

## OPINIE I KOMENTARZE

doi: 10.26114/pja.iung.424.2020.41.05

## Gospodarowanie wodą w rolnictwie w zmieniającym się klimacie Perspektywa przejścia na rolnictwo nawadniane a sprawiedliwe i zrównoważone korzystanie z wód w świetle rozwiązań hiszpańskich i postępu w informatyce

*Rafał Wawer*

Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów,  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

**Streszczenie**

Artykuł stanowi przyczynek do dyskusji nad konieczną reformą systemową w dziedzinie gospodarki wodnej na obszarach wiejskich. Symulacje scenariuszy zmian klimatu w zakresie kształtowania się bilansu hydrologicznego wskazują na duże ryzyko częstych okresów deficytów opadów w przyszłości. Deficyty te mogą być na tyle duże, że polskie rolnictwo będzie zmuszone do przechodzenia na rolnictwo nawadniane. Należy się liczyć z gwałtownym wzrostem poboru wody na cele rolnicze, na co obecny system przydzielania pozwoleń wodnoprawnych nie jest przygotowany. Niezbędna jest reforma obejmująca planowanie przestrzenne, opodatkowanie gruntów, organizację utrzymania sieci melioracyjnych, retencjonowanie wody w krajobrazie i w glebie, optymalizację praktyk nawodnieniowych, ponowne wykorzystanie wody i zbieranie deszczówki. Część z tych praktyk została uwzględniona w Programie „Stop Suszy”, jednak wciąż brak systemowego rozwiązania zapewniającego zarówno sprawiedliwą dystrybucję i podział wód, jak i odnawialność zasobów. W artykule przeanalizowano zalety i wady hiszpańskiego modelu dystrybucji wody do nawodnień, opartego o Wspólnoty Nawodnieniowe, działającego od 1200 lat. Wskazano również możliwe rozwiązania automatyzacji, monitoringu i kontroli poboru wody i wielkości jej zasobów w świetle obecnych technologii informatycznych i trendów ich rozwoju.

**Słowa kluczowe:**

susze, zmiany klimatu, nawadnianie upraw, melioracje wodne, mała retencja, BigData, IoT, Wspólnoty Nawodnieniowe, rolnictwo precyzyjne, planowanie przestrzenne, FENACORE.

**WSTĘP**

W ostatnich latach obserwujemy postępującą zmianę klimatu, która w Polsce objawia się nie tylko wzrostem średniej temperatury i zwiększeniem zmienności warunków termicznych, ale i dużymi zmianami w dystrybucji opadów w ciągu roku. Obserwuje się mało śnieżne zimy, które nie zapewniają odnowienia zasobów wody w glebie, co powoduje jej braki już na początku okresu wegetacyjnego. Częstość występowania susz w okresach krytycznych dla roślin uprawnych znacznie się zwiększyła, miejscami przybierając rozmiary klęski żywiołowej (Monitoring Suszy, IUNG). Według prognoz Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) z roku 2007 częstość susz 100-letnich, a więc występujących w „poprzednim” klimacie raz na 100 lat, miała wzrosnąć do roku 2020 co najmniej 10-krotnie (Parry i in., 2007; Field i in., 2012). Z obserwacji corocznych deficytów wody wynika, że prognozy sprawdziły się jeśli nie w pełnym zakresie, to przynajmniej w zakresie częstości występowania susz. Zważywszy, że tempo wdrażania programów małej retencji, zainicjowanych w 1995 roku, jest tak małe, że horyzont uzyskania docelowej objętości równej 15% odpływu rocznego rzek, magazynowanej w zbiornikach małej i dużej retencji, nie jest osiągalny w perspektywie najbliższych lat, przyszły klimat stawia pod znakiem zapytania bezpieczeństwo żywnościowe Polski.

Przygotowanie polskiego rolnictwa na nadchodzące zmiany jest pilnie potrzebne i wymaga zaangażowania nie tylko administracji rządowej i samorządowej, ale przede wszystkim samych użytkowników wód, których decyzje bezpośrednio wpływają na ilość i jakość wody na obszarach wiejskich. Ramowa Dyrektywa Wodna UE (2000/60/WE), będąca nadrzędnym instrumentem prawnym obowiązującym wszystkie państwa członkowskie Unii, trak-

---

Autor do kontaktu:

Rafał Wawer

e-mail: huwer@iung.pulawy.pl

tel. +48 81 4786 773

tuje wodę jako dziedzictwo, które powinno podlegać ochronie: „Woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzictwem, które musi być chronione, bronione i traktowane jako takie”. Wobec przewidywanych susz i braków wody dla rolnictwa, woda powoli zaczyna być postrzegana jako dobro wspólne i to dobro o znaczeniu strategicznym i w tym kontekście jej zasoby rzeczywiście winniśmy traktować jak dziedzictwo, ponieważ od naszych działań w gospodarowaniu wodą będzie zależała jakość życia dzisiejszego i przyszłych pokoleń zamieszkujących polską wieś.

#### AKTUALNE I PROGNOZOWANE WYSTĘPOWANIE DEFICYTÓW WODY W ROLNICTWIE

Obszar Polski położony jest w klimacie umiarkowanym, stanowiącym przejście między klimatem kontynentalnym na wschodzie i morskim na zachodzie. Roczna suma opadów jest jedną z najniższych w środkowej i północnej Europie, dorównując miejscami minimum notowanemu w Europie południowej (rys. 1).

Generalnie w okresie wegetacyjnym na obszarze Polski występuje ujemny bilans wodny, tj. parowanie przeważa nad opadem atmosferycznym (tab. 1), więc uprawy muszą bazować na zasobach wody zgromadzonych w glebie podczas chłodnego, dżdżystego okresu kilku miesięcy między jesienią a wiosną (Stuczyński i in., 2007).

Wobec obserwowanych w pierwszej dekadzie XXI wieku okresów posusznych w sezonie letnim, rolnicy coraz częściej uciekają się do nawadniania upraw. Coraz częściej na obszarach dotykanych notorycznie suszami, rolnicy zmieniają profil produkcji, przechodząc ze zbóż

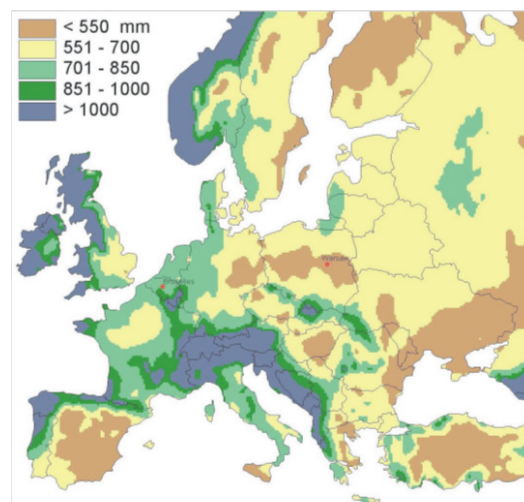
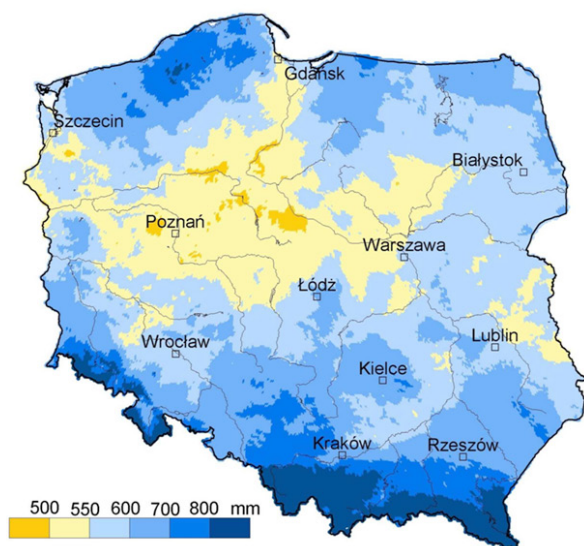
Tabela 1. Średni z wielolecia klimatyczny bilans wodny dla Polski dla okresu kwiecień–wrzesień (Kozyra, Wawer, 2016)

Miesiąc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	suma
Opad	42	58	72	88	76	52	388
Parowanie	69	98	105	118	107	64	562
Bilans	-27	-40	-33	-30	-31	-12	-174

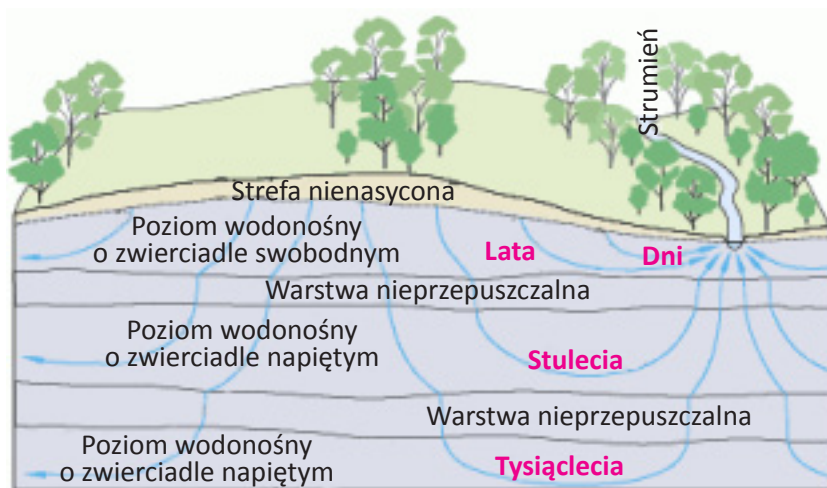
do upraw, które opłaca się nawadniać: warzyw, krzewów jagodowych, sadów.

Niestety, większość z instalowanych systemów nawodnieniowych nie jest wyposażona w narzędzia wspomagania decyzji służące do optymalizacji zużycia wody (Wawer i in., 2016). Niezrównoważone nawadnianie może doprowadzić do powstawania braków wody oraz jest związane z ryzykiem zwiększonego wymywania azotu do wód gruntowych w wyniku wzmożonego przepływu wody w głąb profilu glebowego. Łatwo rozpuszczalne formy azotu wymyte poniżej strefy korzeniowej są stracone dla roślin i mogą się przyczyniać do zanieczyszczenia wód gruntowych (Wawer i in., 2016). Ponadto przy braku powszechnego systemu oceny zasobów wodnych dostępnych dla rolnictwa, intensywne i niekontrolowane zużycie wód do nawodnień może doprowadzić do zaburzenia cyklu odnawiania zasobów (rys. 2), co miało już miejsce w Hiszpanii (Barea Luchena, 2018).

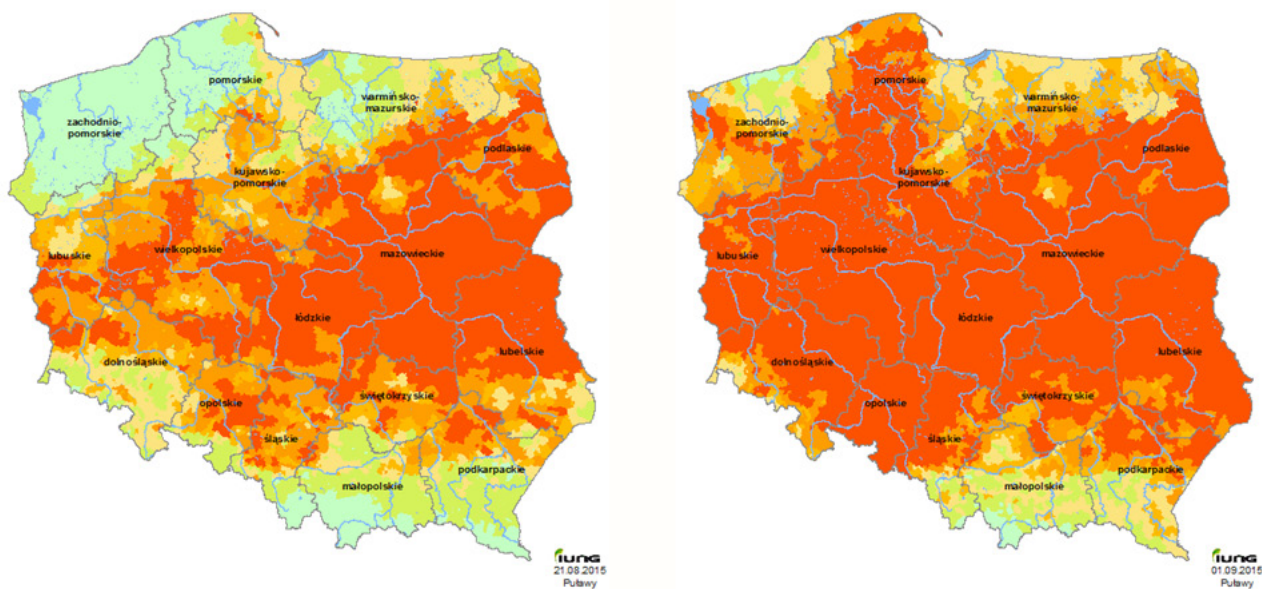
Aby zwiększyć odporność polskiego rolnictwa na niedobory wody, należy zadbać o zatrzymanie jak największej ilości wody na miejscu poprzez zmniejszenie odpływu powierzchniowego i gruntowego do cieków wodnych.



Rysunek 1. Średnia (z wielolecia) roczna suma opadu dla Polski i Europy (Kozyra, Wawer, 2016)



Rysunek 2. Orientacyjny czas odnawiania zasobów wody gruntowej. Źródło: USDA, <https://water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.html#freshstorage>



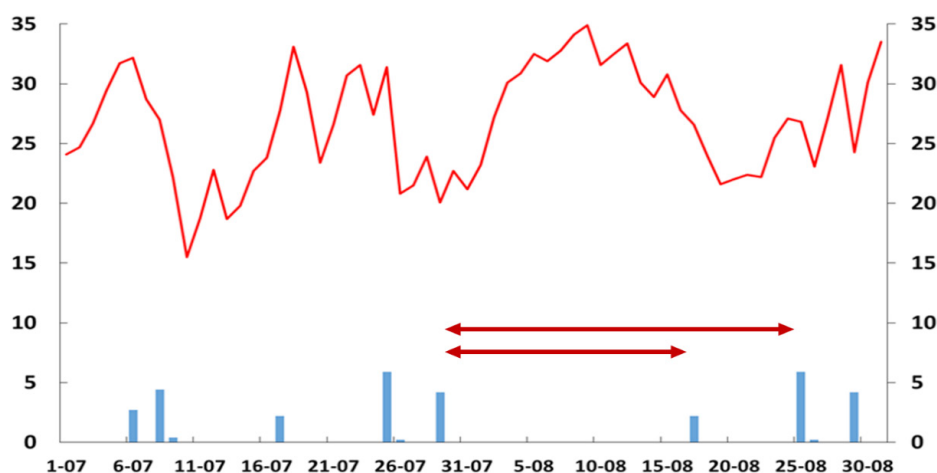
Rysunek 3. Susza rolnicza 08–09.2015 (Monitoring Suszy, 2015)

W drugiej dekadzie XXI wieku obserwujemy nasilenie susz. Według ciągłego monitoringu suszy rolniczej, prowadzonego przez IUNG-PIB, susze występują co roku, jednak ich zasięg nieco się różni i dotyczą w różnym stopniu różnych regionów kraju. W latach 2014–2016 susze były tak rozległe, że niekiedy objęta klęską suszy była większość obszaru Polski (rys. 3).

Jak trudna jest sytuacja gospodarstw rolnych, obrazuje rysunek 4, przedstawiający przebieg pogody w lipcu i sierpniu 2015 roku w gospodarstwie nastawionym na produkcję maliny wczesnej i późnej oraz porzeczki deserowej. W okresie od 1 lipca do 30 sierpnia 2015 roku spadło na tym obszarze zaledwie 31,5 mm deszczu, przy czym maksymalna temperatura powietrza przez większość tego okresu oscylowała wokół 25–30 stopni, co daje wartość dziennego parowania w granicach 4–7 mm, w zależności

od prędkości wiatru. W czasie pierwszych 25 dni sierpnia spadło tylko 3 mm deszczu! Szacunkowy bilans wodny dla okresu od 01.07 do 30.08 wynosi więc przeciętnie 31,5 mm - 305 mm = -273,5 mm. Gospodarstwo prowadzi uprawę na bardzo lekkich rędzinach, podścielonych miejscami cienką warstwą gliny, zalegającej na zeszczelinowanej skale marglowej. Gleby te mają niewielką pojemność wodną, która dodatkowo dość szybko odcieka przez zeszczelinowaną skałę podścielającą. Bez nawadniania uprawa na tym obszarze owoców miękkich nie byłaby możliwa a bez zastosowania systemu wspierania decyzji kiedy i ile nawadniać w oparciu o pomiary wilgotności gleby, nawadnianie byłoby bardzo kosztowne.

Ocieplający się klimat przyniesie dalsze zwiększenie parowania z powierzchni ziemi i spowoduje intensywniejsze zużycie wody przez rośliny. Wzrost średniej tem-



Rysunek 4. Przebieg temperatury i opadów w roku 2015 w gospodarstwie jagodowym w Kosiorowie (Kozyra, Wawer, 2016)

peratury (bez uwzględnienia usłonecznienia, wiatru i innych czynników) o 1 stopień powoduje wzrost dziennego parowania o około 10% (o 0,3–0,4 mm) (Kozyra, Wawer, 2016). W kategoriach zapotrzebowania uprawy na wodę wynosi to 3–4 m<sup>3</sup>/ha dziennie. W skali tej części sezonu wegetacyjnego, kiedy występuje wysoka temperatura (np. przez 60 dni), zwiększenie zapotrzebowania na wodę do nawodnień wyniesie 180–240 m<sup>3</sup> na ha. Pamiętać również należy, że ocieplenie wywoła przesunięcie dat wyznaczających początek i koniec okresu wegetacyjnego, co spowoduje jego wydłużenie, a więc i zwiększą się ogólne straty wody na parowanie.

Jak wspomniano we wstępie, większość scenariuszy zmian klimatu, opracowanych przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (Parry i in., 2007; Field i in., 2012), wskazuje na znaczne zwiększenie częstości występowania katastrofalnych susz 100-letnich na obszarze Polski (rys. 5). Termin susza 100-letnia określa suszę o natężeniu tak dużym, że pojawia się nie częściej niż raz na 100 lat. Jest to wartość, do której odnoszą się prognozy, i pochodzi ona z „ubiegłego” klimatu, tj. okresu lat 1900–1990. Obecnie obserwowane corocznie okresy posuszne i lokalne klęski suszy wydają się potwierdzać prognozy IPCC dla roku 2020. Kolor czerwony w legendzie map prognoz IPCC oznacza zwiększenie częstości susz z dotychczasowych raz na 100 lat do częstszych niż raz na 10 lat. Nowsze opracowania IPCC z 2013 (Stocker i in., 2013) roku są daleko bardziej ostrożne w prognozowaniu susz, jednak z prognoz elementów bilansu hydrologicznego: opadu (od 0 do +10%), odpływu powierzchniowego (od -20 do ponad -30%) i odpływu do wód gruntowych (od -10 do 10%) wynika jasno, że brakujące od 20% do ponad 30% odpływu wynika ze zwiększonego parowania terenowego stymulowanego przez wzrost temperatury atmosfery. Z kolei prognozy opublikowane przez EEA (EEA, 2017) wskazują na niewielkie zagrożenie związane z suszą dla obszaru Polski, co dość słabo koreluje z obserwowanym obecnie trendem. Rozważając niekorzystne scenariusze, które wydają się

potwierdzać bieżące obserwacje susz, należy się zastanowić, czy polskie rolnictwo jest gotowe na nadchodzące potencjalne klęski. Zdaniem wielu hydrologów, klimatologów i agronomów, przy obecnym reżimie hydrologicznym sprzyjającym szybkiemu odpływowi – nie.

Podsumowując, obecnie obserwowane susze oraz ich przewidywane nasilenie w niedalekiej przyszłości stawiają pod znakiem zapytania bezpieczeństwo żywnościowe Polski.

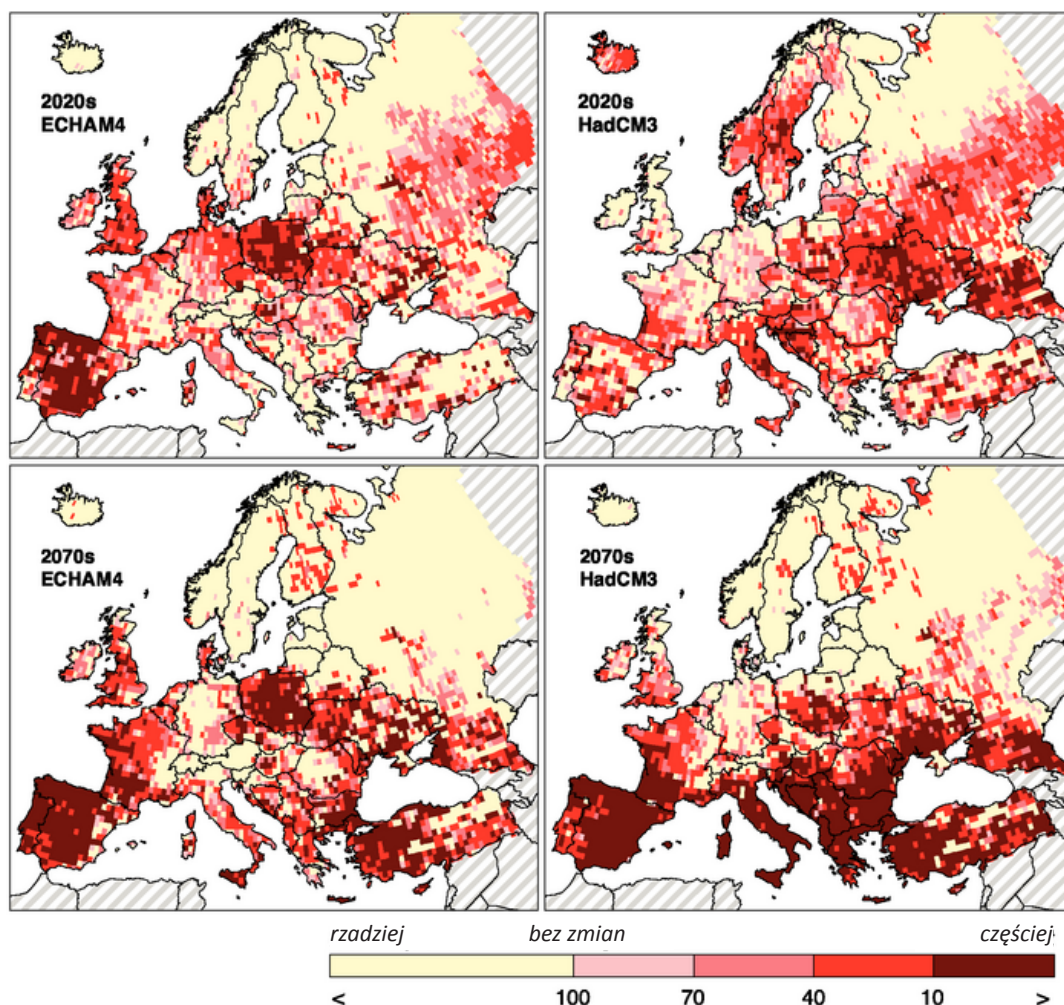
Z racji dużych strat plonów w wyniku susz wielu rolników podejmuje strategiczne decyzje zmiany profilu produkcji z upraw bazujących na opadach atmosferycznych i naturalnej retencji glebowej na uprawy nawadniane.

Scenariusze zmian klimatu (Kozyra i in., 2020) sugerują na tyle dotkliwie niedobory opadów w przyszłości, że prognozuje się stopniowe przechodzenie w Polsce na rolnictwo nawadniane.

#### RACJONALNA POLITYKA ZAGOSPODAROWANIA ZASOBÓW WODY NA OBSZARACH WIEJSKICH

Przygotowanie polskiego rolnictwa na nadchodzące zmiany jest pilnie potrzebne i wymaga zaangażowania nie tylko administracji rządowej i samorządowej, ale przede wszystkim samych użytkowników wód, których decyzje bezpośrednio wpływają na dostępność i jakość wody na obszarach wiejskich. Wobec przewidywanych susz i braków wody w rolnictwie, woda powoli staje się dobrem wspólnym o znaczeniu strategicznym.

Najważniejsza w procesie podejmowania decyzji ukierunkowanych na racjonalną gospodarkę wodną jest rzetelna informacja na temat stanu zasobów wodnych, prognoz ich dynamiki w bieżącym sezonie, szacowania tempa ich odnawiania przy aktualnym klimacie i zużyciu. Ponadto potrzebne są dobre praktyki z jednej strony optymalizujące zużycie wody, a z drugiej umożliwiające jej zbieranie w okresach nadmiaru, by zapasy mogły być wykorzystane w czasie niedoborów. Są to wielkie wyzwania, wymaga-



Rysunek 5. Prognozowana zmiana częstości występowania susz 100-letnich wg globalnych modeli cyrkulacji ECHAM4 i HadCM3 (Parry i in., 2007; Field i in. 2012)

jące rozważnego planowania i wydatkowania środków, z zachowaniem zasady równości w dostępie do zasobów środowiska i równoległą realizacją celów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych.

Efektywna gospodarka wodna na terenach wiejskich wymaga holistycznego podejścia i uwzględnienia wszystkich potrzeb mieszkańców, z naciskiem na utrzymanie produkcji rolnej, decydującej o bezpieczeństwie żywnościowym kraju. Spośród szerokiego spektrum zagadnień związanych z wyzwaniami, jakie stawia rolnictwu zmieniający się klimat, w kontekście gospodarki wodnej na obszarach wiejskich za najważniejsze cele strategiczne należałoby uznać:

- Opracowanie nowych metod optymalizacji bilansu hydrologicznego gleb w układzie gleba–woda–roślina, w tym optymalizacja melioracji wodnych, zwiększanie retencji glebowej oraz precyzyjne nawadnianie;
- Opracowanie nowych metod monitoringu, oceny i prognoz dostępności wody dla rolnictwa na poziomie gospodarstwa, gminy i zlewni;
- Przyjęcie gospodarki wodnej za jeden z najistotniejszych elementów planowania przestrzennego i adaptacji gminy wiejskiej do zmian klimatu;
- Adaptację praktyk rolniczych do zmieniających się zasobów wody dostępnej dla roślin;
- Zwiększenie retencji wodnej w krajobrazie rolniczym;
- Dywersyfikację źródeł wody dla gospodarstw rolnych;
- Zapobieganie obniżeniu jakości gleb wynikającemu z deficytów wody, zwłaszcza zapobieganie mineralizacji próchnicy glebowej;
- Stymulowanie ekonomicznych i środowiskowych efektów wdrażania dobrych praktyk gospodarki wodnej w gospodarstwach przez subsydia i doradztwo.

## SYSTEM DYSTRYBUCJI ZASOBÓW WODNYCH W ROLNICTWIE – WZORZEC HISZPAŃSKI

Jak już wspomniano, najnowsze symulacje zmian klimatu, przeprowadzone przez zespół prof. Jerzego Kozyry z IUNG (Kozyra i in., 2020) wskazują, że rolnictwo polskie będzie prawdopodobnie zmuszone do stopniowego przejścia na uprawy nawadniane. Rosnąca powierzchnia upraw nawadnianych i brak efektywnych wytycznych i regulacji prawnych ustalających zasady korzystania z wód dla celów nawadniania niesie ze sobą ryzyko zaburzenia odnawiania się zasobów wód gruntowych i powierzchniowych.

Coraz częściej występujące suche zimy zagrażają odnawianiu retencji glebowej, potrzebnej na wiosenne ruszenie wegetacji na wszystkich użytkach rolnych. Zarówno wprowadzenie małej retencji w formie zbiorników, jak i dążenie do zmniejszenia odpływu poprzez magazynowanie wód opadowych w wodach gruntowych jest już palącą potrzebą, a nie tylko opcjonalnym zabiegiem poprawiającym krajobraz czy walory rekreacyjne działek.

Trudno wyobrazić sobie polskie rolnictwo z dotychczasowym poziomem retencji za lat 20, kiedy susze będą o wiele bardziej dotkliwe i częstsze, o ile, oczywiście, scenariusze IPCC się sprawdzą.

W dotychczasowej historii Polski problem wieloletnich okresów deficytów wody w rolnictwie nie występował na tyle często, aby utworzyć system dystrybucji wody. Wobec aktualnego palącego problemu niedoborów wody dla produkcji rolnej w Polsce mamy do dyspozycji wieloletnie doświadczenia krajów, w których deficyty wody i jej racjonowanie są stałym elementem rolnictwa. Mamy więc niejako luksus uczenia się na cudzych błędach i wybierania najlepszych rozwiązań. Punktem wyjścia w niniejszych rozważaniach jest system zarządzania wodą oparty o wspólnoty wodne w Hiszpanii. Dystrybucja wody bazuje na ponad 1000-letnim systemie rozdziału wody z kanałów zasilających całe obszary rolnicze, które wówczas znajdowały się pod panowaniem muzułmańskim (del Campo Garcia, 2018). Ówczesni władcy tego regionu ciągle musieli rozstrzygać spory sąsiedzkie, dotyczące sprawiedliwego korzystania z wody do nawodnień zalewowych pól. Stopniowo powstał system samorządów wodnych, najpierw oparty o trybunały wodne, które rozstrzygały spory poszczególnych użytkowników wód na danym obszarze, przy czym sędziowie byli wybierani spośród najbardziej szanowanych mieszkańców danego obszaru. Następnie powstały Wspólnoty wodne składające się z rolników korzystających z tego samego kanału zaopatrującego dany obszar w wodę. Wspólnoty były samorządne w zakresie podziału zasobów wodnych przydzielonych w koncesji przez wyższą administrację. System ten został utrzymany przez katolickich władców Hiszpanii po pokonaniu i wypędzeniu władców muzułmańskich i dotrwał w niewiele zmienionej formie do dziś. Po wdrożeniu Dyrektywy Wodnej zarządzanie wodą na poziomie zlewni prowadzi jednostki administracji pań-

stwowej, odpowiadające polskim: Krajowemu (KZGW) i Regionalnym Zarządom Gospodarki Wodnej (RZGW), oraz liczne inne jednostki specjalistyczne podległe różnym ministerstwom. Administracja państwowa jest odpowiedzialna za określanie limitów poboru wód dla poszczególnych wspólnot nawodnieniowych, które reprezentują swoich członków. Dzięki temu rozwiązaniu administracja nie musi prowadzić spraw pojedynczych rolników, a pozostaje w kontakcie ze wspólnotami, co z jednej strony zmniejsza konieczną liczbę urzędników, a z drugiej skraca procedury, choć uważa się, że są one nadal zbyt długotrwałe.

Obecnie wspólnoty nawodnieniowe dostają koncesję z limitem rocznym zużycia wody, określanym przez administrację państwową na podstawie analiz hydrologicznych i hydrogeologicznych. Limit jest dzielony między członków wspólnot wg powierzchni upraw – samorządnie, w każdej wspólnocie osobno. Limity administracja określa na podstawie badań hydrogeologicznych i monitoringu zasobów wody. Najstarsze wspólnoty wodne w Hiszpanii mają ponad 1200 lat (Historical Irrigation..., 2017). System hiszpański był prezentowany na spotkaniu w Ministerstwie Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej w październiku 2018 r. przez przedstawicieli regionalnych związków wspólnot wodnych FENACORE. System hiszpański sprawdzał się przez setki lat do chwili, kiedy zaczęto pobierać wody podziemne, których nie potrafiono odpowiednio opomiarować. Brak kontroli poboru wód podziemnych doprowadził do sytuacji, w której obecnie więcej wody jest pobierane ze źródeł nielegalnych niż z legalnych (Baker, 2019 za Barea Luchena, 2018), a zasoby wód zagrożone są niedoborami i degradacją jakościową (rys. 6).



źródło: Greenpeace, 2018

Rysunek 6. Stan wód gruntowych w Hiszpanii wg raportu Greenpeace (Barea Luchena, 2018)

Raport WWF z 2006 roku (Illegal water..., 2006) dotyczący nielegalnego poboru wód podziemnych w Hiszpanii wyróżnił 9 obszarów problemowych związanych z niedostosowaniem systemu rozdziału wody do nowych technologii pobierania wód gruntowych (tab. 2).

Z analizy stanu rzeczywistego aktualnego działania hiszpańskich wspólnot nawodnieniowych w praktyce należałoby wysnuć wniosek, że nadmierny nielegalny pobór wód wynika przede wszystkim z niedostosowania mechanizmów kontroli do nowoczesnych systemów poboru wód podziemnych oraz braku egzekwowania prawa w zakresie wydawania pozwoleń i kar za nieprzestrzeganie przepisów. System Wspólnot Wodnych powstał w czasach, gdy kontrola poboru polegała na obserwacji, kiedy dany rolnik otwiera służbę doprowadzającą wodę na własne pola ze wspólnego kanału zasilającego. Pobór wód podziemnych rządzi się zupełnie innymi zasadami i ma swoją specyfikę – nie widać, kiedy i ile wody jest pobierane, studnie są niewielkie i łatwo je ukryć, trudniej ocenić wielkość dostępnego zasobu oraz bezpieczny dla wszystkich poziom korzystania z niego.

#### Zalety systemu Wspólnot Nawodnieniowych w Hiszpanii:

- skupiają użytkowników wód;
- zarządzają lokalnie dystrybucją wody;
- prowadzą kontrole wykorzystania;
- rozsądzą spory, naruszenia zasad;
- pokrywają koszty operacyjne robót;
- stanowią jednostkę, na którą wydawane są koncesje (nie są wydawane na pojedynczych użytkowników)
- desygnują reprezentantów użytkowników wód w ciałach odpowiedzialnych za zarządzanie i utrzymanie zasobów wodnych na wyższych szczeblach administracji.

#### Wady systemu Wspólnot Nawodnieniowych w Hiszpanii:

- system zaprojektowany przede wszystkim na nawodnienia bruzdowe i zalewowe, gdzie widać, kto i kiedy nawadnia, nie został dostosowany do kontroli poboru wód podziemnych. Od połowy XIX wieku weszły nawodnienia wykorzystujące wody podziemne – w znacznej mierze pozostając ukrytym poborem.

Tabela 2. Przyczyny i skutki nielegalnego poboru wód podziemnych w Hiszpanii (Illegal water use..., 2006)

Przyczyna	Jednostka odpowiedzialna	Skutki
Brak efektywnego monitoringu poboru i wymuszania egzekwowania prawa przez administrację wodną	Ministerstwo Środowiska	Wzrost liczby nielegalnych studni głębinowych ze względu na brak konsekwencji prawnych
Polityczne naciski na zarządy obszarów zlewniowych (odpowiednik polskich RZGW), aby zapobiegać konfliktom z grupami nacisku (firmy budowlane, organizacje rolnicze)	Użytkownicy wód, administracja regionalna	Wzrost liczby nielegalnych studni głębinowych ze względu na brak konsekwencji prawnych
Kradzież wody nie była raportowana, a czasem wręcz ukrywana	Użytkownicy wód	Powstało wrażenie, że kradzież wody pozostaje bezkarna. Niedobory wody u rolników nawadniających legalnie.
Nielegalni użytkownicy wód otrzymywali subsydia	Administracja regionalna	Nielegalne studnie i czarnorynkowy obrót wodą do nawodnień
Dysproporcjonalny rozwój obszarów zurbanizowanych	Administracja regionalna, rady miast	Nielegalny pobór wód do potrzeb nierolniczych, m.in. podlewania trawników i pól golfowych
Powolne rozpatrywanie podań o pozwolenia poboru wód	Ministerstwo Środowiska	Trudniej wykrywać nielegalne nawodnienia, ponieważ często składający oficjalne podanie wiercą studnie przed uzyskaniem pozwolenia
Brak odpowiedzialnego korzystania z wody	Użytkownicy wód	Nadmierny pobór, wiercenie nielegalnych studni
Brak szkoleń i podnoszenia świadomości użytkowników wód, co spowodowało, że zamiast optymalizować nawodnienia poszukuje się nowych źródeł, ponieważ dotychczasowe źródła są niewystarczające	Użytkownicy wód	Nadmierny pobór, wiercenie nielegalnych studni
Wartość plonów szacowana wg ilości, nie jakości	Przetwórcy, rynek	Zasoby wodne zużywane na nawadnianie obszarów suchych, aby zwiększyć areał pod uprawy

Do potencjalnych zalet ww. systemu w warunkach polskich należałoby zaliczyć:

- łatwiejszą organizację doradztwa rolniczego z przypisaniem doradcy do wspólnoty nawodnieniowej;
- przyspieszenie procedur pozwoleń wodnoprawnych, ponieważ będą o nie występować wspólnoty, nie pojedynczy rolnicy.

Rozważając wykorzystanie hiszpańskiego modelu organizacji poboru wód do nawodnień, należy bezwzględnie zadbać z góry o niezawodny monitoring i kontrolę poboru. Obecne narzędzia informatyczne umożliwiają już skuteczny monitoring poboru w czasie rzeczywistym i przy odpowiedniej organizacji systemu kontroli niekontrolowany pobór, stanowiący zagrożenie dla sprawiedliwego podziału zasobów i ich odnawialności, może być wyeliminowany.

Po analizie systemu hiszpańskiego oraz konsultacjach z rolnikami, wójtami gmin i pracownikami sejmików wojewódzkich opracowano zarys polskiego systemu organizacji gospodarki wodnej dla rolnictwa na poziomie gminy, składający się z 6 filarów:

- Studium zasobów wodnych gminy, opracowywane w ramach procedury tworzenia i aktualizacji miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (MPZP) jako nieodłączna część studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania gminy. Studium wód powierzchniowych i podziemnych wykonane przez hydrologów i hydrogeologów wraz ze wskazaniem punktów instalacji piezometrów do monitoringu poziomu wód oraz gotowymi modelami przeliczania poziomu wód na zasoby do wykorzystania w rolnictwie i gospodarce wraz ze wskazaniem progów krytycznych dla odnawiania się zasobów. Studium zawierałoby również mapę obszarów problemowych, na których nie ma możliwości utrzymania produkcji roślinnej lub produkcja ta będzie wymagać nawodnień. Obszary o najbardziej niekorzystnej sytuacji wymagają bądź przekształcenia na użytki leśne, bądź dużych nakładów na utrzymanie produkcji;
- Reforma spółek wodnych i opodatkowania na utrzymanie sieci drenarskich na obszarach wiejskich, przy czym często pojawiają się głosy, że opodatkowaniem na rzecz utrzymania sieci melioracji wodnych powinni być obciążeni wszyscy mieszkańcy danego obrębu geodezyjnego. Naprawa i automatyzacja regulacji sieci melioracyjnych;
- Utworzenie wspólnot nawodnieniowych. Wspólnoty zarządzałyby przydzielonymi im wodami powierzchniowymi i podziemnymi na podobieństwo wspólnot wodnych w Hiszpanii. Samorządność spółek będzie gwarantować sprawiedliwy podział oraz zapewni skuteczną kontrolę poboru wód. Spółki ponosiłyby koszty utrzymania i budowy infrastruktury dystrybucyjnej oraz otrzymywałyby roczne koncesje na pobór wód do nawodnień od RZGW wyliczane na podstawie dokumentów planistycznych, kontrolnych i monitoringu zasobów opracowanych dla danego obszaru (punkt 1);

- Optymalizacja zużycia wody w nawodnieniach. Wymóg używania systemów wspierania decyzji w nawodnieniach opartych bądź o czujniki (Wawer i in., 2016), bądź o teledetekcję (Liaghat, Balasundram, 2010), przy czym należałoby wprowadzić certyfikację tych systemów, aby zapewnić błąd pomiaru stresu wodnego nie większy niż 3% i ocenę poziomu wody dostępnej w glebie nie przekraczającą połowej pojemności wodnej o więcej niż 3%. Zatrzyma to przelewanie upraw, które nie tylko powoduje marnowanie wody i energii, ale również przyczynia się do wymywania łatwo rozpuszczalnych soli N i K podawanych w nawozach, powodującego zanieczyszczenie wód gruntowych (Ali, 2010; Burton, 2010; Doneen i in., 1984; Wawer i in., 2016).
- Zwiększenie retencji wodnej w krajobrazie poprzez małą retencję (zbiorniki wodne, zwiększenie pojemności wodnej gleb przez właściwe zmianowanie i nawożenie organiczne, spowolnienie odpływu powierzchniowego do wód itd.), zbieranie wody deszczowej z powierzchni utwardzonych w gospodarstwie, oszczędne metody gospodarowania wodą, jak ponowne wykorzystanie szarej wody itp. elementy przewidziane w znacznej mierze w Programie „Stop Suszy”;
- Edukacja rolników, doradców, administracji samorządowej w dziedzinie gospodarki wodnej i oszczędnego gospodarowania wodą w rolnictwie.

#### INFORMATYKA W SŁUŻBIE GOSPODARKI WODNEJ. SYSTEM MONITOROWANIA I PROGNOZOWANIA ZASOBÓW WODNYCH NA OBSZARACH WIEJSKICH

Zgodnie z Art. 332 p.2 i p.3 ustawy Prawo Wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566) Wody Polskie udostępniają dane przestrzenne i utrzymują Hydroportal jako węzeł krajowej infrastruktury informacji przestrzennej oraz centralny punkt dostępowy do usług, o których mowa w art. 9 ustawy z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej, oraz innych informacji z zakresu gospodarowania wodami. Wyszukiwanie informacji, sporządzanie kopii dokumentów oraz ich przesyłanie odbywa się na podstawie przepisów ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko.

Przewidywany system Hydroportal ma zabezpieczać potrzeby Wód Polskich jako głównego zarządcy obszarów zlewniowych w Polsce na informacje o bieżącym wykorzystaniu i jakości wód. Jego funkcjonalność opisana w Ustawie nie przewiduje aplikacji doradczych dla rolników i gmin, które są niezmiernie potrzebne i oczekiwane w gminach wiejskich, gdzie zmieniający się dość szybko klimat wymusza poszukiwanie nowych praktyk gospodarowania wodą.



Aby system informatyczny do zarządzania wodą na obszarach wiejskich mógł sprawnie funkcjonować, należało by zadbać o jego ramy organizacyjno-prawne, omówione w poprzednim rozdziale, w szczególności:

- Gospodarka wodna powinna zostać włączona w planowanie przestrzenne gminy;
- Dobre rozpoznanie zasobów wodnych w gminie: wody powierzchniowe i podziemne, w tym uzupełnienie Państwowego Monitoringu Środowiska, utworzenie lokalnych modeli hydrogeologicznych opisujących stany graniczne poziomów wód gruntowych dla progów odnawialności zasobów umożliwiające oszacowanie bezpiecznej wysokości rocznego poboru wód;
- Odnowienie i modernizacja melioracji wodnych, automatyzacja sterowania poziomem zastawek;
- Uruchomienie programu małej i dużej retencji, zwiększającej podaż wód powierzchniowych na obszarach wiejskich.

Obecne zaawansowanie technologii pozwala na pełną automatyzację monitoringu zasobów wód, poboru przez odbiorców i prognozę dostępności zasobów, co umożliwi optymalne sterowanie poborem. System gospodarowania wodą na obszarach wiejskich mógłby się składać z następujących modułów:

- Monitoring zasobów wód powierzchniowych i podziemnych na poziomie lokalnym jako część Państwowego Monitoringu Środowiska (automatyczny);
- Monitoring i sterowanie sieciami drenarskimi (automatyczny);
- Monitoring wilgotności gleb i stresu wodnego roślin (automatyczny przez czujniki lub satelity). Na poziomie pola dostępne są już narzędzia do oceny stresu

wodnego i optymalizacji nawodnień (Syropoulou i in., 2017, Wawer i in., 2016);

- Monitoring klimatu (IMGW plus stacje uzupełniające);
- Monitoring zużycia wody u odbiorców (automatyczny);
- System integracji i harmonizacji strumieni danych i wspierania decyzji (rolnicy, gmina, Hydroportal) z aplikacjami dla użytkowników: rolników, gmin, doradców i firm.

Obecne trendy w technologii rolniczej zdążają w kierunku automatyzacji zbierania danych i procesów w gospodarstwach (Hubbard i in., 2014; Gelb i in., 2008). Oczekuje się szybkiego upowszechnienia narzędzi opartych o Internet Rzeczy (IoT) (Ministerstwo Cyfryzacji, 2019; Schrijver i in., 2016; Tzounis i in., 2017), BigData (Wolfert i in., 2017) czy robotykę, wspierających rolnictwo precyzyjne (Samborski, 2018) i zarządzanie gospodarstwem (rys. 7). W Izraelu już stosuje się metody sztucznej inteligencji w określaniu zapotrzebowania na odsoloną wodę do nawodnień (Lew, 2020), prowadzonego w czasie rzeczywistym. Cyfryzacja rolnictwa to duża szansa dla optymalizacji produkcji rolnej z jednej strony, a z drugiej preludeum do nadchodzącego europejskiego i światowego systemu śledzenia żywności od gospodarstwa do widelca (Farm to Fork F2F), który stanowi szansę polskiego rolnictwa na konkurencyjność wobec rozwijającej się intensywnej produkcji za wschodnią granicą w Rosji i na Ukrainie. F2F pozwoli również na szybki rozwój rynku zdrowej żywności, likwidując nadużycia w dystrybucji produktów rolnictwa ekologicznego, co zwiększy zaufanie konsumentów a zatem i popyt na zdrową żywność z pewnego źródła.



Rysunek 7. Internet Rzeczy w gospodarstwie rolnym. Źródło: EIP-AGRI, 2018

## PODSUMOWANIE

Polska stoi na początku drogi efektywnego zarządzania zasobami wody w rolnictwie w obliczu jej deficytów nasilających się wraz z postępującymi zmianami klimatu. Naturalna droga do wypracowania sprawiedliwego systemu dystrybucji wody zapewniającego odnawialność jej zasobów wiedzie przez analizę już istniejących rozwiązań, stosowanych w krajach, które mają długą historię produkcji rolnej zmagającej się z niedoborami wody.

Krajem o najdłuższej działającym systemie dystrybucji wody do nawodnień w Europie jest Hiszpania. System hiszpański oparty jest o samorządne wspólnoty nawodnieniowe i trybunały wodne, które są zreszzeniami rolników korzystających z lokalnego zasobu wód, czy to powierzchniowych, czy podziemnych. Wspólnoty otrzymują roczne przydziały wód do wykorzystania, które wylicza się na podstawie badań hydrologicznych i hydrogeologicznych, prowadzonych przez administrację regionalną i federalną – odpowiedniki polskich RZGW i KZGW. System działał przez 1200 lat, w ciągu których stosowano nawadnianie powierzchniowe z kanałów nawadniających, które łatwo było kontrolować. Z chwilą upowszechnienia nawodnień wodami podziemnymi powoli tracono kontrolę nad rzeczywistym poborem. Obecnie w Hiszpanii nielegalny pobór wód podziemnych do nawodnień przewyższa legalny. Jaką naukę można wyciągnąć z przykładu Hiszpanii? Generalnie idea samorządnych wspólnot wodnych, odpowiedzialnych za sprawiedliwy podział wód między rolników, sprawdza się, o ile zapewniony jest skuteczny monitoring poboru i kontrola zasobów.

W Polsce analogiczną strukturę ma system kontroli populacji zwierzyny łownej, który realizują samorządne koła łowieckie na podstawie planów odstrzału, opracowywanych w oparciu o inwentaryzację liczebności gatunków i pojemność danych siedlisk.

Aby system rozdziału wód do nawodnień niezbędna jest rzetelna ocena wielkości zasobów wodnych, z których miałyby korzystać wspólnoty oraz określenie poziomów ich bezpiecznego użytkowania. Wspólnoty nawodnieniowe to zaledwie element szerszego rozwiązania systemowego dla gospodarowania wodą na obszarach wiejskich. Aby mógł on funkcjonować, potrzebne jest mądre planowanie przestrzenne (uwzględniające obszary z permanentnymi deficytami oraz obszary predestynowane do małej i wielkiej retencji) wsparte analizą, jakie efekty przyniosą lokalnie zmiany klimatu, i, wprowadzenie praktyk zwiększania zdolności retencyjnych gleb, właściwe lokalizowanie zbiorników małej i wielkiej retencji, precyzyjne nawadnianie, wykorzystanie szarej wody w gospodarstwie, zbieranie deszczówki itd. Wiele z wymienionych wyżej praktyk wprowadzonych zostanie rządowym Programem Przeciwdziałania Skutkom Suszy „Stop Suszy”.

Dzisiejszy rozwój narzędzi i technologii informatycznych, w tym Smart Farming, Smart Villages itd., umożli-

wia już budowanie systemów monitoringu i kontroli opartych na bezprzewodowych sieciach czujników oraz zbudowanych na nich aplikacjach doradczych, informujących o bieżących i prognozowanych deficytach opadów, ilości dostępnych wód podziemnych i powierzchniowych oraz proponowanych praktykach rolniczych dla danego sezonu, gleby i rośliny.

Jakikolwiek nie będzie ostateczny kształt systemu gospodarowania wodą wspartego narzędziami informatycznymi, powinien on być jak najszybciej wdrożony do porządku prawnego i praktyki. Im szybciej się to stanie, tym łatwiej unikniemy konfliktów między użytkownikami o zasoby wodne i tym lepiej będziemy zarządzać tym strategicznym dla gospodarki i bezpieczeństwa kraju zasobem.

## LITERATURA

- Ali M.H., 2010.** Fundamentals of Irrigation and on-Farm Water Management. Volume 1. Springer, 560 ss., <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4419-6335-2.pdf>, doi: 10.1007/978-1-4419-6335-2.
- Baker S., 2019.** Spain's vast network of illegal wells exposed after death of toddler. Deutsche Welle (DW), <https://www.dw.com/en/spains-vast-network-of-illegal-wells-exposed-after-death-of-toddler/a-47311150>.
- Barea Luchena J., 2018.** Los pozos ilegales nos roban el agua. Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/noticias/los-pozos-ilegales-nos-roban-el-agua/>
- Burton M., 2010.** Irrigation Management: Principles and Practices. Wyd. CPI, 375 ss.
- Del Campo Garcia A., 2018.** The Irrigators Communities of Spain and their National Federation. Las Comunidades de Regantes de España y su Federación Nacional, FENACORE, 104 ss.
- Doneen L.D., Westcot D.W., Italconsult S.p.A., Rome (Italy), 1984.** Irrigation Practice and Water Management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 1, Revision 1.
- EEA, 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA report 1/2017, 424 ss., <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>.
- EIP-AGRI, 2018. Shaping the digital (r)evolution in agriculture. [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri\\_brochure\\_digital\\_revolution\\_2018\\_en\\_web.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_brochure_digital_revolution_2018_en_web.pdf).
- EIP-AGRI, 2019. Seminarium EIP-AGRI – Wielopoziomowe strategie cyfryzacji rolnictwa i obszarów wiejskich. Raport końcowy, 24 ss.
- Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Dahe Q., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.-K., Allen S.K., Tignor M., Midgley P.M. (red.), 2012.** Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge University Press, 582 ss., [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX\\_Full\\_Report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf)
- Gelb E., Maru A., Brodgen J., Dodsworth E., Samii R., Pesce V., 2008.** Adoption of ICT Enabled Information Systems for Agricultural Development and Rural Viability. The AFITA, IAALD and WCCA Conference in Atsugi Japan, Pre-Confer-

- ence workshop summary, August 2008, GFAR, pp: 30; [http://www.fao.org/docs/eims/upload/258775/workshop\\_summary\\_final.pdf](http://www.fao.org/docs/eims/upload/258775/workshop_summary_final.pdf)
- Historical Irrigation System at l'Horta de València, 2017. FAO, Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) <http://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/europe-and-central-asia/historical-waterscape-of-lhorta-de-valencia/en/>
- Hubbard N., Zarco-Tejada P. J., Loudjani P., 2014.** Precision agriculture: an opportunity for EU farmers – potential support with the CAP 2014-2020. In-depth analysis. European Parliament, Directorate-General For Internal Policies, Policy Department B: Structural And Cohesion Policies, Agriculture And Rural Development, PE 529.049, 57 ss.
- Illegal water use in Spain. Causes, effects and solutions, 2006. WWF/Adena, 20 ss.
- Kozyra J., Król-Badziak A., Żyłowski T., Koza P., Pudelko R., 2020.** Zmiany klimatu i ich wpływ na gospodarkę wodną i rolnictwo. Konferencja „Adaptacja gospodarki wodnej w rolnictwie do zmieniającego się klimatu”, IUNG-PIB, Puławy, 05.03.2020 r., <http://iung.pl/images/pdf/2020/woda/kozyra.pdf>
- Kozyra J., Wawer R., 2016.** Nawadnianie z wykorzystaniem pomiarów wilgotności gleby. Szydłów 26.10.2016.
- Lew B., 2020.** Water and agriculture in Israel. Konferencja “Adaptacja gospodarki wodnej w rolnictwie do zmieniającego się klimatu”, IUNG-PIB, Puławy, 05.03.2020 <http://npr.iung.pulawy.pl/images/pdf/2020/woda/lew.pdf>
- Liaghat S., Balasundram S.K., 2010.** A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 5(1): 50-55, doi: 10.3844/ajabssp.2010.50.55.
- Ministerstwo Cyfryzacji, 2019. IoT w polskiej gospodarce. Raport grupy roboczej do spraw Internetu Rzeczy przy Ministerstwie Cyfryzacji, pp: 112.
- Monitoring Suszy, IUNG-PIB: <http://susza.iung.pulawy.pl>
- Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (red.), 2007.** Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Samborski S. (red.), 2018.** Rolnictwo precyzyjne. Wyd. PWN, 522 ss.
- Schrijver R., Poppe K., Dewar D., Kempenaar C., Lokhorst K., Bogaardt M.-J., van der Wal T., De Baerdemaker J., Quinn J., 2016.** Precision Agriculture and the Future of Farming in Europe. Technical Horizon Scan, European Parliamentary Research Service, PE 581.832, 274 ss.
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (red.), 2013.** Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 ss., IPCC, [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_Frontmatter\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf)
- Stuczyński T., Kozyra J., Lopatka A., Siebielec G., Jadczyński J., Koza P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E., 2007.** Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 7: 77-115.
- Syropoulou P., Symeonidou M., Tekes S., Wawer R., Kazantzidis A., Crnojevic V., Bruggeman A., 2017.** Developing an intelligent ICT system for environmentally optimized irrigation management in agriculture. Journal of Agricultural Informatics, 8(2): 22-32.
- Tzounis A., Katsoulas N., Bartzanas T., Kittas C., 2017.** Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Biosystems Engineering, 164: 31-48.
- Wawer R., Matyka M., Lopatka A., Kozyra J., 2016.** Systemy wspomaganie decyzji w nawodnieniach upraw rolniczych. ss. 165-182. W: Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie; Dembek W., Kuś J., Wiatkowski M., Żurek G. (red.), Wyd. CDR w Brwinowie, ISBN: 978-83-88082-18-4, 296 ss.
- Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J., 2017.** Big Data in Smart Farming – A review. Agricultural Systems, 153: 69-80; doi: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

Autor

ORCID

Rafał Wawer

0000-0001-9266-9577

data zarejestrowania artykułu w redakcji Polish Journal of Agronomy: 12 maja 2020 r.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY-SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).