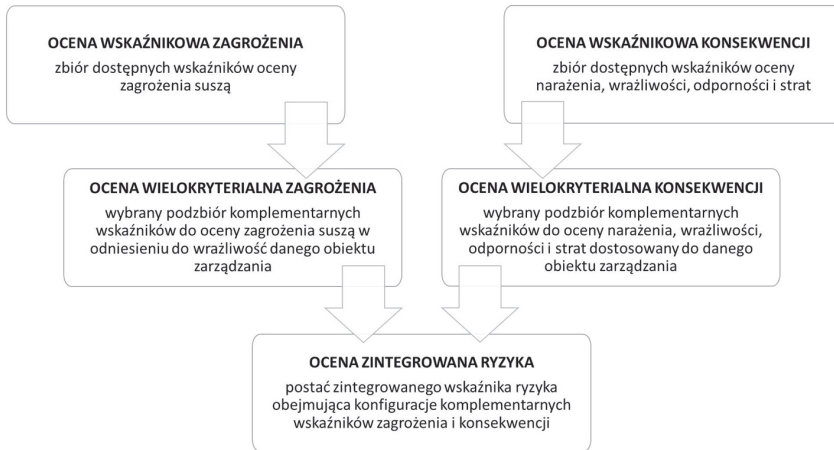
kwencji wskazuje, że zdarzenia o małym prawdopodobieństwie i katastrofalnych konsekwencjach mają taki sam status, jak zdarzenia o bardzo dużym prawdopodobieństwie, ale o niewielkich stratach (tabela 9).

Dokonanie wyboru działania zorientowanego na ograniczanie ryzyka, wyłącznie na podstawie jego dwuwymiarowej oceny, może być niewłaściwe i nietrafne. Konieczne jest uzupełnienie informacji o ocenę podatności, która identyfikuje wrażliwe obszary i skalę strat oraz potencjał adaptacyjny danego elementu systemu społecznego czy naturalnego.

W systemowym podejściu analiza i ocena ryzyka suszy ukierunkowana jest na ilościowe i jakościowe określenie poszczególnych składowych ryzyka oraz charakterystykę ich emergencji dla określonego obiektu zarządzania (obszarów, procesu, pełnionej funkcji, elementu systemów naturalnego lub społecznego, postępowania). Przykładowo w ocenie konsekwencji wystąpienia suszy należy uwzględnić wszystkie, dostępne dla danego obiektu zarządzania, metody przeciwdziałania skutkom suszy, które będą modyfikować wielkość ryzyka zjawiska. Emergencja wzajemnego oddziaływania poszczególnych elementów może być wyrażona za pomocą wskaźnika zintegrowanego, opracowanego na podstawie zbioru komplementarnych wskaźników, opisujących zarówno zagrożenie, jak i konsekwencje suszy (rys. 15).

Ocena zintegrowana, w wyniku której otrzymywana jest postać wskaźnika zintegrowanego, to metoda analizy, która łączy wyniki i modele z różnych dziedzin nauki (fizycznych, biologicznych, ekonomicznych i społecznych) ze współzależnościami między tymi elementami, tworząc spójne ramy do oceny stanu danego zjawiska i konsekwencji zmian w środowisku oraz związanej z tym reakcji politycznej (<http://klimada.mos.gov.pl/blog/2013/06/13/ocena-zintegrowana-2/>).

Przykład konfiguracji zintegrowanego wskaźnika na potrzeby zarządzania ryzykiem suszy dla gospodarstwa rolniczego, obejmującego wszystkie składowe – wskaźniki oceny zagrożenia, narażenia i podatności (wrażliwości, odporności i wielkości strat) przedstawia rys. 16.



Rys. 15. Etapy opracowywania zintegrowanego wskaźnika ryzyka suszy (opracowanie własne)



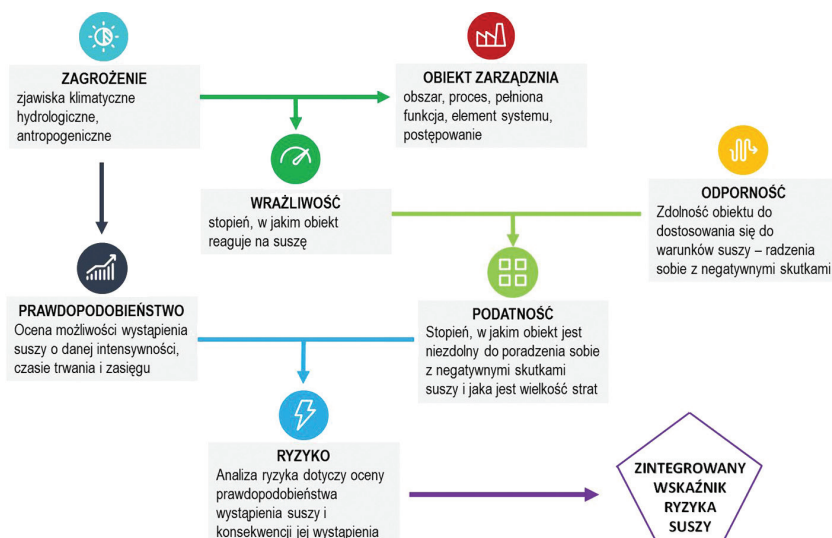
Rys. 16. Zintegrowany wskaźnik ryzyka suszy dla gospodarstwa rolniczego (opracowanie własne)

Wskaźniki zagrożenia opisują zarówno naturalne czynniki warunkujące wystąpienie suszy (klimatyczne, hydrologiczne), jak również te związane z działalnością człowieka (wskaźniki zabiegów agromelioracyjnych), które mogą wpływać na wielkość bilansu pomiędzy dostępnymi zasobami wodnymi a zapotrzebowaniem. Wskaźniki narażenia opisują strukturę upraw i chowu w danym gospodarstwie. Za pomocą wskaźników wrażliwości wyraża się stopień, w jakim poszczególne elementy gospodarstwa rolniczego mogą zostać dotknięte suszą o określonej wielkości niedoborów wody w poszczególnych elementach cyklu hydrologicznego. Wskaźniki odporności wskazują na możliwości przeciwdziałania wystąpieniu strat spowodowanych suszą,

zarówno za pomocą środków technicznych, jak i nietechnicznych (możliwości finansowych, przygotowania gospodarstwa do funkcjonowania w warunkach suszy, kapitału ludzkiego, stopnia świadomości, funkcjonujących mechanizmów adaptacji do zmienionych warunków, np. dostępności rozwiązań alternatywnych). Wskaźniki wielkości strat pozwalają na oszacowanie szkód w przypadku wystąpienia suszy o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym.

Ocena wpływu na końcową wartość zintegrowanego wskaźnika suszy, wzajemnych powiązań wszystkich składowych (zagrożenia, narażenia, wrażliwości, odporności i wielkości strat oraz ich synergii) realizowana jest procesie wieloetapowym z wykorzystaniem metod analitycznych i eksperckich (rys. 17). Uzyskana w tym procesie wartość zintegrowanego wskaźnika stanowi bezpośrednią miarę oceny ryzyka suszy.

Końcowym etapem analizy i oceny ryzyka jest profilowanie go w czasie, tzn. przedstawienie zmian wartości ryzyka w określonych ramach czasowych z uwzględnieniem horyzontu planowania. Profilowanie ryzyka powiązane jest z ustaleniem krytycznej wartości poziomu zasobów wodnych, której przekroczenie (niedotrzymanie odpowiednich zasobów), wiąże się z koniecznością podejmowania działań ograniczających i przeciwdziałających skutkom suszy (patrz rys. 13). Połączona analiza wielkości zagrożenia suszą w okresie historycznym z prognozowanymi trendami zmian zagrożenia suszą na podstawie predyktorów zmian zjawisk klimatycznych pozwala na szacowanie horyzontu czasowego, w którym, z określonym prawdopodobieństwem, może dojść do zmiany intensywności, czasu trwania lub



Rys. 17. Wieloetapowy proces identyfikacji zintegrowanego wskaźnika ryzyka suszy (opracowanie własne)

częstotliwości występowania suszy. Zmiany zagrożenia suszą wpływają na poziom dyspozycyjnych zasobów wodnych, który może stać się krytyczny dla zaspokojenia potrzeb systemów społecznego i naturalnego w ciągu najbliższych kilku, kilkunastu czy kilkudziesięciu lat. Właściwa predykcja zmian ryzyka suszy w określonej perspektywie czasowej musi uwzględniać rozwój społeczno-gospodarczy. Ocena ryzyka aktualnego i prognozowanego stanowi podstawę priorytetyzacji działań i opracowania harmonogramu wdrożeń planów przeciwdziałania skutkom suszy.

4.3. Wizualizacja i prezentacja zagrożenia i ryzyka

Podstawową metodą wizualizacji i prezentacji wyników jest prezentacja zagrożenia i ryzyka suszy w postaci map, pozwalających na przedstawienie przestrzennej zmienności analizowanych czynników zagrożenia i ryzyka suszy, w skali i rozdzielczości przestrzennej dostosowanej do obiektu zarządzania suszą. Opracowanie map realizowane jest w następujących krokach:

- krok 1 – wybór rozpatrywanego obszaru przestrzennego dostosowanego do skali obiektu zarządzania (zlewnia, dorzecze, region wodny);
- krok 2 – podział rozpatrywanego obszaru na obszary jednostkowe, które powinny spełniać kryterium jednorodności narażenia. Narażenie występujące na danym obszarze nazywane jest jednorodnym, jeżeli bez względu na sposób podziału danego obszaru jednostkowego, każda część jego podziału ma zbliżoną wartość narażenia;
- krok 3 – prezentacja zmienności przestrzennej wskaźników zagrożenia suszą, najbardziej reprezentujących wpływ suszy na wrażliwość analizowanego obiektu zarządzania (np. wskaźniki opisujące suszę hydrologiczną na potrzeby zapewnienia przepływu nienaruszalnego – środowiskowego);
- krok 4 – prezentacja prawdopodobieństwa zagrożenia suszy o określonym czasie trwania i intensywności, w danym obszarze jednostkowym z wykorzystaniem przyjętych wskaźników;
- krok 5 – prezentacja wrażliwości poszczególnych obszarów jednostkowych na zidentyfikowany w danym obszarze poziom zagrożenia w odniesieniu do wielkości narażenia;
- krok 6 – prezentacja konsekwencji suszy w danym obszarze jednostkowym, które wiążą się zarówno ze skutkami bezpośrednimi, np. niedoborami wody, jak i pośrednimi, np. stratami finansowymi czy konfliktami na tle niedoborów wody;
- krok 7 – prezentacja oceny ryzyka suszy w danym obszarze jednostkowym na podstawie zintegrowanego wskaźnika suszy.

Opracowane w ten sposób mapy zagrożenia suszą są podstawą do skutecznego zarządzania ryzykiem suszy w odniesieniu do określonych wartości progowych wskaźników.

4.4. Wspomaganie decyzji w warunkach niepewności

W podejściu opartym na strategicznym zarządzaniu w dążeniu do zrównoważonego zapewnienia bezpieczeństwa wodnego systemów społecznego i naturalnego, kluczowym elementem jest podsystem wspomaganie decyzji. Celem wspomaganie decyzji jest dobór optymalnego zbioru działań pozwalającego na skuteczną redukcję ryzyka suszy w ramach poszczególnych opcji zarządzania, w warunkach określonej niepewności. Optymalny zbiór działań pozwala na zapewnienie trwałości usług ekosystemów słodkowodnych przy równoczesnym uzyskaniu korzyści gospodarczych. Podsystem wspomaganie decyzji, oparty jest na narzędziach do analizy wielokryterialnej oraz analizy kosztów i korzyści w ocenie poszczególnych działań z uwzględnieniem poziomu niepewności. Analiza wielokryterialna jest metodą wspomagającą proces decyzyjny. Wykorzystywana jest do oceny i wyboru optymalnego rozwiązania spośród analizowanych alternatywnych wariantów, charakteryzujących się wielowymiarowymi efektami. Analiza wielokryterialna jest często wykorzystywaną metodą przy tworzeniu rankingu możliwych opcji, zwłaszcza w dziedzinie ochrony środowiska. Znalazła również zastosowanie w ocenie opcji adaptacji do zmian klimatu.

W każdym procesie podejmowania decyzji należy uwzględnić wielkość niepewności. W przypadku oceny suszy, stopień niepewności jest szczególnie duży ze względu na złożoność procesu formowania się i rozwoju suszy oraz długich ram czasowych tego zjawiska. Istnieje wiele źródeł niepewności, wpływających na proces decyzyjny na różnych poziomach:

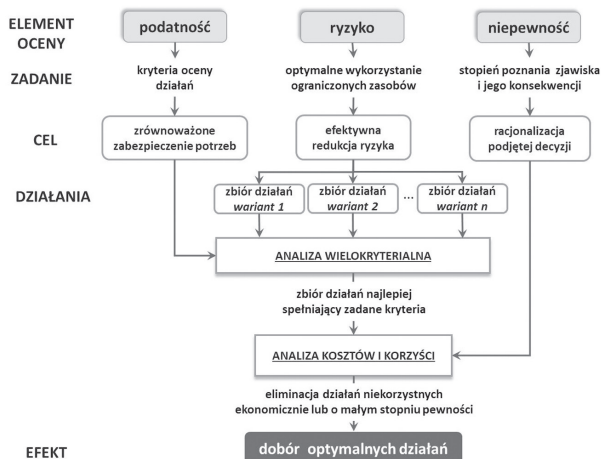
- na poziomie danych – statystyczna i hydrologiczna niepewność w ocenie przepływu;
- na poziomie informacji – szacowanie wielkości strat, estymacja prawdopodobieństwa zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych;
- na poziomie wiedzy – niepewność w ocenie tempa zmian klimatycznych, zmian w użytkowaniu powierzchni czy niepewność w ocenie procesów transformacji opadu w odpływ.

Niepewności nie da się wyeliminować, należy natomiast dążyć do jej oszacowania w kategoriach wielkości wpływu na ocenę ryzyka. Uwzględnianie niepewności wymaga często przyjęcia podejścia jakościowego, gdyż dane ilościowe są niedostępne.

W podsystemie wspomagania decyzji, wybór optymalnego zbioru działań przeprowadza się więc w procesie wnioskowania, opartym na analizie podatności, ryzyka i niepewności w połączeniu z analizą wielokryterialną oraz analizą kosztów i korzyści (rys. 18).

Proces podejmowania decyzji obejmuje następujące etapy:

- 1) Zidentyfikowanie największych ryzyk dla badanego obiektu zarządzania w ramach systemu społecznego i naturalnego na podstawie przeprowadzonej oceny i analizy ryzyka.
- 2) Identyfikacja możliwych opcji zarządzania i działań pozwalających na redukcje zidentyfikowanych ryzyk.
- 3) Utworzenie możliwych alternatywnych zbiorów działań pozwalających na osiągnięcie założonego celu redukcji ryzyka i optymalne wykorzystanie ograniczonych zasobów.
- 4) Przeprowadzenie analizy wielokryterialnej poszczególnych zbiorów działań z uwzględnieniem założonych kryteriów oceny i wskazanie zbioru preferowanego, najlepiej odpowiadającemu zadanyemu kryteriom.
- 5) Przeprowadzenie analizy ekonomicznej z uwzględnieniem oceny niepewności, w celu wskazania działań niekorzystnych ekonomicznie lub o małym stopniu pewności, że podjęcie tych działań zapewni spodziewany efekt.
- 6) Poszukiwanie działań alternatywnych możliwych do uwzględnienia w preferowanym zbiorze i powtórzenie kroku 4 dla nowej konfiguracji zbioru.
- 7) Rekomendowanie optymalnego zbioru działań na potrzeby ograniczenia i przeciwdziałania skutkom suszy w ramach określonej opcji zarządzania dla analizowanego obiektu zarządzania.



Rys. 18. Etapy wnioskowania w procesie podejmowania decyzji (opracowanie własne)

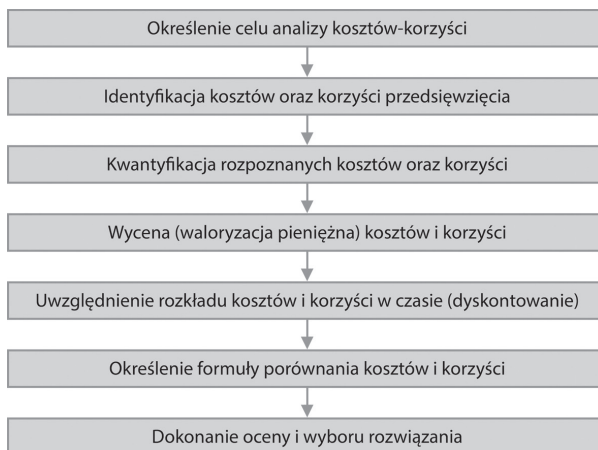
Kryteria oceny działań powinny uwzględniać następujące kategorie: kryteria wdrożeniowe, kryteria społeczno-środowiskowe, kryteria czasowe i kryteria ekonomiczne. Poniżej zamieszczono ramowy zbiór kryteriów oceny działań na potrzeby zrównoważonego zabezpieczenia potrzeb systemu społecznego i środowiskowego:

- Kryteria wdrożeniowe:
 - **s k u t e c z n o ś ć** – określa, czy dane działanie umożliwia realizację szczegółowego celu redukcji ryzyka i głównego celu strategii zarządzania.
 - **n i e z a w o d n o ś ć** – określa, czy dane działanie będzie niezawodne przy obecnie obserwowanym poziomie ryzyka i prognozie jego zmian.
 - **e l a s t y c z n o ś ć** – określa, czy dane działanie pozwoli na wdrożenie korekt w trakcie jego implementacji.
 - **s y n e r g i a** – określa czy, dane działanie oprócz redukcji danego ryzyka suszy przyczyni się do osiągnięcia innych celów z zakresu gospodarki wodnej.
- Kryteria społeczno-środowiskowe:
 - **d z i a ł a n i e u b o c z n e** – określa czy, działanie nie ma negatywnego wpływu na inne elementy/obszary/funkcje systemu społecznego i naturalnego.
 - **a k c e p t o w a l n o ś ć** – określa czy, dane działanie jest politycznie i społecznie akceptowalne.
 - **z r ó w n o w a ż o n y c h a r a k t e r** – określa, czy dane działanie spełnia zasady zrównoważonego rozwoju (sprawiedliwości międzypokoleniowej i przyczynienia się do oszczędnego gospodarowania zasobami wodnymi).
- Kryteria czasowe:
 - **c z a s / o k r e s r e a l i z a c j i** – określa, w jakich ramach czasowych dane działanie zostanie wdrożone.
 - **t e r m i n o s i ą g n i ę c i a e f e k t ó w** – określa, w jakim okresie należy spodziewać się efektów wdrożenia danego rozwiązania.
- Kryteria ekonomiczne:
 - **k o s z t y** – łączna wartość oszacowanych kosztów wdrożenia działania;
 - **k o r z y ś c i** – oszacowana wartość korzyści wynikających z uzyskanych rezultatów działania.

Jedną z metod przeprowadzenia analizy wielokryterialnej na podstawie przyjętego zbioru kryteriów jest metoda AHP (ang. *analytic hierarchy process* – analityczny proces hierarchiczny). Polega ona na przedstawieniu problemu decyzyjnego w postaci struktury hierarchicznej, na szczycie której znajduje się cel, pod nim kryteria, a na samym dole warianty decyzyjne (Prusak i in. 2014). Proces oceny polega na analizie modelu hierarchicznego poprzez dokonanie porównań parami, na każdym poziomie struktury hierarchicznej. W procesie tym używana jest specjalna skala pomiarowa, która służy do ustalania stopnia przewagi jednego kryterium nad drugim.

Biorąc pod uwagę realizację działań mających na celu ograniczenia i przeciwdziałania skutkom suszy, wielkość niepewności tych działań będzie rosła proporcjonalnie do horyzontu czasowego i rozpiętości przestrzennej planu lub programu. Rekomendacje dla określonych działań powinny uwzględniać ograniczenia dotyczące obecnego stanu wiedzy i promowaniu działań przystosowawczych, które dobrze działają w obecnych warunkach, jak i w przypadku ewentualnych przyszłych zmian warunków klimatycznych.

W procesie podejmowania decyzji istotna jest również ekonomiczna analiza kosztów i korzyści według przyjętego schematu postępowania przedstawionego na rys. 19.

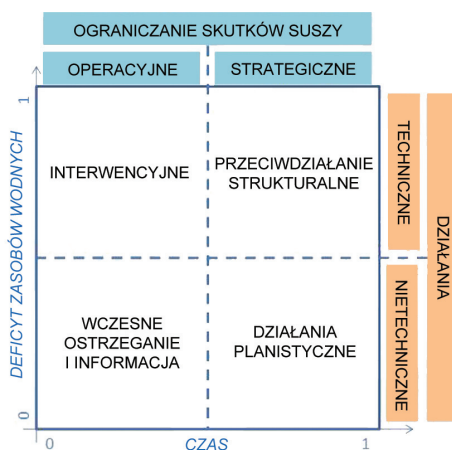


Rys. 19. Procedura przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści w celu optymalizacji doboru działań (na podstawie Becla i in. 2012)

Dopiero uwzględnienie wszystkich powyższych elementów pozwala na wdrożenie najbardziej efektywnych i optymalnych rozwiązań z określonym poziomem niepewności. W zmieniających się warunkach kluczowe jest wdrażanie rozwiązań, które można modyfikować w sposób elastyczny, przy zmniejszającym się stopniu niepewności i w miarę pozyskiwania nowych danych i informacji.

4.5. Metody ograniczania i przeciwdziałania skutkom suszy

Metody ograniczania i przeciwdziałania skutkom suszy podzielić można na cztery kategorie: wczesnego ostrzegania i informacyjne, interwencyjne, planistyczne oraz strukturalne (rys. 20). Stosowalność metod zależy od wielkości deficytu



Rys. 20. Kategorie metod ograniczania i przeciwdziałania skutkom suszy (opracowanie własne)

zasobów wodnych oraz od czasu jego trwania. Jednym z kryteriów doboru działań jest czas. Do operacyjnych działań zalicza się bieżące oraz krótkookresowe, do strategicznych – długookresowe. Ze względu na sposób realizacji wyróżnić można działania techniczne i nietechniczne.

Wczesne ostrzeżenie i informacja obejmują działania bezpośrednio związane z monitoringiem suszy. Szczególną rolę w tej kategorii odgrywa bieżąca ocena stopnia zagrożenia. Działania wymagają uwzględnienia zakresu dostępnych danych i trybu dostępu do aktualnych pomiarów. Ich celem jest możliwie najbardziej kompleksowa ocena bieżących warunków hydrometeorologicznych pod kątem stopnia zagrożenia suszą i jej rozwoju, z uwzględnieniem wpływu na różne sektory gospodarki, społeczeństwo i środowisko. Działania interwencyjne mają na celu uniknięcie sytuacji powstania potencjalnych konfliktów użytkowników wody. Decyzja o podjęciu działań interwencyjnych jest powiązana z osiągnięciem określonego stopnia nasilenia suszy. Działania tego typu, prowadzone w ramach zarządzania ryzykiem suszy, przenikają się z działaniami prowadzonymi w ramach zarządzania kryzysowego. Działania planistyczne wynikają z obowiązujących przepisów prawa polskiego i UE; służą ograniczaniu skutków suszy. Są wkomponowane w obowiązującą strukturę planowania gospodarowania wodami. Mogą obejmować m.in. propozycje niezbędnych zmian w zakresie korzystania z zasobów wodnych, opcje adaptacji systemów melioracyjnych oraz innych urządzeń wodnych do funkcji ograniczania skutków suszy, propozycję pełnego wykorzystania warunków siedliskowych do szeroko rozumianej ochrony i kształtowania zasobów wodnych. Działania strukturalne mają na celu ograniczanie znacznych deficytów wody w dłuższym horyzoncie czasowym. Obejmują

rozwiązania infrastrukturalne, budowę, rozbudowę lub przebudowę urządzeń wodnych i systemów retencjonowania wód, podnoszenie poziomu próchnicy w glebach, zwiększanie lesistości, prowadzenia regulacji cieków wodnych przy uwzględnieniu wymogów ochrony różnorodności biologicznej.

Dobór optymalnego działania powinien być przeprowadzony w procesie decyzyjnym opartym na wielowymiarowej ocenie ryzyka i analizie jego obserwowanych oraz prognozowanych zmian, z uwzględnieniem stopnia niepewności oceny w ramach określonej opcji zarządzania.

Działania, które mogą być podjęte na poszczególnych etapach zarządzania (opcjach zarządzania), obejmują następujące elementy:

- Działania prewencyjne:
 - powoływanie struktur organizacyjnych do zarządzania ryzykiem;
 - opracowanie i wdrożenie systemu monitorowania i wczesnego ostrzegania przed suszą;
 - budowę, rozbudowę lub przebudowę urządzeń wodnych;
 - kreowanie świadomości rolników w zakresie możliwości tworzenia retencji na obszarach rolnych oraz propagowanie działań zmniejszających straty w rolnictwie podczas suszy;
 - przeprowadzenie inwestycji zwiększających naturalną i sztuczną retencję;
 - wprowadzenie zmian w zakresie korzystania z zasobów wodnych;
 - opracowanie reguł sterowania urządzeniami wodnymi, retencjonującymi wodę w sposób umożliwiający wykorzystanie tych zasobów w okresie suszy;
 - opracowanie i wdrażanie programów edukacyjnych dla społeczeństwa dotyczących suszy;
 - budowę nowych ujęć wód podziemnych w celu poboru wody do spożycia.
- Działania z zakresu wczesnego ostrzegania:
 - inicjowanie niskobudżetowych działań opartych na wolontariacie;
 - inicjowanie oszczędnego korzystania z wody i jej retencjonowania;
 - zwiększenie częstotliwości monitorowania i analiza możliwych scenariuszy rozwoju sytuacji;
 - intensyfikacja komunikatów i ostrzeżeń o możliwości wystąpienia ryzyka suszy;
 - zachęcanie do ponownego wykorzystywania wód, w tym wód opadowych.
- Działania w sytuacji alertu:
 - ogłoszenie stanu suszy i wprowadzenie działań mających na celu ograniczenie zapotrzebowania na wodę (z wyjątkiem zapotrzebowania podstawowego);

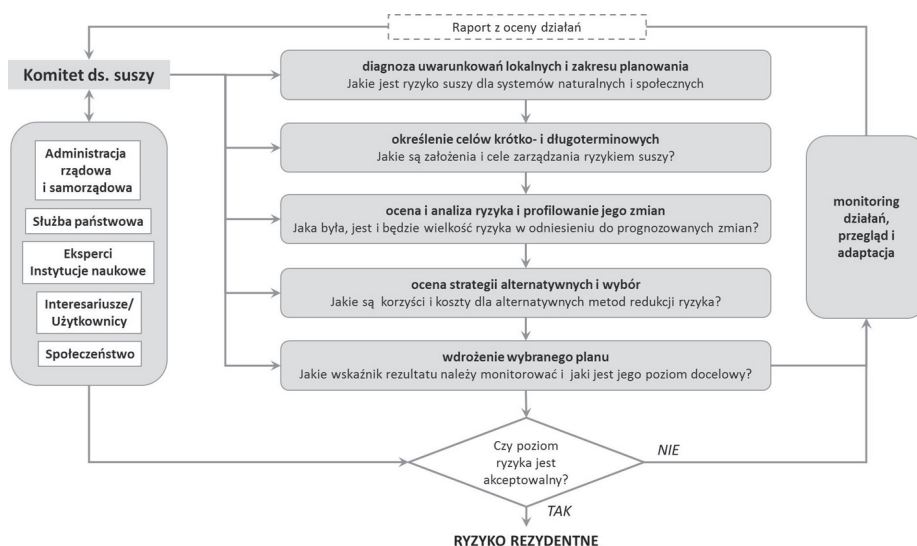
- przesunięcie terminu realizacji prac utrzymaniowych cieków, polegających na wykoszeniu roślinności występującej w korycie rzeki;
- wprowadzenie konieczności stosowania zamkniętych obiegów wody w sektorach gospodarki, charakteryzujących się znaczną wodochłonnością;
- wdrożenie działań, mających na celu ograniczenie skutków suszy na obszarach chronionych i szczególnie wrażliwych.
- Działania podczas sytuacji kryzysowej:
 - uruchomienie planu awaryjnego – alternatywnego sposobu zaopatrywania ludności w wodę;
 - czasowy zakaz wykorzystywania wody z sieci wodociągowej do celów innych niż socjalno-bytowe;
 - wykorzystanie zasobów wód podziemnych dla zabezpieczenia wody do spożycia w rejonach o ograniczonych zasobach wód powierzchniowych z istniejących ujęć;
 - podejmowanie decyzji operacyjnych i sterowanie dostępem do zasobów wodnych w czasie rzeczywistym.
- Działania podczas odbudowy:
 - ogłoszenie zakończenia suszy;
 - utrzymanie wybranych ograniczeń w dostępie do wody w celu szybszej odbudowy zasobów wodnych;
 - kontrolowanie tempa powrotu zasobów wodnych do stanu normalnego.
- Działania adaptacyjne:
 - podnoszenie zdolności retencyjnych zlewni poprzez m.in. podnoszenie poziomu próchnicy w glebach, zwiększanie lesistości, prowadzenie regulacji cieków wodnych przy uwzględnieniu wymogów ochrony różnorodności biologicznej;
 - pełne wykorzystanie warunków siedliskowych do szeroko rozumianej ochrony i kształtowania zasobów wodnych;
 - opracowanie zasad finansowania działań przeciwdziałających skutkom suszy w programach operacyjnych;
 - tworzenie formalno-prawnych oraz administracyjnych warunków do realizacji „błękitnej” i „zielonej” infrastruktury dla zrównoważonego gospodarowania wodą opadową na obszarach zurbanizowanych;
 - opracowanie wytycznych do racjonalnego zużycia wody w rolnictwie;
 - opracowanie wytycznych w zakresie zależnego korzystania z wód;
 - kształtowanie i odtwarzanie retencji naturalnej poprzez renaturyzację koryt i brzegów cieków, odtworzenie starorzeczy, obszarów bagiennych, torfowiskowych i terenów podmokłych.

4.6. Monitorowanie ryzyka suszy

Proces planowania strategicznego nakreśla misję, wizję i cele oraz strategię, scenariusze i wdrożenia przy założeniu odniesienia sukcesu. Identyfikacja odpowiednich partnerów i nawiązanie komunikacji między nimi na wczesnym etapie procesu planowania zapewnia dostarczenie pomysłów i perspektyw otwarcie omawianych podczas jego opracowywania. Ogólny schemat monitorowania ryzyka suszy z uwzględnieniem udziału administracji rządowej i samorządowej, ekspertów i naukowców, interesariuszy i użytkowników oraz grup społecznych przedstawia rys. 21.

Aby strategia zakończyła się sukcesem, musi zostać zaakceptowana przez wszystkich interesariuszy. W tym celu należy zachęcić zainteresowane strony do działań zarówno podczas trwania suszy, jak też przed i po jej wystąpieniu. Zaangażowanie interesariuszy pozwala bowiem zidentyfikować różne potrzeby, wyzwania i szanse na kolejnych etapach opracowywania opcji zarządzania ryzykiem suszy.

Największe szanse na zmniejszenie ryzyka są w warunkach braku suszy. Możliwe jest wówczas bardziej obiektywne podejście oraz dyskusja bez presji występującej podczas zjawiska. Zaangażowanie interesariuszy, którzy „nie doceniają” ryzyka suszy, jest trudne. Zdecydowanie łatwiej jest włączyć ich do działań podczas suszy, kiedy to pojawia się ryzyko strat. Dlatego też udział zainteresowanych stron w warunkach braku suszy powinien opierać się na dobrze przedstawionej i ukie-
runkowanej na interesariuszy komunikacji dotyczącej ryzyka. Ważne jest, aby usta-



Rys. 21. Schemat podejmowania decyzji i monitorowania ryzyka suszy (na podstawie WWF, GIWP 2016)

Tabela 10
Przykładowe cele strategii zarządzania wraz z propozycją monitorowania określonego wskaźnika i jego poziomu docelowego

Cel strategii	Wskaźnik rezultatu	
	Monitorowany element	Poziom docelowy
Wzrost stopnia gotowości społeczeństwa na zagrożenie suszą	Rejestracja zużycia wody w prywatnych domach [%]	Spoleczeństwo świadome i gotowe do podjęcia odpowiednich działań zarówno w sytuacjach kryzysowych, jak również w okresie prewencji
	Redukcja średniorocznego zużycia wody w gospodarstwach domowych [%]	
	Udział w społeczeństwie osób świadomych ryzyka suszy i posiadających wiedzę w zakresie działań podejmowanych podczas suszy [%]	
Poprawa przygotowania sektora rolniczego na wypadek suszy	Decyzje dotyczące poborów wody na potrzeby rolnictwa podjęte w oparciu o zasady zrównoważonego uwzględniania potrzeb wodnych, ze wskazaniem stopnia obniżenia poborów wody w okresie suszy	Zrównoważone zapewnienie potrzeb wodnych terenów rolniczych w okresie suszy
	Wydajności wykorzystania wody na potrzeby przemysłu [%]	Wzrost ilości gromadzonej wody w gospodarstwach rolnych na potrzeby ewentualnego wykorzystania w okresie suszy [%]
Poprawa przygotowania sektora przemysłowego na wypadek suszy	Udział przemysłu wodochłonnego (w tym elektrowni) w sektorze przemysłowym	Wzrost gospodarstw rolnych świadomych ryzyka suszy i posiadających wiedzę w zakresie działań podejmowanych podczas suszy [%]
	Liczba zakładów przemysłowych posiadających plany przeciwdziałania skutkom suszy	Spadek stopnia zanieczyszczenia wody [%]
	Liczb osób poszkodowanych ze względu na ograniczony dostęp do wody	Obniżenie poborów wody na potrzeby przemysłu do poziomu pozwalającego na zagwarantowanie potrzeb wodnych w warunkach suszy
Ochrona życia i zdrowia ludzi	Liczb osób poszkodowanych ze względu na ograniczony dostęp do wody	Brak osób poszkodowanych w wyniku suszy o danym okresie powtarzalności
Zagwarantowanie wody na potrzeby gospodarstw domowych	Poziom utrzymania dostaw wody na potrzeby gospodarstw domowych	Utrzymanie dostaw wody potrzebnych do zaspokojenia wszystkich podstawowych potrzeb ludności
Utrzymanie dochodu	Struktura zatrudnienia i przychodów w sektorach narażonych na skutki suszy	Ograniczenie strat wynikających z utraty miejsc pracy i przychodów w wyniku suszy
Utrzymanie dostaw energii do celów priorytetowych	Ilość wody chłodzącej wykorzystywanej do produkcji energii na ustalonym poziomie zapotrzebowania [%] Poziom utrzymania dostawy energii do priorytetowych zakładów przemysłowych i gospodarstw rolnych [%]	Utrzymane dostawy energii na główne potrzeby gospodarstw domowych, np. gotowanie, ogrzewanie, pompowne wody itp.

SYSTEM SPOŁECZNY

Tabela 10
Przykładowe cele strategii zarządzania wraz z propozycją monitorowania określonego wskaźnika i jego poziomu docelowego, cd.

		Wskaźnik rezultatu	
	Cel strategii	Monitorowany element	Poziom docelowy
SYSTEM SPOŁECZNY	Utrzymanie priorytetowych sektorów rolnictwa, tj. sektorów zapewniających lokalnej społeczności miejsca pracy i żywność	Struktura zatrudnienia oraz przychodów z rolnictwa	Ograniczenie bezrobocia powiązanego z suszą [%] Utrzymanie produkcji żywności na skalę lokalną
	Utrzymanie priorytetowych sektorów przemysłu, tj. sektorów zapewniających lokalnej społeczności miejsca pracy i podstawowe towary (np. energię elektryczną)	Utrzymane miejsca pracy, wydajność i przychody z przemysłu	Spadek bezrobocia powiązanego z suszą [%] Utrzymanie produkcji głównych towarów na skalę lokalną
	Ochrona gatunków chronionych i ich siedlisk	Wielkość powierzchni obszarów siedlisk gatunków chronionych, ulegających degradacji w wyniku suszy [%]	Zmniejszenie stopnia utraty powierzchni obszarów ulegających degradacji w wyniku suszy
SYSTEM NATURALNY	Utrzymanie przepływów nienaruszalnych (środowiskowych)	Okres czasu, w jakim jest zachowany przepływ nienaruszalny (środowiskowy) [%]	Dotrzymanie krytycznego okresu czasu zachowania przepływu nienaruszalnego (środowiskowego) do przeżycia określonych gatunków [%]
	Wzrost udziału retencji naturalnej	Powierzchnia nowych terenów podmokłych, jeziornych, obszarów bagiennych, torfowiskowych, pozwalających na kształtowanie i odtwarzanie retencji naturalnej	Zapewnianie odpowiednich zasobów wodnych siedliskom naturalnym

nowić podstawę dla podejmowania decyzji oraz rozwiązywania konfliktów między użytkownikami wód. Ograniczenia związane na przykład z dostępem do zasobów wodnych, dotyczące poboru wody, należy zaplanować z wyprzedzeniem. Powinny być przedmiotem konsultacji z zainteresowanymi stronami poprzez otwarty dialog i proces uzgodnień.

Zaangażowanie interesariuszy po wystąpieniu suszy może być szczególnie skuteczne, ponieważ skutki suszy pozostają w świadomości społecznej, a zainteresowane strony mają wyobrażenie skuteczności podejmowanych działań. W tym momencie istnieją największe możliwości negocjacji porozumienia między różnymi interesariuszami w zakresie zużycia wody oraz działań, których należy unikać w celu złagodzenia przyszłych konfliktów.

Przykład analizy działań stosowanych w systemach społecznym i gospodarczym w odniesieniu do strategii, monitoringu oraz spodziewanych efektów przedstawia tabela 10.

Zastosowane działania były oceniane według następujących kryteriów:

- możliwości zwiększenia retencji w obszarach narażonych na ryzyko występowania suszy;
- zapewnienia odpowiedniej jakości wody;
- ograniczania zapotrzebowania na wodę.

5. PLAN ZARZĄDZANIA SUSZĄ

Zarządzanie suszami jest istotnym elementem polityki i strategii w zakresie zasobów wodnych. Prowadzenie strategii zgodnie z wytyczonymi kierunkami zapewniają plany zarządzania suszą, których głównym celem jest opracowanie ram współpracy i komunikacji pomiędzy wszystkimi zainteresowanymi podmiotami. Plany zarządzania suszą przygotowuje się z wyprzedzeniem, na podstawie ustawodawstwa krajowego, po przeprowadzeniu dokładnych analiz zaistniałych susz, ich skutków i stosowanych środków łagodzących. Powinny być ujęte w system zarządzania suszą oparty na ryzyku i opracowane dla różnych jednostek (dorzeczy, zlewni). Podejście takie wymaga woli politycznej i skoordynowanego stanowiska w ramach i pomiędzy poziomami administracji, z uwzględnieniem różnych podmiotów zaangażowanych w proces opracowywania polityki. Jednym ze skuteczniejszych narzędzi do wdrożenia takiego podejścia jest 10-etapowy proces planowania, wykorzystany w polityce zarządzania suszą oraz w planach ograniczania skutków suszy w Stanach Zjednoczonych (Wilhite 2005), składający się z:

1. Powołania krajowej komisji zarządzania suszą.

2. Zdefiniowania celu i zadań krajowej polityki zarządzania suszą opartej na zarządzaniu ryzykiem.
3. Poszukiwania interesariuszy, definiowania i rozwiązywania konfliktów między kluczowymi użytkownikami sektorowymi, z uwzględnieniem skutków transgranicznych.
4. Inwentaryzacji danych i dostępnych zasobów finansowych oraz identyfikacji grup ryzyka.
5. Przygotowania i opracowania kluczowych zasad krajowej polityki zarządzania suszą i planów w zakresie gotowości, zawierających monitorowanie, wczesne ostrzeżenie i predykcję; ryzyko i ocenę oddziaływania oraz łagodzenie i reakcję.
6. Identyfikacji potrzeb badawczych i wypełnienia luk instytucjonalnych.
7. Integracji naukowych i politycznych aspektów zarządzania suszą.
8. Upowszechnienia krajowej polityki zarządzania suszą oraz przygotowania planów i budowania społecznej świadomości i porozumienia.
9. Opracowania programów edukacyjnych dla wszystkich interesariuszy i grup wiekowych.
10. Oceny i przeglądu krajowej polityki zarządzania suszą oraz wspierania planów działania w zakresie gotowości na wypadek suszy.

Założenia polityki zarządzania suszą wymagają okresowej oceny i weryfikacji w celu wyciągnięcia wniosków z ostatnich epizodów wystąpienia zjawiska, wprowadzenia nowych technologii czy zmian w ocenie wrażliwości. Zaleca się wprowadzenie innych środków do okresowych ocen suszy, np. prowadzenie ćwiczeń na najwyższym poziomie szczebli rządowych, sprawdzających stan koordynacji między agencjami rządowymi i ministerstwami oraz organizacjami pozarządowymi. Zaleca się również wprowadzanie zmian i aktualizację polityki zarządzania suszą. Skuteczne zarządzanie obejmuje procesy zmierzające do ograniczenia wpływu wahań czynnika ryzyka na elementy systemu. Podstawowe elementy modelowego, kompleksowego systemu zarządzania ryzykiem obejmują:

- politykę i zarządzanie;
- identyfikację zagrożeń suszą, monitorowanie ryzyka;
- budowanie świadomości, zarządzanie wiedzą i edukację;
- minimalizowanie ryzyka suszy;
- wzmacnianie działań łagodzących oraz podnoszących gotowość na wystąpienie suszy.

Dobrze funkcjonujący system zarządzania ryzykiem wspiera identyfikację ryzyka i zapewnia osiągnięcie sukcesu, co stanowi podstawę do rozwijania długofalowej strategii. Przykład dobrych praktyk zarządzania ryzykiem suszy w odniesieniu do modelowego, kompleksowego systemu zarządzania ryzykiem suszy przedstawia tabela 11.

Tabela 11

Dobre praktyki w zarządzaniu ryzykiem suszy (opracowanie własne)

Polityka i zarządzanie	Identyfikacja zagrożeń suszą, monitorowanie ryzyka	Budowanie świadomości, zarządzanie wiedzą i edukacja	Minimalizowanie ryzyka suszy	Wzmocnienie działań łagodzących oraz podnoszących gotowość na wystąpienie suszy
Zaangażowanie polityczne na wysokim szczeblu, wzmocnienie instytucjonalne, jasno sformułowane obowiązki na szczeblach: krajowym, regionalnym, lokalnym, zarządzanie oparte na zrównoważonym podejściu do ryzyka suszy	Zrozumienie wzajemnego oddziaływania naturalnego zagrożenia suszą i podatności społecznej, gospodarczej oraz środowiskowej w czasie i przestrzeni	Budowanie kultury zapobiegania suszy poprzez informowanie i przekazywanie właściwych komunikatów społeczeństwu	Budowa mechanizmów do systematycznego gromadzenia praktyków zajmujących się ograniczaniem ryzyka katastrof oraz kluczowych instytucji zaangażowanych w zarządzanie środowiskiem	Stosowanie zapobiegania, łagodzenia skutków i gotowości oraz doradźnych środków reagowania kryzysowego
Aktywne uczestnictwo społeczności w układzie zdecentralizowanym, oddolnym, zarządzanie w planowaniu, podejmowanie decyzji i wdrażanie – przejście od polityki do praktyki	Zwiększenie potencjału na poziomie indywidualnym, społecznym, instytucjonalnym i krajowym	Wsparcie spójnego gromadzenia wiedzy i rozpowszechniania wiadomości poprzez skuteczne zarządzanie informacjami, wzmocnienie dialogu między naukowcami, badaczami a praktykami i zainteresowanymi stronami	Określenie obszarów pokrywających się synergii między istniejącymi programami ochrony środowiska a działaniami na rzecz ograniczenia ryzyka suszy	Prrowadzenie dialogu, wymiana informacji i koordynacja między podmiotami zajmującymi się ograniczaniem ryzyka suszy a zarządzaniem kryzysowym
Rozwój wiedzy w budowaniu zaangażowania politycznego i instytucjonalnego	Identyfikacja wrażliwych grup i sektorów, ocena skutków w sektorach	Opracowanie i realizacja programów ukierunkowanych na zrozumienie lokalnych perspektyw i potrzeb, promowanie zaangażowania mediów celem zaangażowania społeczności i budowania odporności na suszę	Opracowanie zinstytucjonalizowanego mechanizmu wspólnej oceny, np. jako zintegrowana ocena wpływu na środowisko i ryzyko	Wybór działań zawierających zintegrowane zarządzanie środowiskiem i zasobami naturalnymi, rozwój społeczny i gospodarczy, planowanie przestrzenne z uwzględnieniem zmian klimatu
Przygotowanie zasad lub wytycznych operacyjnych regulujących politykę zarządzania suszą i jej skutki, w tym opracowanie planu gotowości	Identyfikacja i ocena ryzyka aktualnego	Edukacja i prowadzenie szkoleń dotyczących ograniczania ryzyka suszy	Ochrona najbardziej wrażliwych grup, nacisk na czynniki społeczno-gospodarcze wysokiego ryzyka (wiek, niepełność, nierówności społeczne, płeć)	Połączenie podejścia odgórnego i oddolnego jako skutecznego działania łagodzącego skutki suszy

Tabela 11

Dobre praktyki w zarządzaniu ryzykiem suszy (opracowanie własne), cd.

Polityka i zarządzanie	Identyfikacja zagrożeń suszą, monitorowanie ryzyka	Budowanie świadomości, zarządzanie wiedzą i edukacja	Minimalizowanie ryzyka suszy	Wzmocnienie działań łagodzących oraz podnoszących gotowość na wystąpienie suszy
Ograniczenie ryzyka poprzez zapobieganie, łagodzenie i gotowość	Ocena zmian klimatu i przyszłych suszy		Odbudowa po zakończeniu suszy z uwzględnieniem strategii ograniczania ryzyka suszy w przyszłości	Wdrożenie mechanizmów koordynujących identyfikację wiedzy i lokalnych potrzeb
Monitorowanie suszy, ocena i redukcja ryzyka			Odbudowa poprzez ubezpieczenia nieruchomości, a także mikro-kredyty i finansowanie zapewniające minimalne środki utrzymania	Powiązanie monitorowania i wczesnego ostrzeżenia z innymi działaniami mającymi na celu ograniczenie ryzyka
Opracowanie i egzekwowanie mechanizmów instytucjonalnych (politycznych, legislacyjnych, organizacyjnych)				Długoterminowe zaangażowania zasobów politycznych, instytucjonalnych, społecznych różnych szczebli
Rozwój długoterminowych działań ukierunkowanych na ograniczanie ryzyka				

5.1. Plany zarządzania suszą w Europie

Podstawowym dokumentem, który reguluje działania Unii Europejskiej w obszarze polityki wodnej jest Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) uchwalona w 2000 r. przez Parlament Europejski i Radę (2000/60/WE). Jej głównym celem było osiągnięcie dobrego stanu wszystkich wód, czyli co najmniej dobrego stanu ekologicznego i chemicznego do 2015 r. Dyrektywa zobowiązuje państwa członkowskie do wdrażania polityki wodnej UE zgodnie z zasadą zintegrowanego gospodarowania wodami. Jego głównym elementem jest opracowanie planów gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy oraz stworzenie programu działań, mających zapewnić osiągnięcie lub utrzymanie dobrego stanu w jednolitych częściach wód powierzchniowych i podziemnych.

W 2001 roku została ustalona *Wspólna strategia wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej*, w ramach której opracowano dokumenty techniczne oraz politykę działania w zakresie zarządzania ryzykiem suszy.

Podstawowe dokumenty polityki UE w zakresie zarządzania ryzykiem suszy to:

- Raport Komisji Europejskiej: Plan Zarządzania Suszą opracowany przez grupę Ekspertów ds. Niedoborów Wody i Susz (EC 2007), zawierający ogólne wytyczne dotyczące opracowywania Planu zarządzania ryzykiem suszy według planów gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozwiązania problemu dotyczącego niedoboru wody i susz w Unii Europejskiej (lipiec 2007). Dokument określa strategię zarządzania ryzykiem suszy, która obejmuje możliwe zasady postępowania oraz modele działań, mające na celu rozwiązanie kwestii niedoboru wody i susz. Dokument ten uznaje plany zarządzania ryzykiem suszy za jeden z głównych elementów polityki przeciwdziałania skutkom suszy.
- Plan ochrony zasobów wodnych Europy (listopad 2012) – dokument określający politykę, mającą na celu usunięcie przeszkód w podejmowaniu działań na rzecz ochrony zasobów wodnych, także w aspekcie suszy.

W 2012 roku Komisja przeprowadziła ogólną ocenę polityki odnośnie susz i niedoborów wody. Komunikat z 2007 r. wskazywał na konieczność integracji dokumentów planistycznych związanych z niedoborem wody i suszami z planami gospodarowania wodami celem poprawy wdrażania RDW.

W 2013 roku Globalne Partnerstwo dla Wody (GWP) oraz Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) wdrożyły *Zintegrowany Program Zarządzania Ryzykiem Suszy (IDMP)* w celu zapobiegania suszom i poprawy kontroli ich monitoringu (EC 2007). W tym samym roku Globalne Partnerstwo dla Wody (GWP) wdrożyło

dla krajów Europy Środkowo-Wschodniej program na poziomie regionalnym. Jego nadrzędnym celem jest wspieranie zainteresowanych stron poprzez zapewnienie im poradnictwa w zakresie polityki i zarządzania suszą, w toku dzielenia się informacją naukową oraz najlepszymi praktykami i wiedzą dotyczącą zintegrowanego zarządzania ryzykiem suszy. Chodziło o opracowanie praktycznych wytycznych do usprawnienia tworzenia krajowych planów zarządzania suszą. Zostały one sformułowane w sposób jasny, głównie z myślą o organach władzy publicznej i właściwych władzach odpowiedzialnych za planowanie zarządzania ryzykiem suszy na szczeblu krajowym, interesariuszach i społeczeństwie. Cele szczegółowe obejmowały: (a) zachęcenie interesariuszy do większego udziału w procesie integracji planowania i zarządzania ryzykiem suszy na potrzeby gospodarki wodnej, (b) stopniowe tworzenie planów zarządzania suszą według wytycznych WMO/GWP i UE, (c) propagację dodatkowych informacji, ważnych z punktu widzenia oceny suszy, np. stan jakościowy wód, przedłużające się susze oraz zmiany klimatyczne.

Proponowane ramy dla planów zarządzania suszą zawierają w szczególności:

- wskaźniki i wartości progowe identyfikujące początek i koniec suszy, intensywność, czas trwania i poziom zagrożenia w przypadku długotrwałych zjawisk;
- działania, które należy podjąć w każdej fazie suszy, aby zapobiec pogorszeniu się zasobów wodnych i złagodzić negatywne skutki suszy;
- ramy organizacyjne, kontrolę i aktualizację istniejącego planu zarządzania suszą;
- postępowania i działania zapobiegawcze i odbudowy;
- działania w odniesieniu do długotrwałych suszy;
- terminowy przegląd skutków długotrwałych suszy.

W odpowiedzi na opracowane wytyczne, większość państw UE przechodzi obecnie z modelu zarządzania kryzysowego do modelu zarządzania ryzykiem suszy. Podejście reaktywne, oparte na zarządzaniu kryzysowym, obejmuje działania realizowane po wystąpieniu suszy lub w jej trakcie. Stosuje się je w sytuacjach nagłych, co prowadzi do podejmowania nie w pełni optymalnych decyzji dotyczących wyboru działań, a wkład interesariuszy jest bardzo ograniczony. Preferowane jest podejście proaktywne, oparte na zarządzaniu ryzykiem suszy, które obejmuje środki i działania opracowywane z wyprzedzeniem, przy udziale zainteresowanych osób. Polega ono na doborze działań ukierunkowanych na zminimalizowanie i ograniczanie skutków susz.

5.2. Plan zarządzania suszą w Polsce

W polskim prawie krajowym przepisy regulujące gospodarowanie wodami, w tym zarządzania ryzykiem suszy, zawarte są w ustawie Prawo wodne z dn. 20 lipca

2017 r. (Dz.U. 2017, poz. 1566). Problematyka ochrony przed suszą została uregulowana w Dziale IV Ustawy: Zarządzanie ryzykiem powodziowym i przeciwdziałanie skutkom suszy (Prawo wodne, Dz.U. 2017, poz. 1566); wskazuje odpowiedzialność za przygotowanie planu przeciwdziałania skutkom suszy wraz z uwzględnieniem podziału kraju na obszary dorzeczy. Plan przeciwdziałania skutkom suszy ma zgodnie z Ustawą rangę dokumentu planistycznego w planowaniu gospodarowania wodami.

Plany przeciwdziałania skutkom suszy w regionach wodnych wraz z planami przeciwdziałania skutkom suszy w dorzeczach stanowią podstawowe dokumenty planistyczne w zakresie zarządzania ryzykiem suszy. Ich głównym zadaniem jest wspomaganie działań, mających na celu łagodzenie skutków suszy.

Plany te zawierają:

- 1) analizę możliwości powiększenia dyspozycyjnych zasobów wodnych;
- 2) propozycje budowy, rozbudowy lub przebudowy urządzeń wodnych;
- 3) propozycje niezbędnych zmian w zakresie korzystania z zasobów wodnych oraz zmian naturalnej i sztucznej retencji;
- 4) katalog działań służących ograniczeniu skutków suszy.

Pozostałe akty prawne w polskim ustawodawstwie dotyczące zjawiska suszy:

- ustawa o stanie klęski żywiołowej (Dz.U. 2017, poz. 1897) zalicza suszę do katastrof naturalnych oraz ustala tryb wprowadzania i zniesienia stanu klęski żywiołowej, a także zasady działania organów władzy publicznej w czasie trwania tego stanu;
- ustawa o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich (Dz.U. 2016, poz. 792, z późn. zm.), w art. 3 ust. 2 pkt. 10 określa, że *szkody spowodowane przez suszę oznaczają szkody powstałe wystąpieniem, w dowolnym sześciodekadowym okresie od dnia 1 kwietnia do dnia 30 września, spadku klimatycznego bilansu wodnego poniżej wartości określonej dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb.*

Jednostki obszarowe objęte zarządzaniem (zlewnia, region wodny, dorzecze)

W Polsce przeciwdziałanie skutkom suszy jest zadaniem organów administracji rządowej i samorządowej oraz Wód Polskich (Prawo wodne, Dz.U. 2017, poz. 1566, Dział IV, art.183). Planowanie zarządzania ryzykiem suszy obejmuje poziom krajowy oraz opracowywanie planów w danej jednostce planistycznej (obszar dorzecza, zlewnia, jednolita część wód).

Grupy interesariuszy

Ramowa Dyrektywa Wodna określa konieczność równoprawnego traktowania użytkowników wód przy uwzględnieniu konieczności ochrony środowiska natu-

ralnego. Określa również podmioty zajmujące się problematyką suszy na różnych poziomach, w tym politycznym (ministerstwa, agencje państwowe, jednostki administracji samorządowej), zawodowym (służby hydrometeorologiczne, wyższe uczelnie, instytuty badawcze) oraz na szczeblu użytkowników wód (rolnictwo, gospodarstwa rybackie, energetyka i przemysł, gospodarka komunalna i inne). Podkreśla udział społeczny użytkowników wód w systemie zarządzania suszą, jako kluczowy element zapewniający możliwość uzyskania konsensusu dotyczącego społecznych, gospodarczych i środowiskowych aspektów.

Aktualne podejście do zarządzania suszą w Polsce w odniesieniu do proponowanego podejścia opartego na ryzyku i strategicznym zarządzaniu ryzykiem suszy przedstawia tabela 12.

Tabela 12

Aktualne podejście do zarządzania suszą w Polsce

	Podjęcie aktualne	Podjęcie oparte na ryzyku
Diagnoza uwarunkowań	Ocena susz historycznych i wielkość poniesionych strat w odniesieniu do wybranych elementów systemów naturalnych i społecznych	Identyfikacja składowych oceny ryzyka dla poszczególnych elementów systemów naturalnych i społecznych: zagrożenia, narażenia, wrażliwości, odporności i wielkości strat oraz analiza scenariuszy zmian wszystkich czynników wpływających na wielkość ryzyka
Strategie zarządzania	brak	Strategia proaktywna, uwzględniająca opcje zarządzania kryzysowego (reagowanie i odbudowę) oraz opcje prewencji (planowanie i ograniczanie ryzyka)
Metody i narzędzia	Ograniczanie konsekwencji suszy o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia na potrzeby wybranego elementu systemu naturalnego lub społecznego niezależnie od konsekwencji i zapotrzebowania pozostałych elementów oraz kosztów podjętych działań w odniesieniu do spodziewanych rezultatów. Komunikacja zagrożenia za pomocą pojedynczych wskaźników suszy bez uwzględnienia fazy jej rozwoju	Ograniczenie ryzyka suszy do poziomu akceptowalnego dla wzajemnie powiązanych ze sobą elementów systemów naturalnych i społecznych, z uwzględnieniem stanu aktualnego zasobów wodnych i projekcji ich zmian, analizy kosztów i korzyści poszczególnych działań oraz produktów cyklicznej weryfikacji osiągniętych rezultatów. Komunikacja i wizualizacja poziomu zagrożenia i ryzyka przy wykorzystaniu wielokryterialnej oceny w postaci skalowalnych map
Cel zarządzania	Zagwarantowanie założonych potrzeb wodnych na wypadek suszy o określonym deficycie zasobów wodnych i czasie trwania	Zrównoważone zagwarantowanie potrzeb wodnych systemów społecznych i naturalnych z możliwością uzyskania korzyści w różnych perspektywach czasowych

6. PODSUMOWANIE

Świadomość niebezpieczeństwa istotnych zagrożeń naturalnych wymusza potrzebę wprowadzenia odpowiednich procedur pozwalających na efektywne i systematyczne działania, których celem jest eliminacja lub częściowe ograniczenie skutków tych zdarzeń. Ze względu na istotę suszy i proces jej rozwoju oraz wynikające z tego powszechnie stosowane w ocenie suszy ujęcie przyczynowo-skutkowe, w naturalny sposób skłania do traktowania suszy w kategoriach ryzyka, które definiowane jest jako pochodna zagrożenia i konsekwencji. Zdefiniowanie suszy w kategoriach ryzyka pozwala w szerszym kontekście dążyć do minimalizacji skutków i ograniczania wielkości strat z uwzględnieniem priorytetyzacji działań. Aktywna polityka zarządzania ryzykiem suszy jest niezbędna do osiągnięcia bezpieczeństwa zasobów wodnych w obliczu aktualnych zagrożeń klimatycznych i spodziewanych zmian.

W pracy zaprezentowano autorską koncepcję strategicznego zarządzania ryzykiem suszy jako zintegrowanego podejścia do realizacji planu zarządzania suszą, którego podstawą wdrożenia jest system zarządzania ryzykiem suszy zawierający rozwiązania metodyczne, operacyjne i adaptacyjne, wspomagające podejmowanie decyzji w warunkach niepewności. Zarządzanie ryzykiem jest kluczowe i konieczne do efektywnego ograniczania skutków suszy w sposób zrównoważony w zaspokajaniu potrzeb ludności, środowiska i gospodarki.

Zarządzanie ryzykiem jest procesem ciągłym, składającym się z uporządkowanych logicznie, następujących po sobie zdarzeń, działań, decyzji i uzgodnień powtarzanych cyklicznie w toku monitorowania osiągniętych rezultatów i wdrażania opcji adaptacji do obserwowanych i prognozowanych zmian. Przedstawiony w pracy system zarządzania ryzykiem tworzy ramy organizacyjne, metodyczne i funkcjonalne, których implementacja w postaci rozwiązań strukturalnych i informatycznych stanowić może narzędzie do skutecznego operowania planami przeciwdziałania skutkom suszy na poziomie regionów wodnych i dorzecza.

Proponowane podejście, oparte na strategicznym zarządzaniu w dążeniu do zrównoważonego zapewnienia bezpieczeństwa wodnego systemów społecznego i naturalnego, zapewnia trwałość usług ekosystemów słodkowodnych odpowiedzialnych za utrzymywanie bioróżnorodności, podtrzymanie procesów życiowych i regenerację środowiska, a także zapewnienie ludziom korzyści gospodarczych.

SŁOWNIK WYBRANYCH POJĘĆ

Adaptacja – plany i działania mające na celu ograniczenie ryzyka związanego ze wzrostem wielkości zagrożenia suszą (intensywności i częstotliwości zjawisk klimatycznych) lub wzrostem podatności na suszę w wyniku rozwoju społeczno-gospodarczego, jak również synergicznym oddziaływaniem obu czynników.

Konsekwencje suszy – wpływ suszy na gospodarkę, społeczeństwo lub środowisko. Są pochodną narażenia i podatności.

Monitorowanie ryzyka – kontrolowanie efektywności procesu zarządzania ryzykiem na jego różnych etapach: sformułowanych zadań i celów zarządzania ryzykiem; oceny wielkości i profilu ryzyka w odniesieniu do obserwowanych zmian; efektywności zaimplementowanych procedur zarządzania ryzykiem w systemie zarządzania, skuteczności podejmowanych działań w dążeniu do ograniczania ryzyka.

Narażenie – element systemu społecznego lub naturalnego, który podlega ekspozycji na zagrożenie suszą (np. wielkość populacji, wielkość i rodzaj upraw, obszar występowania określonego siedliska).

Obiekt zarządzania – określa zakres obszarowy/tematyczny/funkcjonalny, do którego odnoszą się strategie zarządzania ryzykiem. Obiekt zarządzania może oznaczać: o b s z a r t e r y t o r i a l n y (zlewnia, dorzecze, region wodny); s z c z e b e l p o l i t y k i regulujący zarządzanie na tym obszarze (krajowy, regionalny, lokalny); e l e m e n t s y s t e m u naturalnego i społecznego, np. sektor gospodarki, gałąź przemysłu, osoby zatrudnione w rolnictwie, siedlisko wodne; p r o c e s np. hodowla ryb, odtworzenie habitatu, degradacja gleby; p o s t ę p o w a n i e np. prowadzenie gospodarki wodnej na zbiornikach, utrzymanie stałego piętrzenia, odwodnienia.

Odporność – zdolność elementu systemu naturalnego lub społecznego do odtworzenia w określonym terminie akceptowalnego poziomu funkcjonowania oraz jego utrzymania z uwzględnieniem potencjału adaptacyjnego. Podejmowanie działań mających na celu zwiększanie odporności elementu systemu naturalnego lub społecznego bezpośrednio redukuje ryzyko suszy.

Opcja zarządzania – metoda zarządzania ryzykiem suszy na różnych etapach wystąpienia zagrożenia (brak zagrożenia, prognoza zagrożenia, wystąpienie zagrożenia). Rozróżniamy następujące metody: prewencje, reagowanie i odbudowę oraz adaptację.

Plan zarządzania suszą – celem planów jest opracowanie ram współpracy i komunikacji pomiędzy wszystkimi podmiotami związanymi z suszą. Plany zarządzania suszą przygotowuje się z wyprzedzeniem, na podstawie ustawodawstwa krajowego, po przeprowadzeniu dokładnych analiz zaistniałych susz, ich skutków i stosowanych środków łagodzących. Powinny być ujęte w system zarządzania suszą oparty na ryzyku i opracowane dla różnych jednostek: dorzeczy, zlewni.

Plany przeciwdziałania skutkom suszy – zgodnie z Ustawą Prawo wodne (Dz.U. 2017, poz. 1566) mają rangę dokumentu planistycznego w planowaniu gospodarowania wodami. Głównym zadaniem planów jest wspomaganie działań mających na celu łagodzenie skutków suszy. Plany przeciwdziałania skutkom zawierają: (a) analizę możliwości powiększenia dyspozycyjnych zasobów wodnych; (b) propozycje budowy, rozbudowy lub przebudowy urządzeń wodnych; (c) propozycje niezbędnych zmian w zakresie korzystania z zasobów wodnych; (d) propozycje zmian, naturalnej i sztucznej retencji; (e) katalog działań służących ograniczeniu skutków suszy.

Podatność – możliwość wystąpienia konsekwencji na skutek zagrożenia suszą o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym. Charakteryzuje stopień, w jakim dany element systemu naturalnego lub społecznego nie jest w stanie sobie poradzić z negatywnymi skutkami suszy. Podatność jest funkcją wrażliwości, wartości strat i odporności.

Ryzyko akceptowalne suszy – ryzyko suszy o intensywności, czasie trwania, zasięgu przestrzennym oraz prawdopodobieństwie wystąpienia, której potencjalne skutki pozwolą na zaspokajanie potrzeb wodnych systemów społecznego i naturalnego.

Ryzyko suszy – właściwość systemu społecznego i naturalnego, odzwierciedlająca interakcję pomiędzy klimatycznym zagrożeniem suszą meteorologiczną i hydrologiczną a podatnością społeczną, środowiskową oraz gospodarczą. Ryzyko suszy zawiera dwie podstawowe składowe (a) zagrożenie: brak opadów, obniżenie przepływów w rzeczkach, obniżenie zwierciadła wód podziemnych oraz (b) konsekwencje: wynikające z zagrożenia o określonej skali, np. spadek plonów, pożary lasów.

Strategia zarządzania ryzykiem – uwzględnia cele ogólne i cele cząstkowe, które rozstrzygają o funkcjonowaniu i rozwoju, otoczenie i czynniki wewnętrzne, poziom

organizacyjno-techniczny i zasoby, programy i plany, elastyczne podejście do horyzontu planowania, ocenę z zastosowaniem kryteriów efektywności. Strategie zarządzania ryzykiem przypisane są do obiektu zarządzania.

System zarządzania ryzykiem – zbiór rozwiązań metodycznych i metodologicznych oraz narzędzi informatycznych wspomagających proces zarządzania ryzykiem zarówno w realizacji zadań operacyjnych, jak i strategicznych. System zarządzania ryzykiem opracowuje się dla wybranej jednostki obszarowej w skali, dla której analizowane jest ryzyko suszy (dorzecze, region wodny, zlewnia) w odniesieniu do określonego obiektu zarządzania.

Wartość strat – nominalna skala wielkości szkód. Miary szacowania wartości szkód powinny być znormalizowane i zestandaryzowane pod kątem hierarchizacji obszarów narażonych na suszę np. liczba osób poszkodowanych ze względu na ograniczony dostęp do wody, procentowa utrata powierzchni siedlisk. Uproszczone podejście może obejmować jakościową ocenę w postaci skategoryzowanej: wysoka, średnia lub niska wartość strat.

Wrażliwość – stopień w jakim element systemu naturalnego lub społecznego jest dotknięty suszą o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym (np. niedobór wilgoci w glebie może obniżyć plony o kilkadziesiąt %). Wynikiem oceny wrażliwości jest identyfikacja obszarów wrażliwych.

Zagrożenie suszą – możliwość wystąpienia w określonym horyzoncie czasowym czynników meteorologicznych kształtujących suszę i warunkujących propagację deficytu opadów w poszczególnych komponentach cyklu hydrologicznego. Ocenę stopnia zagrożenia wyraża się poprzez prawdopodobieństwo wystąpienia suszy o określonej intensywności, czasie trwania i zasięgu przestrzennym. Prawdopodobieństwo, jako miara oceny, jest bezwymiarowe i związane z określoną skalą czasową, na przykład prawdopodobieństwo, że wartość przepływu spadnie poniżej określonego progu wyraża się w kategorii prawdopodobieństwa nieosiągnięcia w ciągu 1 roku, 10 lat, 100 lat.

Zarządzanie ryzykiem – ciągły, proaktywny i systematyczny proces mający na celu zrozumienie ryzyka, zarządzanie nim i informowanie o nim z szerokiej perspektywy. Proces zarządzania ryzykiem opiera się na ogólnie stosowanych zasadach zarządzania ryzykiem i jest dostosowany do różnych poziomów obszarowych, legislacyjnych i finansowych. Obejmuje następujące kroki:

- analizę i uszeregowanie ryzyka pod względem prawdopodobieństwa i skutków;
- identyfikację kluczowych założeń (czynników) sukcesu;
- identyfikację ryzyka;
- monitorowanie i sprawozdawczość;
- określenie gotowości do ponoszenia ryzyka oraz poinformowanie o niej;
- określenie i ocenianie reakcji na ryzyko;
- określenie rezultatów, które należy osiągnąć;
- ustalenie reakcji na ryzyko rezydualne.

BIBLIOGRAFIA

- Allen C.D., Breshears D.D., McDowell N.G., 2015, On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene, *Ecosphere*, 6 (8), 1-55, DOI: 10.1890/ES15-00203.1
- Balco M., 1976, Relation of the catchment area and its mean runoff to low-flows, *Vodohospodarsky Casopis*, 24 (3), 248-257
- Banimahd S.A., Khalil, D., 2013, Factors influencing Markov Chains Predictability characteristics, Utilizing SPI, RDI, EDI and SPEI drought indices in different climatic Zones, *Water Resources Management*, 27 (11), 3911-3928, DOI: 10.1007/s11269-013-0387-z
- Baranowski D., 2001, Zróznicowanie warunków atmosferycznych w Polsce w zależności od typów cyrkulacji, praca doktorska, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa
- Bartnik A., 2005, Odpływ niski w Polsce, *Acta Geographica Lodziensia*, 91, 95 s.
- Becla A., Czaja S., Zielińska A., 2012, Analiza kosztów-korzyści w wycenie środowiska naturalnego, Difin, Warszawa, 162 s.
- Beran M., Rodier J.A., 1985, Hydrological aspects of drought, *Studies and reports in hydrology*, 39, UNESCO-WMO, Paryż, 149 s.
- Blunden J., Arndt D., Baringer M., 2011, State of the climate in 2010, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92 (6), S1-S236, DOI: 10.1175/1520-0477-92.6.S1
- Bruins H.J., Berliner P.R., 1998, Bioclimatic aridity, climatic variability, drought and desertification: definitions and management options, [w:] *The Arid Frontier. Interactive Management of Environment and Development*, H.J. Bruins, H. Lithwick (red.), Springer, 97-116
- Burke E.J., Brown S.J., Christidis N., 2006, Modelling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model, *Journal of Hydrometeorology*, 7 (5), 1113-1125, DOI: 10.1175/JHM544.1
- Byun H.-R., Wilhite D.A., 1996, Daily quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate* 5, 1181-1201

- Byun H.-R., Wilhite D.A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate* 12, 2747-2756, DOI: 10.1175/1520-0442(1999)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2
- Chang F.C., Wallace J.M., 1987, Meteorological conditions during heat waves and droughts in the United States great plains, *Monthly Weather Review*, 115 (7), 1253-1269, DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1253:MCDHWA>2.0.CO;2
- Changnon S.A., 1987, Detecting drought conditions in Illinois, Illinois State Water Survey, ISWS/CIR-169/87, Champaign, USA, 36 s., dostęp online 22.11.2017 (<http://www.sws.uiuc.edu/pubdoc/C/ISWSC-169.pdf>)
- Chong Y.Y., Brown E.M., 2001, Zarządzanie ryzykiem projektu, Dom Wydawniczy ABC, Kraków, 35 s.
- Cook E.R., Meko D.M., Stahle D.W., Cleaveland M.K., 1999, Drought reconstructions for the continental United States, *Journal of Climate*, 12 (4), 1145-1162, DOI: 10.1175/1520-0442(1999)012<1145:DRFTCU>2.0.CO;2
- Corti S., Weisheimer A., Palmer T.N., Doblus-Reyes F.J., Magnusson L., 2011, Reliability of decadal predictions, *Geophysical Research Letters*, 39 (21), DOI: 10.1029/2012gl053354
- Crausbay S., 2017, Defining ecological drought for the 21st century, *Bulletin of the American Meteorological Society*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0292.1>
- Dai A., 2011, Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900-2008, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116 (D12115), DOI: 10.1029/2010JD015541
- Dai A., Trenberth K.E., Qian T., 2004, A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5 (6), 1117-1130, DOI: 10.1175/JHM-386.1
- David L.B., Wolfram S., Justin C.-R., 2011, Climate trends and global crop production since 1980, *Science*, 333 (6042), 616-620, DOI: 10.1126/science.1204531
- Demuth S., Stahl K., 2001, ARIDE – Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe: Final Report, Institute of Hydrology, University of Freiburg, Freiburg, Germany, 154 s.
- Dębski K., 1953, Rozważania na temat metod przewidywania suszy, *Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny*, 5 (3-4), 96-113
- Dębski K., 1970, *Hydrologia*, Arkady, Warszawa
- Dilley M., Chen R.S., Deichmann U., Lerner-Lam A.L., Arnold M., Agwe J., Buys P., Kjekstad O., Lyon B., Yetman G., 2005, Natural disaster hotspots: a global risk analysis, *Disaster Risk Management Series*, 5, The World Bank, Columbia University, Waszynton, DC, USA, 132 s.
- Dracup J.A., 1991, Drought monitoring, *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 5 (4), 261-266, DOI: 10.1007/BF01543134

- Drwal J., 1985, Jeziora w egzoreicznych systemach pojezierzy młodoglacjalnych, Zeszyty Naukowe Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii UG, Seria Geografia, 14, 7-15
- Dubicki A. (red.), 2002. Zasoby wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy, IMGW, Warszawa, 107 s.
- Dubrovsky M., Svoboda M., Trnka M., Hayes M., Wilhite D., Zalud Z., Hlavinka P., 2009, Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia, *Theoretical and Applied Climatology*, 96 (1-2), 155-171, DOI: 10.1007/s00704-008-0020-x
- Dworak T., Berglund M., Laaser C., Strosser P., Roussard J., Grandmougin B., Kossida M., Kyriazopoulou I., Berbel J., Kolberg S., Rodriguez-Diaz J.A., Montesinos P., 2007, EU Water saving potential (Part 1 – Report), *Ecologic – Institute for International and European Environment Policy*, 247 s., dostęp online 21.11.2017 (https://www.ecologic.eu/sites/files/project/2013/917_water_saving_1.pdf)
- Dynowska I., 1972, Typy reżimów rzecznych w Polsce, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 28, 155 s.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/EC z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, EUR-Lex, Bruksela
- Dz.U. 2005 Nr 150, poz. 1249, Ustawa z dnia 7 lipca 2005 r. o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich, Internetowy System Aktów Prawnych, Sejm RP
- Dz.U. 2016, poz. 792 z późn. zm., Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich, Internetowy System Aktów Prawnych, Sejm RP
- Dz.U. 2017, poz. 209, Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 26 stycznia 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o zarządzaniu kryzysowym, Internetowy System Aktów Prawnych, Sejm RP
- Dz.U. 2017, poz. 1566, Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne, Internetowy System Aktów Prawnych, Sejm RP
- Dz.U. 2017, poz. 1897, Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 15 września 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o stanie kłęski żywiolowej, Internetowy System Aktów Prawnych, Sejm RP
- EC, 2006, European action on water scarcity & drought. First analysis of water scarcity and drought issues, Information Note, Environment Council, 27.06.2006
- EC, 2007, Drought Management Plan Report: including agricultural, drought indicators and climate change aspects. Technical Report – 2008 – 023, Komisja Europejska, Luksemburg, dostęp online 21.11.2017 (http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf)

- EC, 2010, Water scarcity and drought in the European Union, dostęp online 22.11.2017 (http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water_scarcity.pdf)
- EU, 2010, Extended guidance document after conference on drought management and policy options (D. 5.2.), Work Package 5, 7 Program Ramowy, temat 6: Środowisko, łącznie ze zmianami klimatycznymi, 117 s., dostęp online 21.11.2017 (<http://www.feem-project.net/xerochore/files/D5.2.pdf>)
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P., 1995, Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 16, 140 s.
- Feudale L., Shukla J., 2007, Role of Mediterranean SST in enhancing the European heat wave of summer 2003, Geophysical Research Letters, 34 (3), L03811, DOI: 10.1029/2006GL027991
- Feudale L., Shukla J., 2011, Influence of sea surface temperature on the European heat wave of 2003 summer. Part I: an observational study, Climate Dynamics, 36 (9-10), 1691-1703, DOI: 10.1007/s00382-010-0788-0
- Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2015, Guidelines for the preparation of Drought Management Plans. Development and implementation in the context of the EU Water Framework Directive, Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 48 s., dostęp online 21.11.2017 (http://www.droughtmanagement.info/literatu-re/GWP-CEE_Guidelines_Preparation_Drought_Management_Plans_2015.pdf)
- Grey D., Sadoff W., 2007, Sink or swim? Water security for growth and development, Water Policy, 9 (6), 545-571, DOI: 10.2166/wp.2007.021
- Gupta P.K., 2011, Risk management in Indian companies: EWRM concerns and issues, The Journal of Risk Finance, 12 (2), 121-139, DOI: 10.1108/15265941111112848
- Gutry-Korycka M., Sadurski A., Kundzewicz Z., Pociask-Karteczka J., Skrzypczyk L., 2014, Zasoby wodne a ich wykorzystanie, Nauka 1, 77-98
- Guttman N.B., 1998, Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index, Journal of the American Water Resources Association, 34 (1), 113-121, DOI: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x
- Hayes M.J., Svoboda M.D., Wilhite D.A., Vanyarkho O.V., 1999, Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index, Bulletin of the American Meteorological Society, 80 (3), 429-438, DOI: 10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2
- Heim R.R. Jr., 2002, A review of twentieth-century drought indices used in the United State, Bulletin of the American Meteorological Society, 83, 1149-1165, DOI: 10.1175/1520-0477(2002)083<1149:AROTDI>2.3.CO;2
- Helmer M., Hilhorst D., 2006, Natural disasters and climate change, Disasters, 30 (1), 1-4, DOI: 10.1111/j.1467-9523.2006.00302.x

- Hirschboeck K.K., 1988, Flood hydroclimatology, [w:] Flood geomorphology, V.R. Baker, R.C. Kochel, P.C. Patton (red.), Wiley, 27-49
- Hisdal H., Stahl K., Tallaksen L.M., Demuth S., 2001, Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent?, *International Journal of Climatology*, 21 (3), 317-333, DOI: 10.1002/joc.619
- Hulme M., 1992, Rainfall changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990, *International Journal of Climatology*, 12 (7), 685-699, DOI: 10.1002/joc.3370120703
- IPCC, 2007, Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability, Working Group II Contribution to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson (red.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 s..
- IPCC, 2012, Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, Q. Dahe, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (red.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, 582 s.
- Jajuga K., 2007, Zarządzanie ryzykiem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 390 s.
- Jakubowski W., 2003, Guide and computer program NIZOWKA, Mathematic Division, Agricultural University, Wrocław
- Jokić P., 1987, Proces wysychania zlewni i jego fizjograficzne uwarunkowania. *Acta Geographica Lodziensia*, 56, 134 s.
- Jokić P., 1994, Zasoby, odnawialność i odływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce, *Acta Geographica Lodziensia*, 66-67, 236 s.
- Keyantash J.A., Dracup J.A., 2004, An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage, *Water Resources Research*, 40 (9), 1-13, DOI: 10.1029/2003WR002610
- Kogan F., 1995, Drought of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76 (5), 655-668, DOI: 10.1175/1520-0477(1995)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2
- Kogan F., Adamenko T., Guo W., 2013, Global and regional drought dynamics in the climate warming era, *Remote Sensing Letters*, 4(4), 364-372, DOI: 10.1080/2150704X.2012.736033
- KOM(2007)414, wersja ostateczna z 18.07.2007, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozwiązania problemu dotyczącego niedoboru wody i susz w Unii Europejskiej, EUR-Lex, Bruksela
- KOM(2012)672, wersja ostateczna z 14.11.2012, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Sprawozdanie z przeglądu europejskiej polityki w dziedzinie niedoboru wody i susz, EUR-Lex, Bruksela

- KOM(2012)673, wersja ostateczna z 14.11.2012, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Plan ochrony zasobów wodnych Europy, EUR-Lex, Bruksela
- Kristensen K., Schelde K., Olesen J.E., 2011, Winter wheat yield response to climate variability in Denmark, *The Journal of Agricultural Science*, 149 (1), 33-47, DOI: 10.1017/S0021859610000675
- Kucharska K., Tyszka J., 1984, Niektóre aspekty kształtowania się współczynników odpływu w zależności od lesistości małych zlewni nizinnych, [w:] *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego: „Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych”*, PTGeof, Wrocław, 122-125
- Li Y., Ye W., Wang M., Yan X., 2009, Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts, *Climate Research*, 39 (1), 31-46, DOI: 10.3354/cr00797
- Linsley R.K., Kohler M.A., Paulhus J.L.H., 1975, *Hydrology for engineers*, McGraw-Hill, New York, 485 s.
- Lloyd-Hughes B., Saunders M.A., 2002, A drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology*, 22, 1571-1592, DOI: 10.1002/joc.846
- Lorenc H., Ceran M., Mierkiewicz M., Sasim M., Wita A., 2006, *Susza w Polsce – 2006 (przyczyny, natężenia, zasięg, wnioski na przyszłość)*, raport, IMGW, Warszawa, dostęp online 21.11.2017 (<https://bip.minrol.gov.pl/Informacje-Branzowe/Monitoring-suszy/SUSZA-W-POLSCE-2006-rok-przyczyny-natezenie-zasieg-wnioski-na-przyszlosc>)
- Lundberg J., Johansson B.J.E., 2015, Systemic resilience model, *Reliability Engineering & System Safety*, 141, 22-32, DOI: 10.1016/j.ress.2015.03.013
- Łabędzki L., 2006, *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie: Rozprawy Naukowe i Monografie, 17, 107 s.
- Łabędzki L., 2008, Ocena częstotliwości susz o różnym czasie trwania przy użyciu wskaźnika standaryzowanego opadu SPI, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 526, 105-112
- Łabędzki L., Bąk B., 2004, Standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy, *Acta Agrophysica*, 3 (1), 117-124
- Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., 2008, Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie – Rozprawy naukowe i monografie*, 25, 136 s.
- MacDonald G.M., 2007, Severe and sustained drought in southern California and the West: Present conditions and insights from the past on causes and impacts. *Quaternary International*, 173-174, 87-100, DOI: 10.1016/j.quaint.2007.03.012
- Mager P., Kuźnicka M., Kępińska-Kasprzak M., Farat R., 1999, Zmiany natężenia i częstości pojawiania się susz w Polsce (1891-1995), [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski: ich*

- wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka: ogólnopolska konferencja naukowa, A. Dubicki (red.), Wydawnictwo BGW, Łódź, 159-164
- Maidment D.R., 1993, Handbook of hydrology, McGraw-Hill Inc., New York, 1424 s.
- Marengo J.A., Nobre C.A., Tomasella J., Oyama M.D., Sampaio de Oliveira G., De Oliveira R., Camargo H., Alves L.M., Brown I.F., 2008, The drought of Amazonia in 2005, *Journal of Climate*, 21 (3), 495-516, DOI: 10.1175/2007JCLI1600.1
- Marengo J.A., Tomasella J., Uvo C.R., 1998, Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103 (D2), 1775-1783, DOI: 10.1029/97JD02551
- Maxwell J.T., Soule P.T., 2011, Drought and other driving forces behind population change in six rural counties in the United States, *Southeastern Geographer*, 51 (1), 133-149, DOI: 10.1353/sgo.2011.0011
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, [w:] Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 12-22 stycznia, Anaheim, California, USA
- Miller N.L., Dale L.L., Brush C.F., Vicuna S.D., Kadir T., Dogrul E.C., Chung F.I., 2009, Drought resilience of the California Central Valley surface-ground-water-conveyance system, *Journal of the American Water Resources Association*, 45 (4), 857-866, DOI: 10.1111/j.1752-1688.2009.00329.x
- Miller D.A., White R.A., 1998, A conterminous United States multi-layer soil characteristics data set for regional climate and hydrology modelling, *Earth Interactions*, 2 (2), DOI: 10.1175/1087-3562(1998)002<0001:ACUSMS>2.3.CO;2
- Mishra A.K., Singh V.P., 2010, A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, 391 (1-2), 202-216, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.01
- Mpelasoka F., Hennessy K., Jones R., Bates B., 2008, Comparison of suitable drought indices for climate change impacts assessment over Australia towards resource management, *International Journal of Climatology*, 28 (10), 1283-1292, DOI: 10.1002/joc.1649
- Nagarajan R., 2010, Drought assessment, Springer Netherlands, 429 s.
- Narasimhan B., Srinivasan R., 2005, Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring, *Agricultural and Forest Meteorology*, 133 (1-4), 69-88, DOI: 10.1016/j.agrformet.2005.07.012
- Nicholls N., 2004, The changing nature of Australian droughts, *Climatic Change*, 63 (3), 323-336, DOI: 10.1023/B:CLIM.0000018515.46344.6d
- Oba G., Post E., Stenseth N.C., 2001, Sub-saharan desertification and productivity are linked to hemispheric climate variability, *Global Change Biology*, 7 (3), 241-246, DOI: 10.1046/j.1365-2486.2001.00405.x

- Palmer W.C., 1965, Meteorological drought, Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC, 59 s., dostęp online 23.11.2017 (<https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>)
- Panu U.S., Sharma T.C., 2002, Challenges in drought research: some perspectives and future directions, *Hydrological Sciences Journal*, 47, 19-30, DOI: 10.1080/02626660209493019
- Paulo A.A., Ferreira E., Coelho C., Pereira L.S., 2005, Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning, *Agricultural Water Management*, 77 (1-3), 59-81, DOI: 10.1016/j.agwat.2004.09.039
- Pausas J.G., 2004, Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin), *Climatic Change*, 63 (3), 337-350, DOI: 10.1023/B:CLIM.0000018508.94901.9c
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Trnka M., Olesen J.E., Calanca P., Eckersten H., Eitzinger J., Gobin A., Kersebaum K.C., Kozyra J., 2010, Coincidence of variation in yield and climate in Europe, *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 139 (4), 483-489, DOI: 10.1016/j.agee.2010.09.006
- Pietrygowa Z., 1972, Krążenia wód podziemnych hydrologicznie czynnych w obszarze fliszowym na przykładzie dorzecza Skawy, *Folia Geographica, Series Geographica-physica*, 6, 137-152
- Potop V., 2011, Evolution of drought severity and its impact on in the Republic of Moldova, *Theoretical and Applied Climatology*, 105 (3-4), 469-483, DOI: 10.1007/s00704-011-0403-2
- Potop V., Boroneant C., Caian M., 2012, Model validation and drought assessment with a regional climate model over Moldova, *Scientia Agriculturae Bohemica*, 43 (4), 134-144, DOI: 0.7160/sab.2012.430403
- Późniak R., 1973, Zmienność obszarowa odpływu podziemnego w dorzeczu Wisły na tle budowy geologicznej, *Zeszyty Naukowe AR, Melioracje Rolne*, 11, 21-30
- Prusak A., Strojny J., Stefanow P., 2014, Analityczny proces hierarchiczny (AHP) na skróty – kluczowe pojęcia i literatura, *Humanities and Social Sciences*, 21 (4), 179-192, DOI: 10.7862/rz.2014.hss.66
- Quiring S.M., Papakryiakou T.N., 2003, An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies, *Agricultural and Forest Meteorology*, 118 (1-2), 49-62, DOI: 10.1016/S0168-1923(03)00072-8
- Ranjan R., 2013, Combining social capital and technology for drought resilience in agriculture, *Natural Resources Modeling*, 27 (1), 104-127, DOI: 10.1111/nrm.12021
- Ranjan R., 2014, Groundwater management through collective participation: Why some institutions succeed and other fail? *Annals of Public and Cooperative Economics*, 85 (3), 427-452, DOI: 10.1111/apce.12042

- Rasmussen E.M., Dickinson R.E., Kutzbach J.E., Cleaveland M.K., 1993, *Climatology*, [w:] *Handbook of hydrology*, D.R. Maidment (red), McGraw-Hill, 2.1-2.44
- Rhee J., Im J., Carbone G.J., 2010, Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, 114 (12), 2875-2887, DOI: 10.1016/j.rse.2010.07.005
- Rochdane S., Reichert B., Messouli M., Babqiqi A., Yacoubi Khebiza M.Y., 2012, Climate change impacts on water supply and demand in Rheraya Watershed (Morocco), with potential adaptation strategies, *Water*, 4, 28-44, DOI: 10.3390/w4010028
- Rockström J., Barron J., Fox P., 2002, Rainwater management for increased productivity among small-holder farmers in drought prone environments, *Physics and Chemistry of the Earth*, 27 (11-22), 949-959, DOI: 10.1016/S1474-7065(02)00098-0
- Rojek M., 1994, Rozkład przestrzenny klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski w okresie 1951-1990, *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Inżynieria Środowiska*, 243, 9-21
- Rouault M., Richard Y., 2005, Intensity and spatial extent of droughts in southern Africa, *Geophysical Research Letters*, 32 (15), L15702, DOI: 10.1029/2005GL022436
- Sánchez-Quispe S.T., Alvarez J.A., Andreu J., Solera A., 2001, Gestión de recursos hídricos con decisiones basadas en estimación del riesgo, *Universidad Politécnica de València*, 186 s.
- Schmidt D.H., Garland K., 2012, Bone dry in Texas: Resilience to drought on the Upper Texas Gulf Coast, *Journal of Planning Literature*, 27 (4), 434-445, DOI: 10.1177/0885412212454013
- Shafer B.A., Dezman L.E., 1982, Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas, [w:] *Proceedings of the 50th Western Snow Conference*, 164-175
- Sheffield J., Andreadis K., Wood E., Lettenmaier D., 2009, Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events, *Journal of Climate* 22, (8), 1962-1981, DOI: 10.1175/2008JCLI2722.1
- Sheffield J., Wood E., 2008, Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, *Climate Dynamics*, 31 (1), 79-105, DOI: 10.1007/s00382-007-0340-z
- Sheffield J., Wood E.F., Roderick, M.L., 2012, Little change in global drought over the past 60 years, *Nature*, 491, 435-438, DOI: 10.1038/nature11575
- Shen C., Wang W.-C., Hao Z., Gong W., 2007, Exceptional drought events over eastern China during the last five centuries, *Climatic Change*, 85 (3-4), 453-471, DOI: 10.1007/s10584-007-9283-y
- Shukla S., Wood A.W., 2008, Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophysical Research Letters*, 35 (2), L02405, DOI: 10.1029/2007GL032487

- Simelton E., Fraser E.D.G., Termansen M., Forster P.M., Dougill A.J., 2009, Typologies of crop-drought vulnerability: an empirical analysis of the socio-economic factors that influence the sensitivity and resilience to drought of three major food crops in China (1961-2001), *Environmental Science and Policy*, 12 (4), 438-452, DOI: 10.1016/j.envsci.2008.11.005
- Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P., Vogt J., 2013, World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010, *International Journal of Climatology*, 34 (8), 2792-2804, DOI: 10.1002/joc.3875
- Stahl K., 2001, Hydrological drought – a study across Europe, PhD Thesis Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg Schriften zur Hydrologie, Band 15, Germany, dostęp online 21.11.2017 (<http://www.hydrology.uni-freiburg.de/publika/FSH-Bd15-Stahl.pdf>)
- Stahl K., Hisdal H., 2004, Drought hydroclimatology, [w:]. *Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, L.M. Tallaksen, H.A.J. van Lanen (red.), *Developments in Water Science*, 48, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 19-51
- Starkel L., Kundzewicz Z.W., 2008, Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju, *Nauka*, 1, 85-101
- Steinemann A., Hayes M., Cavalcanti L., 2005, Drought indicators and triggers, [w:] *Drought and water crises: Science, technology and management issues*, D.A. Wilhite (red.), CRC Press, New York, 71-92
- Svoboda M., LeComte D., Hayes M., Heim R., Gleason K., Angel J., Rippey B., Tinker R., Palecki M., Stooksbury D., Miskus D., Stephens S., 2002, The drought Monitor, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1181-1190, DOI: 10.1175/1520-0477(2002)083<1181:TDM>2.3.CO;2
- Szalai S., Szinell C., 2000, Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary – a case study, [w:] *Drought and drought mitigation in Europe*, J.V. Vogt, F. Somma (red.), Springer Netherlands, 161-166
- Tallaksen L.M., van Lanen H.A.J. (red.), 2004, *Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, *Developments in Water Science*, 48, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 597 s.
- Tarhule A., Lamb P.J., 2003, Climate research and seasonal forecasting for West Africans: Perceptions, dissemination, and use? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (12), 1741-1759, DOI: 10.1175/BAMS-84-12-1741
- Tate E.L., Gustard A., 2000, Drought definition: Hydrological perspective, [w:] *Drought and drought mitigation in Europe*, J.V. Vogt, F. Somma (red.), Kluwar Academic Publishers, 23-48
- Tokarczyk T., 2010, Nizówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej, IMGW, Warszawa, 164 s.
- Tokarczyk T., Szalińska W., 2010, Operacyjny system oceny zagrożenia suszą, [w:] *Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej*. Tom I., B. Więzik (red.), Seria: Monografie KGW-PAN, 68, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Warszawa, 285-294

- Tokarczyk T., Szalińska W., 2013, The operational drought hazard assessment scheme – performance and preliminary results, *Archives of Environmental Protection*, 39 (3), 61-77, DOI: 10.2478/aep-2013-0028
- Tokarczyk T., Szalińska W., 2014, Combined analysis of precipitation and water deficit for drought hazard assessment, *Hydrological Sciences Journal*, 54 (9), 1675-1689, DOI: 10.1080/02626667.2013.862335
- Trnka M., Hlavinka P., Semerádová D., Dubrovsky M., Zalud Z., Možny M., 2007, Agricultural drought and spring barley yields in the Czech Republic, *Plant Soil and Environment*, 53 (7), 306-316
- Tsakiris G., Nalbantis I., Vangelis H., Verbeiren B., Huysmans M., Tychon B., Jacquemin I., Canters F., Vanderhaegen S., Engelen G., Poelmans L., De Becker P., Batelaan O., 2013, A system-based paradigm of drought analysis for operational management, *Water Resources Management*, 27 (15), 5281-5297, DOI: 10.1007/s11269-013-0471-4
- Tubiello F.N., Soussana J.-F., Howden S.M., 2007, Crop and pasture response to climate change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104 (50), 19686-19690, DOI: 10.1073/pnas.0701728104
- Twardosz R., 2009, Analysis of hourly precipitation characteristics in Kraków, southern Poland, using a classification of circulation types, *Hydrology Research*, 40 (6), 553-563, DOI: 10.2166/nh.2009.056
- UNISDR, 2004, *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 429 s.
- UNISDR, 2009, *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 178 s.
- USDA, 2000, *Preparing for drought in the 21st century*, Report of the National Drought Policy Commission, U.S. Department of Agriculture's Office of Communications, 50 s., dostęp online 21.11.2017 (<https://govinfo.library.unt.edu/drought/finalreport/fullreport/pdf/reportfull.pdf>)
- Vicente-Serrano S.M., 2007, Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region, *Natural Hazards*, 40 (1), 173-208, DOI: 10.1007/s11069-006-0009-7
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., 2010, A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, *Journal of Climate*, 23, 1696-1718, DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1
- Vlachos E.L., Douglas J., 1983, *Drought impacts*, [w:] *Coping with droughts*, V. Yevjevich, L. da Cunha, E. Vlachos (red.), Water Resources Publication, Littleton, CO
- Vladimirov A., 1970, *Minimalnyj stok rek SSSR*, Gidrometeoizdat, Leningrad, 214 s.

- Vogt J.V., Somma F. (red.), 2000, Drought and drought mitigation in Europe, Springer Netherlands, 328 s.,
- Wang Q., Wu J., Lei T., He B., Wu Z., Liu M., Mo X., Geng G., Li X., Zhou H., Liu D., 2014, Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale, *Quaternary International*, 349, 10-21, DOI: 10.1016/j.quaint.2014.06.021
- Warrick R.A., 1984, The possible impacts on wheat production of a recurrence of the 1930s drought in the US Great Plains, *Climatic Change*, 6 (1), 5-26, DOI: 10.1007/BF00141665
- Water Resources Act, 1991, dostęp online 22.11.2017 (https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1991/57/pdfs/ukpga_19910057_en.pdf)
- Watts G., Von Christierson B., Hannaford J., Lonsdale K., 2012, Testing the resilience of water supply systems to long droughts, *Journal of Hydrology*, 414-415, 255-267, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.10.038
- Wells N., Goddard S., Hayes M.J., 2004, A self-calibrating Palmer drought severity index, *Journal of Climate*, 17, 2335-2351, DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017
- Werick W.J., Whipple W. Jr., 1994, Managing water for drought, IWR Report 94-NDS-8, Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, 210 s., dostęp online 21.11.2017 (<http://drought.unl.edu/portals/0/docs/ManagingWaterForDrought.pdf>)
- Wilgat T., 1984, Zmiany struktury obiegu wody pod wpływem działalności gospodarczej, [w:] Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych. Materiały Konferencyjne Komisji Hydrograficznej PTG, Piaseczno, 4-6 maja, Lublin, 7-20
- Wilhite D.A., 2000, Drought as a natural hazard: concepts and definitions, [w:] Drought: A global assessment, D.A. Wilhite (red.), Routledge Publishers, Londyn, 3-18
- Wilhite D.A., 2005, Drought and water crises: Science, technology, and management issues, CRC Press, Taylor & Francis Group, 432 s.
- Wilhite D.A., Glatz M.H., 1985, Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10 (3), 111-120, DOI: 10.1080/02508068508686328
- Wilhite D.A., Svoboda M.D., Hayes M.J., 2007, Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness, *Water Resources Management*, 21 (5), 763-774, DOI: 10.1007/s11269-006-9076-5
- WMO, 2012, Standardized Precipitation Index. User Guide, WMO-No 1090, World Meteorological Organization, Genewa, Szwajcaria, 16 s.
- Wróblewski D. (red.), 2015, Zarządzanie ryzykiem, przegląd wybranych metodyk, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów, 475 s.
- WSDG, 2006, Water scarcity management in the context of WFD, MED Joint Process WFD /EUWI. Water Scarcity Drafting Group, dostęp online 22.11.2017 (http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/comm_droughts/8a_1.pdf)

- Wu H., Svoboda M.D., Hayes M.J., Wilhite D.A., Wen F., 2007, Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons, *International Journal of Climatology*, 27 (1), 65-79, DOI: 10.1002/joc.1371
- WWF, GIWP, 2016, Drought risk management. A strategic approach, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO, Paryż, Francja, dostęp online 21.11.2017 (<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002456/245633e.pdf>)
- Yoo J., Kwon H.-H., Kim T.-W., Ahn J.-H., 2012, Drought frequency analysis using cluster analysis and bivariate probability distribution, *Journal of Hydrology*, 420, 102-111, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.11.046
- Zelenhasic E., Salvai A., 1987, A method of streamflow drought analysis, *Water Resources Research*, 23 (1), 156-168, DOI: 10.1029/WR023i001p00156

SUMMARY

Drought risk management

Awareness of the danger of significant natural hazards, forces the need to introduce appropriate procedures allowing for effective and systematic actions aimed at eliminating or partially mitigating the effects of these events. Due to the nature of the drought and the process of its development resulting in commonly-used cause and effect relationship to the assessment of drought, the treatment of drought in terms of risk that is defined as a function of chance of hazard occurring and associated consequences is well established. Defining a drought in terms of risk allows, in a broader context, to minimize drought impacts while setting up prioritization of measures and instruments to reduce the size of losses. An active drought risk management policy is necessary to achieve the safety of water resources in the face of current climate threats as well as the expected climate changes.

The paper presents the original concept of strategic drought risk management as an integrated approach to the implementation of the drought management plan, which is based on the drought risk management system containing methodical, operational and adaptive solutions that support decision making under uncertainty. Risk management is crucial and necessary to effectively safeguard individual needs, safeguard and promote ecosystem services and maintain economic functions in a sustainable manner while reducing the consequences of droughts.

Risk management is a continuous process, consisting of logically arranged consecutive events, actions, decisions and agreements repeated cyclically in the course of monitoring the achieved results during implementation of the adaptation options to the observed and forecasted changes. The risk management system, presented in

the work, creates an organizational, methodical and functional framework, whose implementation in the form of structural and IT solutions may be a tool for effective operation of drought management plans for water regions and river basins.

The proposed approach, based on strategic drought management in pursuit of sustainable water supply for social and natural systems, ensures durability of services of freshwater ecosystems responsible for maintaining biodiversity, life processes and regeneration of the environment, as well as providing economic benefits for society.