

BARBARA KRĘGIEL, ELŻBIETA JAROSIŃSKA*

OBECNY STAN MONITORINGU ZJAWISKA SUSZY
W POLSCE I NA ŚWIECIECURRENT CONDITION OF DROUGHT MONITORING
IN POLAND AND ALL OVER THE WORLD

Streszczenie

Na bazie zebranych materiałów dokonano przeglądu obecnego stanu monitoringu zjawiska suszy w Polsce i na świecie. Stwierdzono, że monitoring zjawiska suszy stosowany jest przez wiele różnych ośrodków, wykorzystujących często do oceny jej intensywności te same wskaźniki i metody. Niestety, pomiędzy tymi ośrodkami brakuje wymiany informacji dotyczących wyników badań. Poczyszający jest jednak fakt, że stan monitoringu suszy w Polsce i na świecie poprawił się znacznie po silnej suszy z 2003 r. i wciąż wprowadzane są nowe metody, umożliwiające dokładną prognozę tego zjawiska.

Słowa kluczowe: susza, monitoring zjawiska suszy, wskaźniki suszy, zobrażenia satelitarne, modele matematyczne, Prawo Wodne, Ramowa Dyrektywa Wodna

Abstract

A survey has been carried out on the basis of the compiled materials. It concerned the current condition of drought monitoring in Poland and all over the world. It was stated that the drought monitoring was used by many different research centres which applied the same indicators and methods in order to estimate the drought intensity. Unfortunately, there is lack of information exchange concerning the research results between the centres. However, the condition of the drought monitoring in Poland as well as in the world has improved significantly after the intense drought of 2003 and still there are new methods being introduced, enabling more accurate phenomenon forecast.

Keywords: drought, drought monitoring, drought indicators, satellite images, mathematical models, Water Law, Water Framework Directive

* Mgr inż. Barbara Kręgiel, dr inż. Elżbieta Jarosińska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W ostatnich trzydziestu latach zjawisko suszy coraz częściej pojawia się na całym świecie, powodując ogromne straty zarówno socjalne, jak i ekonomiczne. Rolnicy żądają odszkodowań za poniesione w swoich gospodarstwach straty, uzasadniając je istniejącą suszą. Często żądania te są niemożliwe do spełnienia, ponieważ brakuje obecnie dokładnego sprecyzowania zależności wpływu suszy na poniesione przez rolników szkody. Ze względu na te fakty w wielu krajach zwrócono uwagę na potrzebę monitorowania zjawiska suszy. Na całym świecie wytypowano ośrodki, które podjęły się badań w tej dziedzinie, stosując różne metody. Konieczne stało się też zestawienie zarówno materiałów o ośrodkach monitorujących suszę, jak i stosowanych przez nie metod oraz danych dotyczących tego tematu.

Celem niniejszego artykułu jest pokazanie zakresu istniejącego monitoringu zjawiska suszy w Polsce i na świecie oraz próba rozpoznania stosowanych wskaźników oceny suszy. Takie ujęcie pozwoli na ogólną ocenę stanu monitoringu suszy.

2. Susza i jej monitoring

Susza jest naturalną, powtarzającą się cechą klimatu, mogącą pojawiać się we wszystkich strefach klimatycznych, jednak jej cechy i przebieg znacząco się różnią w zależności od regionu i lokalizacji na świecie [1]. Do niniejszego opracowania przyjęto definicję tego zjawiska opracowaną przez Kazimierza Dębskiego, który dzieli suszę na cztery etapy.

Pierwszym etapem suszy jest **susza atmosferyczna**, czyli niedostatek ilości opadów. Drugą fazą jest wysychanie gleby – **susza glebowa** i wiąże się ona z niedoborem wody dostępnej dla roślin (przez co zwana jest także suszą rolniczą), w skrajnym przypadku prowadzącym do ich wysychania. **Susza hydrologiczna** zaczyna się w momencie obniżenia się poziomów wód podziemnych. W miarę jej wydłużania następuje wysychanie źródeł i cieków wodnych – tzw. **susza rzeczna** [2].

Monitoring zjawiska suszy to przede wszystkim stały pomiar ilości opadów, temperatury, ewapotranspiracji, wilgotności gleby, stanu wód podziemnych oraz przepływu rzecznoego w badanym regionie oraz porównanie ich z wartościami wieloletnimi, dzięki czemu można wyliczyć wskaźniki monitoringu suszy. System monitoringu suszy pozwala przewidzieć straty spowodowane tym zjawiskiem, tj. wielkość niedoboru wody, usychanie roślin i zmniejszenie plonów. Monitoring zjawiska suszy pomaga zapobiegać tym stratom, mobilizując odpowiednie organy do przygotowania stosownych środków do ochrony przed skutkami suszy [3].

3. Monitoring suszy – najczęściej stosowane wskaźniki

Na całym świecie powstało wiele wskaźników służących do odpowiedniego określenia zjawiska suszy. Niektóre z nich opisują tylko dany rodzaj suszy (meteorologiczna, glebowa – rolnicza, hydrologiczna), inne są uniwersalne. Stosowane są w zależności od regionu i długości ciągu pomiarowego opadów. Poniżej przedstawiono opis niektórych stosowanych wskaźników zjawiska suszy:

- **Wskaźnik suszy rolniczej CDI (Crop Drought Index)** – podaje wielkość redukcji ewapotranspiracji rzeczywistej ET w warunkach niedoboru wody w glebie w stosunku do ewapotranspiracji potencjalnej ET_p w warunkach dostatecznego uwilgotnienia gleby. Oblicza się go dla dwóch roślin wskaźnikowych na dwóch rodzajach gleb różniących się zapasami wody użytecznej oraz dla czterech siedlisk trwałych o różnej intensywności zasilania wodą siedliska. Wartości wskaźnika CDI wyznaczone są na koniec każdego miesiąca z użyciem wartości SPI z równań regresji liniowej [4].
- **Wskaźnik wilgotności upraw CMI (Crop Moisture Index)** – jest pochodną wskaźnika Palmera, wyznaczaną dla krótkich okresów w regionach uprawnych. Bazuje na średniej temperaturze i wartości opadu atmosferycznego jak również zawartości wody dostępnej w glebie [5].
- **Wartość percentyli** – to takie wartości obserwacji, poniżej których występuje pewien procent obserwowanych opadów. Długoterminowo obserwowane i notowane wartości opadów atmosferycznych są sortowane w rankingu miesięcznym. Percentyl pięćdziesiąty jest medianą, czyli wartością środkową w ciągu rozdzielczym opadów rocznych z dłuższego okresu. Wyniki powyżej mediany oznaczają okresy wilgotne, poniżej – suche [6].
- **Klimatyczny bilans wodny KBW** – to różnica między opadem aktualnym a ewapotranspiracją wskaźnikową. Przekroczenie krytycznej wartości KBW oznacza przeciętny spadek plonów o 15% w danym roku w stosunku do wartości średnich wieloletnich w Polsce. Aktualna wartość tego bilansu obliczana jest dla okresu sześciodekadowego dla każdej gminy w Polsce [3]. Wartości progowe klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych roślin uprawnych i gleb, oznaczające wystąpienie suszy, przedstawiają się następująco (tab. 1):

Tabela 1

Wartości progowe klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych roślin uprawnych i gleb oznaczające wystąpienie suszy (źródło: [3])

Gatunek roślin uprawnych	OKRES																			
	kwiecień - maj				maj - czerwiec				czerwiec - lipiec				lipiec - sierpień				sierpień - wrzesień			
	KATEGORIA GLEBY																			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Zboża ozime	-150	-170	-210	-240	-180	-200	-250	-280	-230	-260	-300	-320	x	x	x	x	x	x	x	x
Zboża jare	-150	-160	-200	-220	-150	-170	-200	-230	-220	-250	-290	-310	x	x	x	x	x	x	x	x
Kukurydza na ziarno	-	x	x	x	-	-250	-290	-310	-	-250	-290	-320	-	-230	-290	-320	-	x	x	x
Kukurydza na kiszonkę	-	x	x	x	-	-220	-280	-300	-	-280	-340	-360	-	-200	-240	-260	-	x	x	x
Rzepak i rzepik	-	-230	-280	-290	-	-180	-240	-270	-	x	x	x	-	x	x	x	-	-170	-220	-250
Ziemniak	x	x	x	x	-240	-260	-300	-320	-220	-250	-280	-300	-160	-170	-200	-220	x	x	x	x
Burak cukrowy	-	-250	-290	-310	-	-250	-290	-310	-	-240	-270	-290	-	-210	-240	-260	-	-170	-190	-210
Chmiel	x	x	x	x	-230	-250	-290	-320	-210	-240	-270	-290	-190	-210	-250	-270	x	x	x	x
Tytoń	x	x	x	x	-190	-200	-230	-250	-200	-220	-240	-250	-200	-210	-240	-250	x	x	x	x
Warzywa gruntowe	x	x	x	x	-190	-210	-250	-270	-220	-240	-280	-310	-200	-220	-250	-270	x	x	x	x
Drzewa i krzewy owocowe	-130	-180	-230	-240	-160	-240	-290	-300	-220	-250	-290	-320	-220	-240	-290	-320	x	x	x	x
Truskawki	-150	-160	-200	-220	-190	-200	-240	-270	-210	-240	-270	-300	x	x	x	x	x	x	x	x
Rośliny strączkowe	x	x	x	x	-170	-190	-240	-270	-210	-240	-270	-300	-130	-170	-210	-220	x	x	x	x
Łąki i pastwiska	-230				-230				-250				-210				x			

(-) na oznaczonej kategorii gleby uprawa nie jest wskazana
(x) brak spadków plonów z powodu suszy w analizowanym okresie

- **Wskaźnik surowości suszy wg Palmera PDSI** (*Palmer Drought Severity Index*) – jest algorytmem wilgotności gleby, kalibrowanym dla stosunkowo jednorodnych regionów. Uwzględnia opad, temperaturę i wilgotność gleby. Służy do oceny suszy meteorologicznej i rolniczej. Wartości wskaźnika mogą być dodatnie, wówczas oznaczają one warunki wilgotne bądź ujemne – oznaczające suszę [5].
- **Wskaźnik opadu względnego RPI** (*Relative Precipitation Index*) – jest to wskaźnik stosowany w analizach meteorologicznych do oceny nadmiaru bądź niedoboru opadu. W celu jego wyliczenia dzieli się występujący aktualnie opad przez wartość średnią opadu z wielolecia, a następnie przelicza na procenty, mnożąc przez 100%. W zależności od otrzymanego wyniku klasyfikuje się nasilenie suszy meteorologicznej w okresach miesięcznych, kwartalnych lub rocznych (tab. 2) [7].

Tabela 2

Nasilenie suszy wg wskaźnika RPI (źródło: [7])

Rodzaj okresu	RPI [%] w	
	miesiącu	kwartale, roku
Skrajnie suchy	0 do 24,9	0 do 49,9
Bardzo suchy	25,0 do 49,9	50,0 do 74,9
Suchy	50,0 do 74,9	75,0 do 89,9
Przeciętny	75,0 do 125,9	90,0 do 110,9

- **Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI** (*Standardized Precipitation Index*) – bazuje na prawdopodobieństwie wystąpienia opadu, nie uwzględniając innych czynników meteorologicznych. Może być wyliczany dla różnej skali czasowej (od 1 do 36 miesięcy). Wyliczenie SPI polega na dopasowaniu rozkładu prawdopodobieństwa do długoterminowych wartości opadów atmosferycznych, a następnie przekształceniu do rozkładu normalnego [5]. Dzięki standaryzacji wskaźnika istnieje możliwość porównania suszy w różnych regionach. Wskaźnik SPI może służyć do monitorowania zarówno klimatu suchego, jak i wilgotnego. Umożliwia wstępną identyfikację poszczególnych rodzajów suszy. Zakres wartości wskaźnika oraz odpowiadające tym wartościom warunki klimatu umieszczone są w poniższej tabeli (tab. 3).

Tabela 3

Wartości wskaźnika SPI i przypisywane im panujące warunki (źródło: [5])

Wartości SPI	
2,0+	ekstremalnie mokro
1,5 do 1,99	bardzo mokro
1,0 do 1,49	umiarkowanie mokro
-0,99 do 0,99	blisko normy
-1,0 do -1,49	umiarkowanie sucho
-1,5 do -1,99	dotkliwie sucho
-2 i mniej	ekstremalnie sucho

- **Wskaźnik zapasu wody powierzchniowej SWSI** (*Surface Water Supply Index*) – uzupełnia ocenę zjawiska suszy dla terenów górskich, na obszarze których głównym źród-

łem zasobów wodnych są opady śniegu. Uwzględnia on zarówno hydrologiczne, jak i klimatologiczne cechy zlewni. Dzięki standaryzacji wskaźnika istnieje również możliwość porównania jego wartości wynikowych pomiędzy wybranymi zlewniami. Do obliczenia SWSI korzysta się z danych miesięcznych grubości pokrywy śnieżnej, przepływu, opadów deszczu. Wszystkie składniki podlegają normalizacji z wykorzystaniem danych z wielolecia. Wartość normalna SWSI wynosi zero, a zakres zmienności – od minus 4,2 do plus 4,2 [5].

- **Wilgotność gleby** – mierzona jest najczęściej za pomocą modeli hydrologicznych. Do jej pomiaru wykorzystuje się również obrazy satelitarne. Pozwala ocenić suszę glebową (rolniczą) [8].

4. Monitoring suszy w Polsce

Oficjalny monitoring zjawiska suszy w Polsce rozwinął się wyjątkowo późno, dopiero po 2000 r. (w zależności od ośrodka). W 2007 r. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach na wniosek Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi opracował i uruchomił system monitoringu suszy rolniczej. Stworzony system monitoringu suszy składa się z bazy danych pogodowych (opady, temperatury, wilgotność), bazy danych glebowych, modeli prognostycznych strat plonów w wyniku suszy, aplikacji GIS do przetwarzania i integracji danych przestrzennych oraz internetowego systemu prezentacji wyników. Dla każdego gatunku roślin opracowano tzw. KBW, czyli **klimatyczny bilans wodny**. Wartości krytyczne wskaźnika umieszczono w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 maja 2007 r. (Dz. U. Nr 90, poz. 601), dzięki czemu w łatwy sposób można je porównać z otrzymywanymi wynikami KBW. Zestawienia te zawierają dane sześciodekadowe w okresie 1 kwietnia–30 września (okres wegetacji roślin uprawnych) z lat 2006, 2007 i 2008. Obszary o wartościach niższych od przyjętych uznaje się za potencjalnie zagrożone suszą rolniczą. W 2008 r. w systemie monitoringu zjawiska suszy IUNG wykorzystywane były dane z 55 stacji synoptycznych oraz około 220 posterunków opadowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Od 2008 r. zaczęto wdrażać system monitoringu **wilgotności gleby**, który będzie wspierał monitoring suszy rolniczej oraz weryfikował prognozowane straty w plonach. System ten składa się z sieci punktów pomiarowych, rozmieszczonych na różnych typach i gatunkach gleb w całym kraju, oraz sieci automatycznych stacji meteorologicznych. Stan uwilgotnienia w stworzonej sieci monitoringu mierzony jest na sześciu poziomach profilu glebowego: 10, 20, 30, 40, 60, 100 cm, i wykonywany jest w trzech powtórzeniach. Ostatecznym wynikiem jest średnia arytmetyczna z otrzymanych wartości. Pomiaru odbywają się cyklicznie dwa razy w tygodniu, a wilgotność porównywana jest ze stanem odpowiadającym punktowi trwałego wędnięcia roślin [3].

W Polsce za prognozowanie i monitoring zjawiska suszy odpowiedzialne są państwowa służba hydrologiczno-meteorologiczna (PSHM) oraz państwowa służba hydrogeologiczna (PSH), podlegające odpowiednio pod Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Państwowy Instytut Geologiczny (od 2003 roku). Państwowy Instytut Geologiczny zajmuje się monitoringiem zjawiska suszy, analizując **stan wód podziemnych**. W przypadku pojawienia się zagrożenia niedoboru wody pitnej z wód podziemnych natychmiast informowane są o tym odpowiednie służby i społeczeństwo [9]. Państwowy Instytut Geolo-

giczny od ponad 30 lat prowadzi krajowy monitoring wód podziemnych w 748 punktach na terenie całego kraju. PIG jest wiodącym ośrodkiem w kraju w zakresie liczby wykonywanych badań hydrologicznych z zastosowaniem GIS. Instytut stworzył także bazę danych hydrologicznych zawierających informacje o wodach podziemnych z ponad 12 000 wierceń na terenie kraju. PIG jest jedynym ośrodkiem w Polsce, który prowadzi badania hydrogeologiczne wdrażane jako standardy w kraju. Przygotowuje on prognozy i komunikaty o stanie wód podziemnych dla Ministerstwa Środowiska. Wydaje także ostrzeżenia w przypadku wystąpienia sytuacji ekstremalnych, np. zjawiska suszy [10].

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej zajmuje się stałymi **pomiarami meteorologicznymi i hydrologicznymi**. Badaniami i analizami zjawiska suszy IMGW zajmuje się systematycznie od lat 90., zwracając uwagę przede wszystkim na suszę hydrologiczną [11]. Zarówno IMGW, jak i Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej (Kraków i Gliwice) wydają opracowania dotyczące przyczyn, natężenia i zasięgu minionej suszy. Na podstawie ustawy Prawo Wodne dyrektorzy Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej zostali zobowiązani do nadzorowania działań związanych z ochroną przed suszą w regionie wodnym. RZGW w Krakowie we współpracy z Ośrodkiem Koordynacyjno-Informacyjnym Ochrony Przeciwpowodziowej w ramach monitoringu zjawiska suszy przedstawia w formie graficznej obszary najbardziej narażone na deficyt opadów i wystąpienie suszy w zlewni Górnej Wisły oraz mapki przedstawiające **wskaźnik zagrożenia suszą gruntową**, obliczany wyłącznie dla poziomu wodonośnego o zwierciadle swobodnym [12].

Kolejnym regionalnym ośrodkiem, który zajmuje się monitoringiem zjawiska suszy na swoim terenie jest Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy. Od 2000 r. ośrodek ten zajmuje się monitoringiem suszy meteorologicznej i rolniczej na Kujawach. Instytut posługuje się między innymi stosowaną na całym świecie **metodą wskaźnika SPI**. Wartości tego wskaźnika w okresie wegetacyjnym obliczane są na podstawie obserwowanych sum opadów. Drugim wskaźnikiem stosowanym przez IMUZ jest **standaryzowany wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego KBW_s** [13]. Wskaźnik KBW_s bardzo pomaga przy ocenie suszy, umożliwiając dokładniejsze określenie nasilenia tego zjawiska, gdyż uwzględnia on zarówno wielkość opadu, jak i meteorologiczne warunki parowania [14]. Przyjęto czterostopniową skalę wskaźników SPI i KBW_s, określającą nasilenie badanego zjawiska suszy (tab. 4).

Tabela 4

Monitoring suszy w Europie

Wartości SPI i KBW _s	
powyżej -0,99	blisko normy
-1,0 do -1,49	umiarkowanie sucho
-1,5 do -1,99	dotkliwie sucho
-2 i mniej	ekstremalnie sucho

Instytut stosuje także **wskaźniki RPI i CDI**. Tworzone zestawienie tabelaryczne wskaźników RPI, SPI, KBW_s pozwala ocenić nasilenie zjawiska suszy. Wartości wskaźnika CDI wyznaczone są na koniec każdego miesiąca z użyciem wartości SPI, z równań regresji liniowej przy współczynniku korelacji $r = 0,7$. Równania regresji wyznaczone na podstawie wcześniejszych badań, stosując model CROPBALANCE, biorąc pod uwagę dane z lat 1970–2004 [4].

Jak podaje Łabędzki [7], w IMUZ przy monitorowaniu suszy glebowej i rolniczej stosowane są modele matematyczne. Można wyróżnić dwie grupy takich modeli. Pierwsze z nich to modele bilansowe, bazujące na podstawowych łatwo dostępnych parametrach – należą do nich: CROPWAT, ISAREG, RELREG i IRSIS. Druga grupa modeli to modele dokładniej opisujące ruchy wody w systemie gleba–roślina–atmosfera. Są to złożone modele symulacyjne, do których potrzebna jest duża liczba danych wejściowych. Do tej grupy należy SWATRE, SWACROP, OIRP. Model OIRP ma charakter uniwersalny i może być wykorzystywany w wielu ośrodkach w Polsce, jeśli posiadają one wystarczające dane eksperymentalne.

5. Monitoring suszy w Europie

Dla południowo-wschodniej Europy istnieje osobne Centrum Zarządzania Suszą (DMCSEE – *Drought Management Centre for Southeastern Europe*) obejmujące następujące regiony: Albania, Bośnia i Hercegowina, Chorwacja, Czarnogóra, była republika jugosłowiańska – Macedonia, Bułgaria, Kreta, Grecja, Węgry, Mołdawia, Rumunia, Słowenia, Turcja, Serbia. Mapy przedstawiające monitoring suszy dla tego obszaru są uaktualniane przez DMCSEE dwa razy w miesiącu. Centrum Zarządzania Suszą udostępnia zarówno mapy z miesięcy poprzednich, jak i prognozowane na najbliższy okres. Stosuje się tu **wskaźnik SPI**, bazujący na wartościach opadów atmosferycznych z lat 1961–2000.

Drugim sposobem oceny suszy przez Centrum Zarządzania Suszą dla południowo-wschodniej Europy jest stosowanie metody **percentyli**. Do stworzenia map wynikowych używane są miesięczne dane opadów atmosferycznych z GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre* – Centrum Klimatyczne) [6].

W Europie funkcjonuje także Europejskie Centrum Suszy (EDC – *European Drought Centre*) będące wirtualnym centrum wiedzy, którego zamierzeniem jest koordynacja działań podczas suszy w celu lepszego minimalizowania jej skutków ekonomicznych, społecznych i środowiskowych. Europejskie Centrum Suszy zbiera informacje dotyczące zjawiska suszy zarówno w Europie, jak i na świecie. Jeden z udostępnionych przez EDC materiałów dotyczy obserwacji i badań zjawiska suszy w Holandii w 2007 r. Mimo prowadzenia pomiarów temperatury i badań zarówno **wysokości opadów**, jak i pozostałych czynników zapowiadających suszę (ciśnienie ssące gleby, poziom wód gruntowych itp.), odpowiednia prognoza tej suszy nie została stworzona przed nadejściem kulminacji, a dopiero w trakcie trwania tego zjawiska. Świadczy to o problemie Holandii z monitoringiem suszy [15].

Innym przykładem monitoringu zjawiska suszy jest monitoring w Kornwalii. Stworzono tam pięć ośrodków i podlegających im obszarów strategii zarządzania zlewniowego (CAMS – *Catchment Abstraction Management Strategy*). Pierwszy obejmuje Seaton, Looe, Fowey, drugi północną Kornwalię, kolejny – ciek wodny Fal i St. Austell, czwarty rzekę Tamar, a ostatni – zachodnią część Kornwalii. Monitoring zjawiska suszy polega na zestawieniu dostarczonych przez punkty sieci pomiarowej danych, pokazujących aktualny stan zasobów wodnych i stopień nasilenia występującej suszy. Zbiory danych zawierają: wartość przepływu w ciekach, wysokość opadów atmosferycznych, jakość wody, aspekty ekologiczne (w tym m.in. zmiany populacji ryb). Monitoring zjawiska suszy jest dzielony na trzy części. Pierwsza z nich to **monitoring hydrometryczny**. Cotygodniowe raporty

zawierają informacje o aktualnym zapotrzebowaniu na wodę, dostępnych zasobach zbiorników wodnych, wartościach opadów atmosferycznych i wielkości przepływu w rzekach. Drugą część to **monitoring ekologiczny**. Informacje są zbierane z miejsc, w których susza może bezpośrednio wpłynąć na zasoby wodne dostępne dla ludzi oraz na populację ryb. Ostatnim elementem monitoringu zjawiska suszy w Kornwalii jest **jakość wody**. W tym celu stworzono sieć punktów pomiarowych, z których pobierane są próbki wody. Po przebadaniu są one porównywane z długoterminowymi wartościami pomiarów jakościowych wód powierzchniowych [16].

W Europie funkcjonuje również Globalny Monitoring Środowiska i Bezpieczeństwa (GMES – *Global Monitoring for Environment and Security*) [8] powołany oficjalnie w 2002 r. przez Komisję Europejską oraz Europejską Agencję Kosmiczną (ESA), działający również w Polsce. System monitoringu stosowany przez GMES opiera się głównie na zdjęciach satelitarnych wykonanych za pomocą radiometru AVHRR z satelitów NOAA. Dzięki zbieranym i przetwarzanym przez GMES informacjom o **wilgotności gleby, ewapotranspiracji i wskaźniku powierzchni liścia LAI** monitorowane są obszary występowania suszy w Polsce i w Europie. System ten stosuje wskaźnik wilgotności gleby polegający na wyliczeniu stosunku ciepła jawnego do utajonego. Strumień ciepła jawnego i utajonego został obliczony dla każdej zarejestrowanej przez AVHRR jednostki obrazu satelitarnego. Wysoki wskaźnik wilgotności odpowiada warunkom niedoboru wilgoci. Informacje zbierane przez GMES są bardzo przydatne zarówno do prognozowania ilości plonów, jak również systematycznego określania strat w bilansie wodnym.

Dodatkowo śledzeniem monitoringu suszy zajmuje się organizacja EurAqua. W grudniu 2004 r. został przez nią wydany anglojęzyczny dokument dyskusyjny dotyczący europejskiej polityki stosowanej podczas suszy [17]. Dokument traktuje zjawisko suszy jako ważną i realną klęskę żywiołową grożącą Europie. Pokazuje, że zjawisko suszy wpływa na ogromne obszary i może trwać przez długi czas, powodując w rezultacie straty ekonomiczne i socjalne. EurAqua podkreśla główne braki w polityce europejskiej dotyczącej traktowania suszy, namawiając do stworzenia Europejskiej Polityki Suszy. Dokument wymienia zarówno obszary w Europie opóźnione w monitoringu tego zjawiska, jak i te, które dokonały pewnego postępu w tej dziedzinie.

6. Monitoring suszy na innych kontynentach

Monitoring zjawiska suszy, na którym opiera się większość systemów monitoringu stosowanych na świecie, powstał w Stanach Zjednoczonych w 1999 r. Do oceny suszy w Monitoringu Zjawiska Suszy Stanów Zjednoczonych wykorzystuje się wskaźniki, takie jak: SPI, PDSI, CMI, SWSI, RPI oraz **decyle**. Prócz wymienionych wskaźników funkcjonuje również **system raportowania wpływu suszy** (DIR – *Drought Impact Reporter*) służący do zbierania informacji i liczenia skutków suszy (np. liczba pożarów, ofiar) oraz tworzenia raportów w postaci map wpływu suszy na Stany Zjednoczone. Przykładowa mapa przedstawiająca wpływ suszy umożliwi wybór źródeł (m.in. rolnictwo, pożary, woda, środowisko) i przedział czasowy. Dzięki takiej mapie możliwy jest przegląd wpływu suszy na teren USA z podziałem na stany. Jeszcze jednym wskaźnikiem stworzonym do oceny suszy przez system monitoringu suszy USA jest VegDRI. Jest to wskaźnik reakcji roślinności na suszę (*Vegetation Drought Response Index*) stworzony dla siedmiu centralnych stanów USA. Jest on kombinacją obrazów satelitarnych danych wegetacyjnych

z klimatycznymi i geofizycznymi. Planowane jest rozwinięcie VegDRI na sąsiadujące stany i dopasowanie go do oszacowania i zarządzania ryzykiem klęski żywieniowej spowodowanej suszą [18].

Biorąc pod uwagę całą Amerykę Północną, jednym z największych centrów zajmujących się monitoringiem zjawiska suszy jest Państwowa Administracja Oceanów i Atmosfery (NOAA) [19]. Narzędziami służącymi do prognozy i monitoringu zjawiska suszy w amerykańskim systemie są **zobrazowania satelitarne** oraz pomiary takich czynników jak: wilgotność gleby, ewaporacja, odpływ, opady atmosferyczne i temperatura. Za pomocą tych pomiarów obliczane są wskaźniki: **wilgotności pól (CMI)**, **surowości suszy wg Palmera (PDSI)**, **standaryzowanego opadu (SPI)**, **wilgotność gleby**. Wartości katalogowane są w formie baz metadanych.

W Afryce eksperymentalnym projektem monitoringu zjawiska suszy zajmuje się aktualnie Grupa z zakresu Hydrologii Wód Powierzchniowych (*Land Surface Hydrology Group*) na Uniwersytecie w Princeton. Monitoring zjawiska suszy w Afryce i innych mniej rozwiniętych regionach jest trudny z powodu rzadkich obserwacji potrzebnych wartości. Aby je otrzymać, badacze z Princeton bazują na wielkoskalowym modelu hydrologicznym. Celem monitoringu jest stworzenie programów symulacyjnych przewidujących straty pól, jak również oszacowanie zasięgu i rozwoju nadchodzącej suszy, a w przyszłości kontrola momentu, w którym rozpoczyna się susza i śledzenie jej przebiegu od początku do końca. Głównym osiągnięciem Princeton jest stworzenie modelu zmiennej zdolności infiltracyjnej VIC, który umożliwi symulacje stanu hydrologicznego w Afryce, opierając się na monitoringu stosowanym na świecie (głównie w USA) oraz sezonowych prognozach pogody. Aby oszacować wymiar suszy, stosowane są długoterminowe symulacje (1951–2000) hydrologii ziemi za pomocą modelu VIC. W 2007 r. wprowadzono Globalny Projekt Klimatyczny Opadów Atmosferycznych (GPCP – *Global Precipitation Climatology Project*) obejmujący miesięczne zbiory danych pomiarowych. Przeprowadzane badania i analizy zostały dokładnie opisane przez Justina Sheffielda w 2006 r. [20].

Monitoringiem zjawiska suszy na terenie Chin zajmuje się Pekińskie Centrum Klimatyczne (BCC). Stosowany przez nich od 1995 r. wskaźnik to **SPI** o podstawie czasowej dziesięciu dni. Wyniki monitoringu zjawiska suszy są publikowane w biuletynie wydawanym przez BCC. Rozwój systemu monitoringu suszy w Chinach doprowadził do wprowadzenia kolejnego wskaźnika, zwanego wskaźnikiem ogólnym **CI**. Jest on funkcją 30- i 90-dniowego wskaźnika SPI oraz ewapotranspiracji. Bazując na nim oraz na monitoringu wilgotności gleby, prowadzonym przez rolniczą meteorologiczną sieć pomiarową, i zdalnie sterowanym monitoringiem suszy Chińskiej Administracji Meteorologicznej, wyznaczane są codzienne mapy monitoringu zjawiska suszy, publikowane przez BCC od lutego 2003 r. [21]. Drugim z systemów monitoringu zjawiska suszy na terenie Chin jest **projekt monitoringu „Dragon”**, który przeprowadzony został w latach 2005–2007. Jego celem było opracowanie systemu operacyjnego, służącego do monitorowania zjawiska suszy i oceny jej wpływu na rolnictwo i hydrologię w Chinach. Jako główne źródło informacji wykorzystano dane satelitarne pochodzące z ESA. Projekt umożliwił zebranie informacji naukowych, przedstawienie map prognostycznych i ocenę strat gospodarczych [22].

Monitoring zjawiska suszy prowadzony jest także w Australii. Przez wiele lat ograniczał się on do monitoringu okresów z brakiem opadów. Aktualnie pomiarami zajmuje się od 1965 r. Australijskie Biuro Obserwacji Suszy Meteorologicznej (*The Australia Bureau*

of *Meteorology's Drought Watch Service*). Wykorzystuje ono dane ciągów opadowych z kolejnych miesięcy, aby zidentyfikować regiony niedoborów i nadwyżek opadów atmosferycznych. Jako wyznacznik stosuje się obecnie **metodę percentyli**. Miejsca osiągające poniżej 10 percentyli w ciągu trzech miesięcy oznacza się jako suche. Po stratach spowodowanych suszą trwającą od 2002 do 2003 r. postanowiono utworzyć Krajowy System Monitoringu Rolnictwa NAMS, który powstał w 2005 r. NAMS udostępnia mapy, wykresy i raporty dotyczące aktualnego stanu klimatycznego całej Australii oraz dane historyczne i prognostyczne. System opiera się na wspólnej bazie danych dla całego kraju, co ułatwia prognozę przebiegu suszy i ocenę jej skutków [21].

Badania suszy na skalę światową prowadzone są przez UCL (*University College London*). Uczelnia ta stworzyła Globalny Monitoring Zjawiska Suszy (*Global Drought Monitor*), będący ogólnodostępną internetową aplikacją monitorującą nasilenie trwającego na świecie zjawiska suszy. Globalny Monitoring Zjawiska Suszy uaktualniany jest co miesiąc i ukazuje przestrzenny rozkład wystąpienia suszy z dokładnością do 100 km. Monitoring prowadzony przez uniwersytet w Londynie opiera się na ocenie suszy hydrologicznej za pomocą dwóch wskaźników – standaryzowanego opadu SPI i surowości suszy wg Palmera PDSI. UCL udostępnia informacje na temat tego, w których miejscach na świecie występuje w wybranym okresie zjawisko suszy o określonym nasileniu. Informuje także, ile osób znajduje się na terenie, na którym występuje stan suszy [23].

7. Monitoring suszy w Polsce i Europie a dokumenty prawne

Wydana przez Parlament Europejski i Radę Unii Europejskiej 23 października 2000 roku Ramowa Dyrektywa Wodna [24] traktuje o ochronie śródlądowych wód powierzchniowych, wód przejściowych, wód przybrzeżnych i podziemnych oraz odpowiednim gospodarowaniu ich zasobami. Mając na uwadze ciągły wzrost zapotrzebowania na wodę oraz fakt, że woda jest dziedzicznym dobrem, a nie produktem handlowym, przyjęto stosowne postanowienia dotyczące wspólnej polityki wodnej w Europie. Zaznaczono, iż państwa członkowskie UE powinny monitorować zmiany stanu wód w sposób systematyczny i porównywalny, określając wspólne normy. Ramowa Dyrektywa Wodna wyznacza zadania, które mają zostać wykonane przez państwa członkowskie w określonym terminie. Wykonanie tych zadań pozwoli na poprawienie jakości i ilości zasobów wodnych, zmniejszając tym samym między innymi skutki suszy.

Prawo Wodne, ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku, zgodne jest z Ramową Dyrektywą Wodną. W dziale piątym tego dokumentu [25] zostały podane artykuły związane z ochroną przed powodzią i suszą na terenie Polski. Ochronę przed tymi klęskami należy prowadzić według planów ochrony przeciwpowodziowej oraz przeciwdziałania skutkom suszy na terenie państwa (art. 79). Ochrona przed powodzią oraz suszą stanowi zadanie organów administracji rządowej i samorządowej (art. 81). W ustawie wyraźnie pominięto temat suszy, a większość artykułów dotyczy powodzi i działań, które należy podjąć podczas zbliżania się fali powodziowej.

W sierpniu 2007 roku w Brukseli został wydany przez Komisję Wspólnot Europejskich dokument [26] dotyczący problemu niedoboru wody i suszy w Unii Europejskiej. Komisja podkreśliła w nim wyraźnie, iż aby znaleźć rozwiązanie problemu niedoboru wody i suszy, należy przede wszystkim podejmować działania wspierające oszczędne i efektywne gospo-

darowanie wodą i energią. Sprawozdanie z oceny postępów w realizacji wymienionych celów zostało przedstawione podczas forum 5 września 2008 r. [27]. Raport przedstawia niektóre inicjatywy polityczne podejmowane na poziomie europejskim i krajowym, które przyczyniły się do postępów w badanym temacie. Jak zostało zapowiedziane w komunikacie Komisji Europejskiej z 2007 r., poczynając od 2009 r., Komisja będzie przedstawiać coroczną ogólnoeuropejską ocenę zakresu i skutków niedoboru wody i suszy, co umożliwi regularne monitorowanie rozwoju tego zjawiska na terenie Europy.

8. Podsumowanie i wnioski

W ramach niniejszego opracowania przedstawiono rodzaje monitoringu zjawiska suszy w Polsce i na świecie. W tym celu posłużono się materiałami krajowymi i zagranicznymi. Opisując każdy z ośrodków monitorujących suszę na danym obszarze, dokonano przeglądu stosowanych przez nie środków i metod oraz dostępności danych pośrednich i wynikowych dla społeczeństwa. Zwrócono również uwagę na to, czy wykonywane przez te ośrodki badania umożliwiają stworzenie prognoz dotyczących nasilenia i zasięgu kolejnych susz.

Porównując liczbę materiałów dotyczących zjawiska suszy z materiałami opisującymi zjawisko powodzi, tych pierwszych jest znacznie mniej, chociaż klęska suszy powoduje podobne, a często nawet większe straty. Konieczne jest zatem stworzenie dokładnych źródeł informacji pozwalających na zapoznanie się ze zjawiskiem suszy oraz jego monitoringiem.

Problem stanowi również fakt, iż mimo korzystania z tych samych narzędzi (satelity, radary, często te same wskaźniki), nie stworzono (zarówno w Polsce, jak i na świecie) jednolitej bazy danych i wyników pomiarów, gdyż ośrodki zajmujące się monitoringiem suszy nie współpracują ze sobą. Następstwem takiej sytuacji są duże utrudnienia w tworzeniu prognoz, podejmowaniu działań i szacowaniu strat. Należy zatem dążyć do standaryzacji i ujednoczenia danych. Warto jednak zaznaczyć, że monitoring zjawiska suszy poprawił się znacznie po dotkliwej suszy w 2003 r., która była lekcją dla całego świata. Większość znalezionych informacji, przede wszystkim dotyczących działań w Polsce i Europie, dotyczy okresu po tej klęsce żywiołowej. Niestety brakuje danych prognostycznych. W Polsce większość ośrodków udostępnia dane z poprzednich lat bądź miesięcy.

Obecnie konieczne jest rozszerzenie programów monitoringu zjawiska suszy o prognozy pozwalające przewidzieć jej przebieg i ułatwiające decyzje o podjęciu działań zapobiegawczych. Również dokumenty prawne wymagają w tej dziedzinie aktualizacji, gdyż aktualnie nie zawierają one wystarczającej ilości informacji dotyczących postępowania w przypadku pojawienia się zjawiska suszy.

Literatura

- [1] *Analiza występowania zjawiska suszy na obszarze działania Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach*, GIG Zakład Ochrony Wód, 2009.
- [2] Osuch B., Ratomska B., Partyka A., *Ogólne zasady określania i oceny suszy*, [w:] *Działania operacyjne w zakresie oceny suszy i przeciwdziałania jej ujemnym*

- skutkom, Etap I, *Zarys wytycznych do sporządzania planów przeciwdziałania skutkom suszy*, Politechnika Krakowska, Kraków 1993.
- [3] *Monitoring suszy rolniczej w Polsce* [on-line], IUNG, Puławy, <http://www.susza.iung.pulawy.pl/index.html?str=opis&lang=pl> (dostęp 22.04.2009).
- [4] *Monitoring suszy meteorologicznej w rejonie Bydgoszczy. Intensywność suszy meteorologicznej 2008 r.* [on-line], Bydgoszcz, IMUZ, 2008, http://www.imuz.edu.pl/wpob/monitoring_s.htm (dostęp 29.04.2009).
- [5] Hayes M.J., *What is drought? Drought Indices* [on-line], National Drought Mitigation Center, <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm> (dostęp 22.04.2009).
- [6] *Drought monitor* [on-line], Drought Management Centre for Southeastern Europe, http://www.dmcsee.org/en/drought_monitor/ (dostęp 22.04.2009).
- [7] Łabędzki L., *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*, Falenty, IMUZ, Raszyn 2006.
- [8] Dąbrowska-Zielińska K., Kowalik W., Gruszczyńska M., Hościło A., *Globalny Monitoring Środowiska i Bezpieczeństwa (GMES). Integrowanie danych obserwacji Ziemi dla obszaru Polski* [on-line], Warszawa-Białobrzegi, 2004, <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/bialobrzegi/Bialobrzegi2004/50dabrowska.doc> (dostęp 22.04.2009).
- [9] Skrzypczyk L., Kazimierski B., *Komunikat o stanie wód podziemnych (według danych na dzień 30.06.2006 r.)* [on-line], Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2006, http://www.pgi.gov.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=1186&Itemid=444 (dostęp 22.04.2009).
- [10] Skrzypczyk L., *Rola i zadania państwowej służby hydrogeologicznej w nowej strukturze gospodarki wodnej* [on-line], Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, <http://www.psh.gpv.pl/linkredirect.html?id=691&num=1> (dostęp 22.04.2009).
- [11] *Badania i programy własne* [on-line], IMGW, Warszawa, http://www.imgw.pl/wl/internet/zz/oddzialy/poznan/dzialalnosc/_badwlasne/susza.html (dostęp 22.04.2009).
- [12] *Analiza suszy* [on-line], Ośrodek Koordynacyjno-Informacyjny Ochrony Przeciwpowodziowej, Kraków, <http://oki.krakow.rzgw.gov.pl/Board.aspx?tid=tabSusza> (dostęp 29.04.2009).
- [13] Bąk B., Łabędzki L., *Monitoring suszy meteorologicznej i rolniczej na Kujawach oraz jego prezentacja w Internecie*, [w:] *Środowisko w obliczu spodziewanych zmian klimatu – streszczenia referatów i doniesień konferencyjnych* [on-line], XXXIII Ogólnopolski Zjazd Agrometeorologów i Klimatologów, Olsztyn 2008, <http://www.niezapominajki.pl/Obrazki/STRESZCZENIA.pdf> (dostęp 29.04.2009).
- [14] Kaniecka-Geszke E., Smarzyńska K., *Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników*, ACTA Scientiarum Polonorum nr 6 (2), 2007.
- [15] Van Lanen H.A.J., *The Netherlands in a drought again* [on-line], Wageningen University, Wageningen 2007, http://www.geo.uio.no/edc/downloads/the_early_2007_drought_in_the_netherlands_2may2007.pdf (dostęp 22.04.2009).
- [16] *Draft drought plan for South West Region Cornwall Area* [on-line], Environment Agency, http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GESW0606BKZJ-e-e.pdf?lang=_e (dostęp 29.04.2009).
- [17] *Discussion Document. Towards a European Drought Policy* [on-line], EurAqua, 2004, http://www.geo.uio.no/edc/downloads/discussion_document.pdf (dostęp 22.04.2009).

- [18] *Products of the National Drought Mitigation Center* [on-line], National Drought Mitigation Center, 2006, <http://www.drought.unl.edu/pubs/products.pdf> (dostęp 22.04.2009).
- [19] *NOAA support for IPCC: people, expertise, technology* [on-line], NOAA, <http://www.noaa.gov/stories2007/s2787.htm> (dostęp 22.04.2009).
- [20] Sheffield J., *Experimental African Drought Monitor* [on-line], Uniwersytet Princeton, Princeton, http://hydrology.princeton.edu/~justin/research/project_global_monitor/index.html (dostęp 22.04.2009).
- [21] *Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges* [on-line], World Meteorological Organization, 2006, <http://www.wamis.org/agm/pubs/brochures/wmo1006es.pdf> (dostęp 22.04.2009).
- [22] Su Z., *Dragon Drought Monitoring* [on-line], ITC, 2006, http://www.itc.nl/research/policy/spearhead5/watercycle/dragon_drought.asp (dostęp 22.04.2009).
- [23] Lloyd-Hughes B., Saunders M., *Global Drought Monitor* [on-line], UCL, 2007, <http://drought.mssl.ucl.ac.uk/> (dostęp 22.04.2009).
- [24] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [on-line], z dnia 23 października 2000, http://www.rcie.lodz.pl/dokumenty/pdf/ramowa_dyrektywa_wodna1.pdf (dostęp 22.04.2009).
- [25] *Prawo Wodne*, dział V, Dziennik Ustaw, poz. 1229, ustawa z dnia 18 lipca, Warszawa 2001.
- [26] *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady. Rozwiązanie problemu dotyczącego niedoboru wody i susz w Unii Europejskiej*, [on-line], Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela 2007, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0414:FIN:PL:PDF> (dostęp 29.04.2009).
- [27] *Sprawozdanie Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego. Sprawozdanie uzupełniające komunikat w sprawie rozwiązania problemu dotyczącego niedoboru wody i susz w Unii Europejskiej* [on-line], Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela 2008, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0875:FIN:PL:DOC> (dostęp 29.04.2009).