

Rafał Wawer

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## ROLNICTWO 4.0 – PRECYZYJNE NAWADNIANIE\*

**Słowa kluczowe:** celnictwo cyfrowe, rolnictwo precyzyjne, przemysł 4.0

### Rolnictwo precyzyjne i inteligentne

**Rolnictwo precyzyjne** to dopasowanie terminów i dawek wysiewu nawozów, aplikacji środków ochrony roślin oraz wody do pola na podstawie map i pomiarów. Powstało w latach 70. Typowym jego elementem jest wykorzystywanie mapy zasobności gleby w NPK i dopasowanie do niej dawek nawozów (13, 24).

Pojęcie **rolnictwa inteligentnego** (Smart Farming), używane zamiennie z **Rolnictwem 4.0**, obejmuje oprócz elementów rolnictwa precyzyjnego również automatyzację procesów w gospodarstwie, w szczególności wprowadzenie autonomicznych systemów monitoringu i sterowania, dających rolnikowi możliwość obsługiwanie procesów w gospodarstwie z poziomu swojego smartfonu lub komputera (rys. 1) (8, 10, 11, 19, 23, 24, 27).

Wśród wielu systemów kompleksowego zarządzania gospodarstwem oferowanych (17) na rynku światowym raport Garner Insights (24) wskazał 8 liderów rynkowych: Agrivi (obecne również w Polsce), Granular, Trimble, FarmERP, FarmLogs, AgWold, AgriWebb oraz Conservis. Produkty te posiadają przeważnie szerokie spektrum modułów, poczynając od inwentarza maszyn, środków produkcji, pól, zwierząt itd., poprzez dane dotyczące produktywności pól wraz z monitoringiem stanu upraw prowadzonym satelitarnie bądź z użyciem czujników zamontowanych na maszynach rolniczych (np. czujniki EC, czujniki NDVI), po systemy księgowe i funkcje pomocne w raportowaniu. Systemy kompleksowe umożliwiają również automatyzację

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2. pt. „Kształtowanie retencji gleb jako elementu przeciwdziałania suszy rolniczej i racjonalnej gospodarki wodnej” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2023 r.

niektórych operacji w gospodarstwie, np. nawadniania i fertygacji, jak również stanowią podstawę systemową dla rozwiązań autonomicznych, w tym robotów, które wykorzystują dane z sensorów (np. rys. 2) i mapy terenu. Nie ma jednak jeszcze na rynku światowym systemów oferujących kompleksowo wszystkie elementy Smart Farming, tj. monitoring, wspieranie decyzji i wykonanie działania całościowo dla danego profilu gospodarstwa (24).



Rys. 1. Rolnictwo inteligentne oparte na technologii Internetu Rzeczy (IoT).

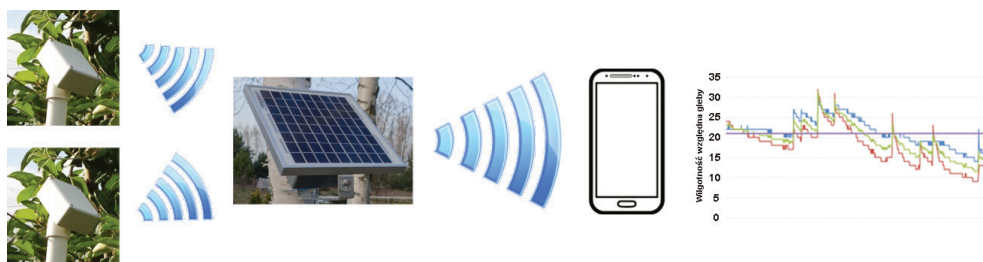
„Cyfrowe technologie mogą wspierać rolników w produkcji więcej za pomocą mniej i znaleźć zrównoważone rozwiązania dla wyzwań dnia dzisiejszego i jutra”

Źródło: EIP-AGRI, 2019 (8)

Oprócz rozwiązań kompleksowych systemów zarządzania gospodarstwem istnieje niezliczona liczba rozwiązań specjalistycznych oferujących realizowanie elementów Smart Farming, np. doradztwo nawodnieniowe (Aquastatus – Polska; rys. 3, SIDSS – Hiszpania, FIGARO – Włochy i Izrael), narzędzia teledetekcyjne (16) do strefowania pól pod rolnictwo precyzyjne (AgroAPI – UK, SQAPP – Holandia) po aplikacje związane z zarządzaniem flotą maszyn i optymalizacją zużycia nawozów, pestycydów i paliwa. Ważną częścią oferty rynkowej są nieautonomiczne selektywne siewniki nasion i aplikatory nawozów (np. wysiewacze polskie Unia MXL premium).



Rys. 2. Czujnik wilgotności gleby zintegrowany ze stacją meteorologiczną eAgronom  
(fot. R. Wawer)



Rys. 3. Przykład polskiego systemu wspierania decyzji dla nawodnień rolniczych Aquastatus opartego na bezprzewodowej sieci czujników wilgotności gleby i apce Android

Źródło: opracowanie własne

Istotną częścią rynku są także drony (rys. 4). Dokonał się duży postęp w technologii sterowania i napędów, co obniżyło zarówno koszty, jak i próg know-how wykorzystania ich w praktyce. Malejące ceny rozwiązań multispektralnych (np. Parrot Sequoia – Francja) przyczyniły się do znacznego wzrostu tego segmentu rynku w latach 2015 i 2016 (24). Postęp w dziedzinie sensorów hiperspektralnych może jeszcze bardziej upowszechnić zastosowanie tych platform w rolnictwie oraz szerokie wykorzystanie dronów jako elementów zwiadowczych platform autonomicznych robotów obsługujących funkcje rozpoznania lokalizacji wymagających interwencji w obrębie pól gospodarstwa.



Rys. 4. Dron z kamerą multispektralną

Źródło: EIP-AGRI

Dynamika inwestycji w rolnictwie wskazuje na gwałtowny wzrost zainteresowania inwestorów tym sektorem na przełomie lat 2013 i 2014, z załamaniem szybkiego trendu wzrostowego 2 lata później wynikającym szczególnie z nasycenia rynku rozwiązaniami UAV oferowanymi na różnych poziomach cenowych. Pomimo spadku wielkość inwestycji typu venture capital w roku 2016 wyniosła 3,2 miliarda \$, tj. ponad 3 razy więcej niż w roku 2013 (24).

Na rynku istnieje mnogość aplikacji cyfrowych dla rolników. Niestety wiele z nich, budowana przez informatyków bez konsultacji ze specjalistami od agronomii, nie nadaje się do praktycznego wykorzystania. Wielu rolników testowało różne apki pisane pod systemy iOS i Android, nabierając przekonania o bezużyteczności nowych technologii, co pokutuje w obiegowej opinii, że apki są tylko zabawkami. Rolnictwo to jedno z najbardziej ryzykownych działów gospodarki, więc rolnicy z natury rzeczy podchodzą z dużą nieufnością do niesprawdzonych nowinek technicznych. Jest to jedna z podstawowych barier zidentyfikowana przez EIP-AGRI (7, 8), potwierdzona w raporcie Wawra (24). Niestety w ogólnodostępnym dla rolników obiegu informacji brakuje poradników związanych z technologiami cyfrowymi.

Wyzwania związane ze zmianami demograficznymi i klimatycznymi stawiają rolnika przed koniecznością inwestycji w nowe technologie, optymalizujące zużycie wody, nawozów, paliw i pracy ludzkiej oraz ułatwiające sprzedaż, zamawianie i świadczenie usług, współpracę czy wreszcie marketing własnych produktów. Ze względu na duże potencjalne straty spowodowane błędami w nowoczesnych narzędziach informatycznych lub nieumiejętnym ich zastosowaniem, należy jak najszybciej podnieść poziom wiedzy

rolników w zakresie korzyści i wad różnych rozwiązań, jak i zadbać o rzetelny opis i certyfikację nowych produktów. Obecnie rolnik styka się najczęściej tylko z informacją handlową, która z zasady nie zawiera granic stosowalności urządzeń, ale też ukrywa szczegóły techniczne rozwiązań, np. metodę pomiaru wilgotności gleby.

Szacuje się, że ok. 70% gospodarstw w USA korzysta z technologii cyfrowych w zarządzaniu gospodarstwem, podczas gdy w UE to zaledwie ok. 20%. Z raportu Wawra (24) wynika, że należy się spodziewać szybkiego rozwoju produktów rolnictwa inteligentnego polskich producentów. Trendy te potwierdza raport Kordowskiej i in. z 2023 (13). Aby te produkty znalazły rynek zbytu, należy przygotować ów rynek i świadomego użytkownika na nadchodzące innowacje Smart Farming, aby umiał on dokonać świadomego wyboru i zwiększył dzięki temu konkurencyjność swojego gospodarstwa.

Ponadto w świetle strategii Komisji Europejskiej opublikowanych 20 maja 2020 r. – strategii Farm to Fork (F2F) i strategii bioróżnorodności, narzędzia Smart Farming będą kluczowe w zapewnieniu odpowiedniego raportowania i przepływu informacji wzdłuż łańcucha dostaw produktów żywnościowych od pola do widelca.

Najchętniej obecnie kupowanym w Polsce rozwiązaniem Smart Farming są rozwiązania do nawigacji i sterowania via GPS (13, 24). Rosnącą popularnością cieszą się rozsiewacze, opryskiwacze i siewniki z funkcją różnicowania dawki, dając oszczędności środków produkcji od 5 do 15%. Mapowanie plonu jest używane dość często, dzięki wbudowanym w nowe maszyny układom, jednak funkcje oceny jakości plonu nie są już tak powszechnie używane, a wykorzystanie tych danych w zarządzaniu gospodarstwem jest dalekie od możliwości i potrzeb. Usługi oceny zasobności gleb i mapowania ich zmienności są oferowane na polskim rynku od co najmniej 15 lat, przy czym nowe technologie nie przyjmują się w firmach zbyt szybko. Kilka firm oferuje pomiary konduktometryczne oraz mapy gleb i upraw pozyskane z teledetekcji. Niestety najmniejsze gospodarstwa rzadko prowadzą monitoring jakości gleb i planowaną gospodarkę środkami produkcji. Tylko największe gospodarstwa mogą sobie pozwolić na zakup i używanie nowoczesnych urządzeń aplikujących zmienne dawki czy sterowane przez nawigację satelitarną. Rolnictwo precyzyjne jest nauczane na uniwersytetach przyrodniczych oraz od niedawna w szkołach średnich o profilu rolniczym.

Powstaje coraz więcej rozwiązań roboczych i robotycznych (roboty współpracujące z człowiekiem), przeważnie w stadium prototypu. Nieliczne rozwiązania seryjne trafiły już na rynek polski. W IUNG-PIB drugi sezon jest używany robot uprawowy operujący automatycznie na zadanych mapach z dopasowaną do gatunku gleby normą wysiewu (rys. 5).



Rys. 5. Robot rolniczy używany do siewu w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB „Kępa” w Puławach (fot. R. Wawer)

### **Rolnictwo inteligentne w gospodarce wodnej**

Czujniki i powiązane z nimi systemy wspierania decyzji mają wielorakie zastosowanie w optymalizacji zużycia wody w rolnictwie i ochrony jej jakości. Niektóre narzędzia do nawodnień polskiej produkcji są już dostępne (Aquastatus, Agreus), a niektóre wejdą na rynek w tym roku (SensorAI). Ponadto opracowywane są narzędzia do automatycznej regulacji sieci melioracyjnych, automatycznego sterowania zastawkami stawów i zbiorników wraz z monitoringiem ilości i jakości wody.

Należy zwrócić uwagę, że narzędzia, które podają informacje wyłącznie o wilgotności gleby są nieprzydatne w praktyce, ponieważ każdy gatunek gleby ma inną charakterystykę pojemności wodnej, np. 12% dla piasków słabo gliniastych oznacza optymalne wysycenie wodą, a ta sama wartość dla glin oznaczałaby trwałe wzięnięcie roślin.

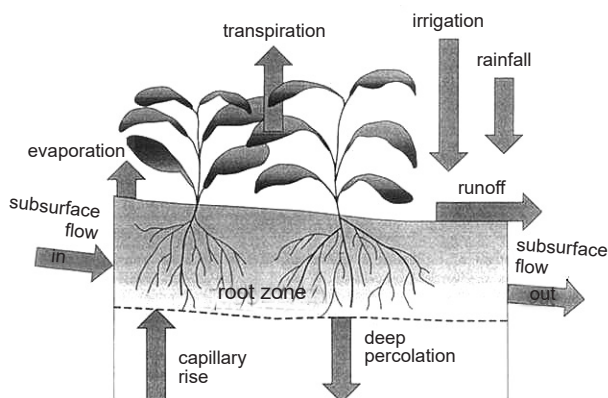
Obecnie w IUNG-PIB prowadzony jest Living Lab (żywe laboratorium) ukierunkowane na ocenę praktyk poprawiających wykorzystanie wody w rolnictwie – <https://aquadavida.mendixcloud.com>.

## Nawadnianie precyzyjne z wykorzystaniem technologii Rolnictwa 4.0

Woda jest kluczowym zasobem, bez którego nie mogą funkcjonować żadne organizmy żywe na Ziemi. W przypadku królestwa roślin (Regnum Vegetabile) dostępność wody warunkuje wszystkie procesy życiowe i związane z nimi pobieranie składników z gleby, przyrost biomasy, a więc w przypadku roślin uprawnych plon i jego jakość (1, 14, 21). Stres wodny bardzo niekorzystnie wpływa na roślinę; prowadzi do obniżenia jej odporności na patogeny, a w skrajnych przypadkach do zamierania rośliny (4, 5). Zapewnienie uprawie optymalnej wilgotności gleby w trakcie sezonu wegetacyjnego sprowadza się do dwóch podstawowych decyzji: kiedy i ile nawadniać?

Najczęściej stosowaną metodą określania potrzeb nawodnień stosowaną przez rolników pozostaje w praktyce metoda organoleptyczna – polegająca na ludzkich zmysłach. Jest ona oparta na obserwacji stanu uwilgotnienia gleby bądź stanu rośliny (15, 25). Człowiek na podstawie oceny gleby przez dotyk oraz własnego doświadczenia jest w stanie oszacować, kiedy należy nawadniać. Decyzja, ile nawadniać zwykle opiera się na założeniu wysycenia gleby wodą, tj. nawadnianiu do pełnej pojemności wodnej gleby, której osiągnięcie manifestuje się pojawieniem zastoisk wody na powierzchni gleby. Z oczywistych względów metoda organoleptyczna jest dalece niedoskonała. Po pierwsze człowiek decyduje na podstawie własnego doświadczenia, niepopartego jakimkolwiek pomiarem bezwzględny wilgotności w glebie, czyli nigdy naprawdę nie wie, ile jej w glebie jest i jaka jej zawartość jest optymalna dla danej rośliny. Po drugie często po okresie posuszny opady deszczu zwilżają tylko wierzchnią część poziomu orno-próchnicznego, więc ocena uwilgotnienia powierzchni gleby może sugerować dostatek wody, podczas gdy 5 cm poniżej warstwy uwilgotnionej występuje przesuszenie profilu glebowego. Podlewanie uprawy do osiągnięcia nasycenia gleby jest zarówno nieekonomiczne, jak i szkodliwe dla środowiska. Woda z gleby nasyconej (wszystkie kapilary i pory nasycone wodą) odcieknie zwykle w ciągu 1 doby do zawartości wilgoci odpowiadającej połowej pojemności wodnej. Rolnik traci całą tę nadmiarową objętość wody wraz z nawozami łatwo rozpuszczalnymi, jak K i N, które trafiają do wód gruntowych, zanieczyszczając je.

Kolejną metodą stosowaną w ocenie kiedy i ile nawadniać jest obliczanie dziennego parowania, zwanego ewapotranspiracją (25). Metoda ta opiera się na skomplikowanych równaniach biorących pod uwagę z jednej strony gatunek gleby i rośliny (również fazę jej wzrostu), a z drugiej pomiary meteorologiczne. Pozwala ona względnie łatwo oszacować dzienną dawkę strat wody na podstawie szacowanej wysokości parowania, które można uzupełnić przez nawodnienie. Wadą tej metody jest uproszczenie oceny strat wody na odciek w głąb gleby. Wiąże się to z ryzykiem jej przesuszenia. Nigdy też nie wiadomo, w jakim stanie uwilgotnienia jest gleba i czy wilgotność jest optymalna dla danej rośliny.



Rys. 6. Skomplikowany bilans wody w glebie

Źródło: USDA

Ostatnią grupą metod są metody oparte na bezpośrednich pomiarach wilgotności gleby w strefie korzeniowej roślin (15, 22, 25). Pomiar pozwala ocenić w sposób jednoznaczny bieżącą wilgotność gleby, a zarazem deficyt wody w glebie. Umożliwia też utrzymywanie wilgotności ściśle w zakresie optymalnym dla danego gatunku i odmiany rośliny uprawnej. Pozwala również automatyzować nawadnianie na zadaną wilgotność docelową, przy czym dawkę można łatwo i precyzyjnie wyliczyć lub nastawić system na wyłączenie, gdy wilgotność gleby osiągnie zadaną wartość. W nowoczesnych systemach wspomagania nawodnień czujniki są instalowane na stałe w systemie korzeniowym i pomiar robiony jest w odstępach godzinowych, a wartości odczytuje się poprzez smartfony, które od razu przeliczają wilgotność na optymalną dawkę dla danego pola.

Do niedawna potrzeby nawodnień szacowano na podstawie obliczeń parowania z terenu i transpiracji roślin (ewapotranspiracja), jako części Klimatycznego Bilansu Wodnego liczonego jako różnicę między skumulowanym opadem a skumulowaną ewapotranspiracją w danym momencie czasu. Metoda ta została zaimplementowana w modelu FAO56. Niedostatki tej metody polegają na niedoskonałym odwzorowaniu strat wody przez perkolację w głąb profilu i nieuwzględnienie podpowierzchniowego spływu lateralnego (4, 5).

Obecnie dzięki postępowi w miniaturyzacji i elektronice, możliwe są precyzyjne pomiary rzeczywistego stresu wodnego roślin w danej glebie i dopasowanie optymalnej dawki nawodnieniowej dla danego gatunku rośliny i gleby.

### **Optimalizacja zużycia wody w nawodnieniach na podstawie pomiaru bezpośredniego. System ENORASIS**

W latach 2012–2014 zespół naukowców z IUNG-PIB i uniwersytetów europejskich wraz z firmami informatycznymi opracowywał innowacyjny system wspierania

decyzji dla nawodnień rolniczych ENORASIS oparty na najnowszych osiągnięciach technologicznych. Prace finansowała Komisja Europejska w ramach 7 Programu Ramowego i jego transzy finansowej Ekoinnowacja.

Na podstawie wywiadów z rolnikami, doradcami rolniczymi i przedstawicielami instytucji zarządzających wodą w różnych krajach Europy opracowano kryteria, jakie powinien spełniać docelowy system oraz określono sposoby prezentacji wyników użytkownikowi końcowemu (22).

Opracowany w następnych latach system posiadał 3 interfejsy użytkownika: GIS dla doradców rolniczych oraz dla rolników: stronę www i aplikację na smartfona pod systemem Android. System zapewniał wgląd w ustawienia stref nawodnieniowych, prognozę pogody oraz bieżącą i historyczną wilgotność gleby wraz z planem nawodnieniowym na najbliższe 3 dni, który uwzględniał prognozę pogody, w szczególności prawdopodobieństwo wystąpienia opadu.

Tworzony system informatyczny (22) określał potrzeby nawodnienia upraw na podstawie modeli matematycznych z wykorzystaniem bieżących warunków meteorologicznych, zdjęć satelitarnych, prognozy pogody na kolejne dni, a przede wszystkim pomiarów wilgotności gleby pod uprawą. Informacja o terminie i dawce wody potrzebnej do nawodnienia była przesyłana do rolnika przez sieć telefonii komórkowej za pomocą krótkiej wiadomości tekstowej (SMS). Jest ona również dostępna po zalogowaniu się na stronach systemu ENORASIS w Internecie oraz w aplikacji na telefony komórkowe.

Nowością systemu było wykorzystywanie bezprzewodowych sieci czujników wilgotności gleby, które przez sieć telefonii komórkowej przesyłają wyniki pomiarów wilgotności gleby bezpośrednio do platformy ENORASIS. O tym kiedy i ile nawadniać może decydować rolnik, jednak system daje również możliwość sterowania automatycznego z wykorzystaniem elektrozaworów współpracujących z siecią czujników wilgotności gleby.

System został przetestowany na 5 obiektach pilotażowych w Polsce (2), Serbii, Turcji i na Cyprze (tab. 1).

Tabela 1

Lokalizacja i główne charakterystyki wdrożeń pilotażowych systemu ENORASIS

| Wyszczególnienie      | Pilotaż 1               |           | Pilotaż 2        | Pilotaż 3         |                    | Pilotaż 4               |         | Pilotaż 5        |
|-----------------------|-------------------------|-----------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|---------|------------------|
| Kraj                  | Polska                  |           | Polska           | Serbia            |                    | Turcja                  |         | Cypr             |
| Roślina doświadczalna | ziemniak                | kukurydza | malina           | jabłoń (Breaburn) | czereśnia (Burlat) | kukurydza               | bawełna | grejfrut         |
| Typ wdrożenia         | doświadczenie poletkowe |           | pole produkcyjne | pole produkcyjne  |                    | doświadczenie poletkowe |         | pole produkcyjne |

Testowe obiekty pilotażowe wyposażono w bezprzewodową sieć czujników wilgotności gleby, automatyczną stację meteorologiczną oraz serwis numerycznych prognoz pogody przygotowywanych dla tych lokalizacji (rys. 7 i 8).

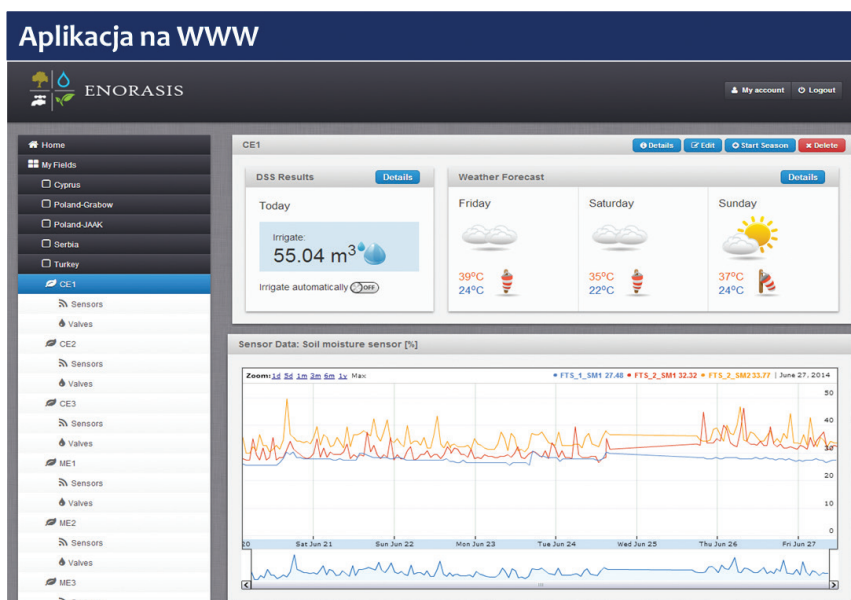


Rys. 7. Czujniki bezprzewodowe ENORASIS na polu ziemniaka (fot. R. Wawer)



Rys. 8. Czujniki zainstalowane na stałe w strefie korzeniowej ziemniaka (fot. R. Wawer)

Kontrola systemu nawadniania w obiektach pilotażowych była możliwa przez aplikację ENORASIS działającą w przeglądarce internetowej oraz aplikację mobilną na telefony z systemem Android (rys. 11). Sterowanie zaworami również odbywało się przez aplikację Android (rys. 9).

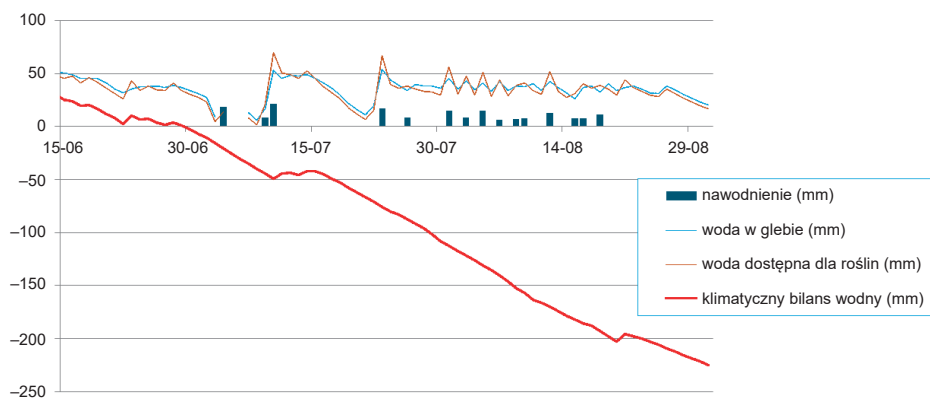


Rys. 9. Widok strony ENORASIS z dawką nawodnieniową, prognozą meteo i historią pomiarów dla każdego pola w gospodarstwie (fot. R. Wawer)

W pierwszym roku prowadzono dwa poziomy nawodnień: brak nawodnienia i nawadnianie optymalizowane przez ENORASIS. W Grabowie w 2013 r. nawadnianie według systemu ENORASIS doprowadziło do wzrostu plonów kukurydzy o 61%, a ziemniaka o 110% w porównaniu z obiektem bez nawadniania (rys. 12). Wyniki doświadczenia polowego w Grabowie wskazują również, że zastosowanie nawodnienia wpłynęło na poprawę jakości plonów badanych roślin. Zwiększył się udział suchej masy w kolbach kukurydzy oraz wzrosła masa tysiąca ziaren. W przypadku ziemniaka zmniejszyło się porażenie przez choroby (rys. 13) oraz znacznie wzrósł udział plonu przeznaczonego na konsumpcję (rys. 14). Obniżono przy tym koszty eksploatacyjne systemu nawodnieniowego i zużycie wody (rys. 15). Nawadnianie pozwoliło w konsekwencji na znaczne zwiększenie opłacalności uprawy badanych roślin (rys. 16).

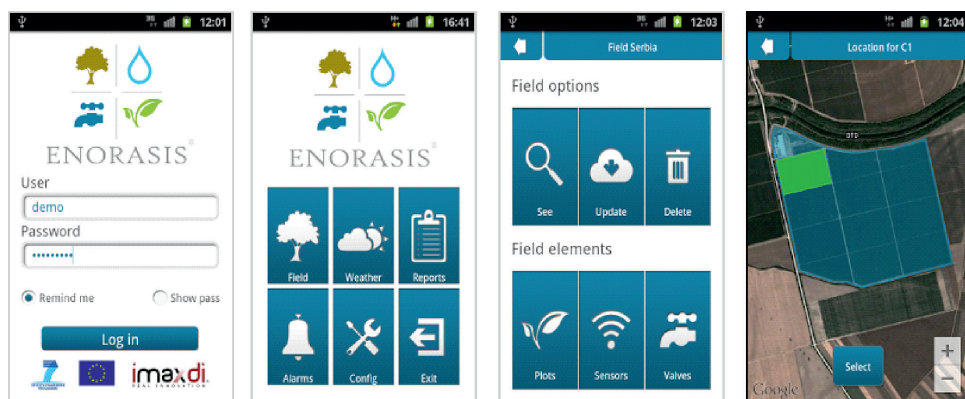
Jak widać na rysunku 10, w roku 2013 już od połowy lipca wystąpił znaczny deficyt opadu w stosunku do intensywności parowania. Niedobory wody były na bieżąco uzupełniane na podstawie odczytów z czujników wilgotności gleby. Dobór dawki oparto na zaawansowanych modelach matematycznych uwzględniających optymalne dla danej rośliny uwilgotnienie gleby, jak i parametry gleby.

W roku 2014 wprowadzono 3 poziomy nawodnień – bez nawodnienia (najczęstsza w Polsce praktyka dla ziemniaka i kukurydzy), podlewanie na parowanie maksymalne (standard stosowany w istniejących systemach wspierania decyzji), podlewanie optymalizowane według wilgotności gleby i preferencji rośliny.

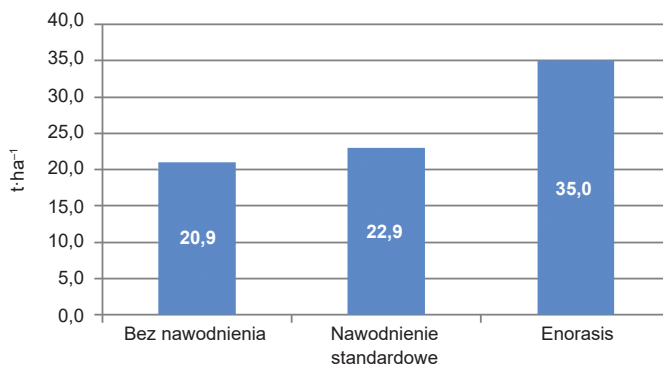


Rys. 10. Wpływ nawodnienia ENORASIS na dostępność wody dla ziemiaka w RZD Grabów w sezonie 2013

Źródło: opracowanie własne

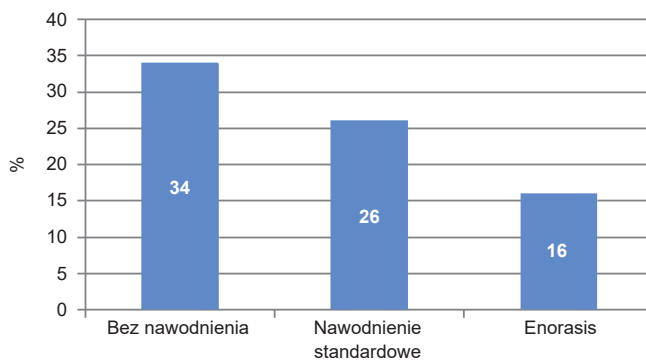


Rys. 11. Widok interfejsu Android systemu ENORASIS (fot. R. Wawer)



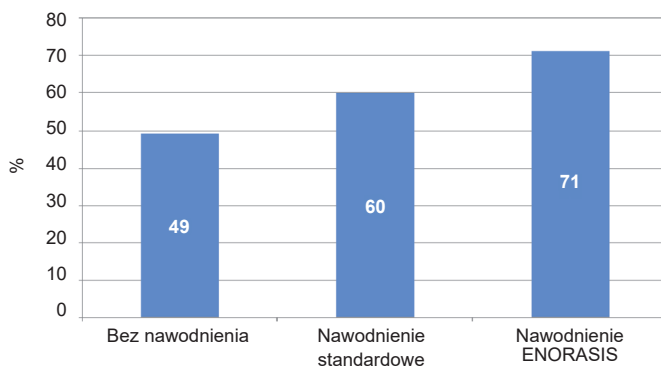
Rys. 12. Plon ziemiaka w roku 2014

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB



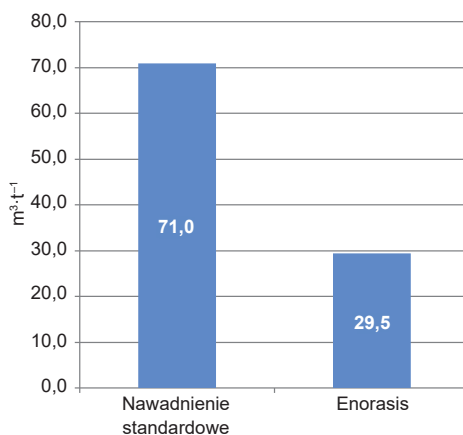
Rys. 13. Udział bulw dotkniętych chorobami w roku 2014

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB



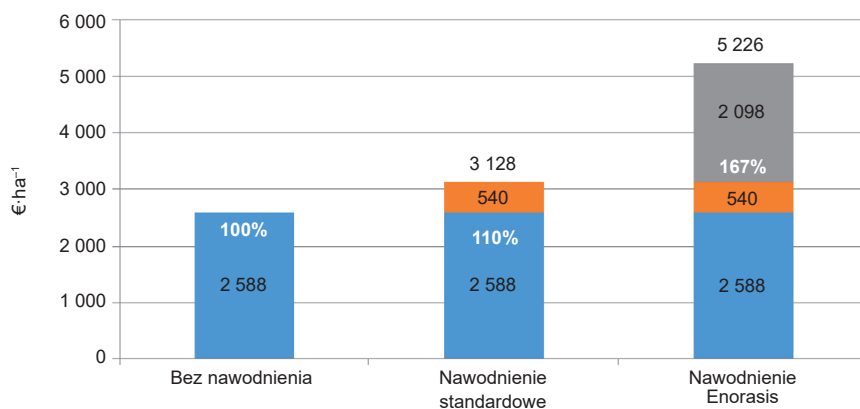
Rys. 14. Udział bulw do bezpośredniej konsumpcji w roku 2014

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB



Rys. 15. Zużycie wody na tonę plonu ziemniaka w roku 2014

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB



Rys. 16. Przychód z plantacji ziemniaka w zależności od systemu nawadniania w roku 2014

Źródło: opracowanie własne IUNG-PIB

System przetestowano również na plantacji maliny wczesnej i maliny jesiennej. Plantacja testowa położona była na płytkich glebach piaszczystych zalegających na zeszczelinowanym marglu. Układ gleby powodował bardzo szybką odciekalność profilu. Według relacji właściciela plantacji i jego pracowników nigdy nie zdarzyło się, by osiągnięto na tej glebie pełne wysycenie wodą – nigdy nie zaobserwowano zastoisk wody na powierzchni gleby.

Po zainstalowaniu czujników wilgotności gleby, określeniu gatunku gleby oraz głębokości strefy korzeniowej malin skonfigurowano system oraz podłączono elektrozawory do źródła wody. Dzięki zastosowaniu bezpośredniego pomiaru wilgotności gleby w strefie korzeniowej maliny, udało się osiągnąć 10-krotne (!) zmniejszenie zużycia wody przy braku wpływu na plon. Według relacji właściciela plantacji owoc miał nieco lepsze parametry jakościowe, a same rośliny były dużo zdrowsze.

Na zakończenie projektu ENORASIS przeprowadzono szereg warsztatów z rolnikami i doradcami rolniczymi. Wyrażali się oni bardzo entuzjastycznie o możliwościach systemu, jak i o dużych oszczędnościach w zużyciu wody, a także podkreślali wzrost plonów i polepszenie ich jakości. Jednak według opinii większości zainteresowanych cena sieci czujników i zaworów ENORASIS oraz abonamentu prognozy pogody była stanowczo za wysoka.

### System Aquastatus

System Aquastatus powstał jako uproszczona, a zatem mniej kosztowna alternatywa dla ENORASIS. System został opracowany przez polską firmę i w całości był produkowany w Polsce. Aquastatus jest przeznaczony do określania optymalnych dawek nawodnienia na podstawie pomiarów wilgotności gleby i wyświetlania zaleceń w aplikacji na smartfon z systemem Android (rys. 17). Aby zejść do ceny końcowej

dostosowanej do możliwości nawet małych gospodarstw rolnych, system ten pomija koszty związane z interfejsem i abonamentami innych usług.

Wilgotność gleby jest mierzona za pomocą czujników zainstalowanych na stałe w strefie korzeniowej roślin (rys. 18). Dane z czujników wysyłane są raz na godzinę do koordynatora pola (centralki) drogą radiową. Rolnik za pomocą swojego telefonu komórkowego odczytuje dane z pola, łącząc się z centralką przez protokół Bluetooth. Aplikacja na telefonie komórkowym pokazuje wilgotność gleby na danym polu oraz dostarcza zalecenia dawek nawodnieniowych (rys. 19).

Zalecana dawka nawodnieniowa jest dopasowana do gleby i rośliny dla zapewnienia optymalnego wzrostu roślin i plonu przy minimalnym zużyciu wody.

Bezprzewodowe czytniki podłączone do 2 czujników  
umieszczonych w glebie

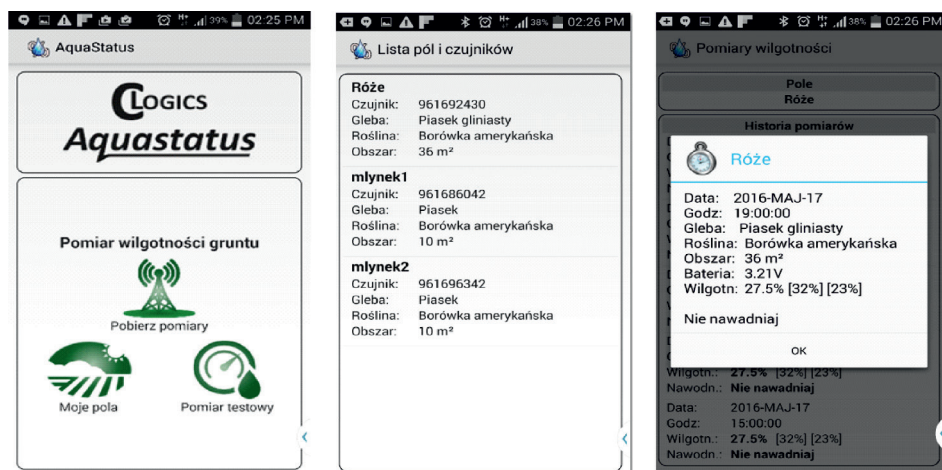


Rys. 17. Schemat systemu Aquastatus

Źródło: opracowanie własne



Rys. 18. Zestaw podstawowy Aquastatus na jedną sekcję nawodnieniową (fot. R. Wawer)



Rys. 19. Aplikacja Aquastatus pod Andoridna na przykładowym poletku testowym pod przydomową uprawą róż (fot. R. Wawer)

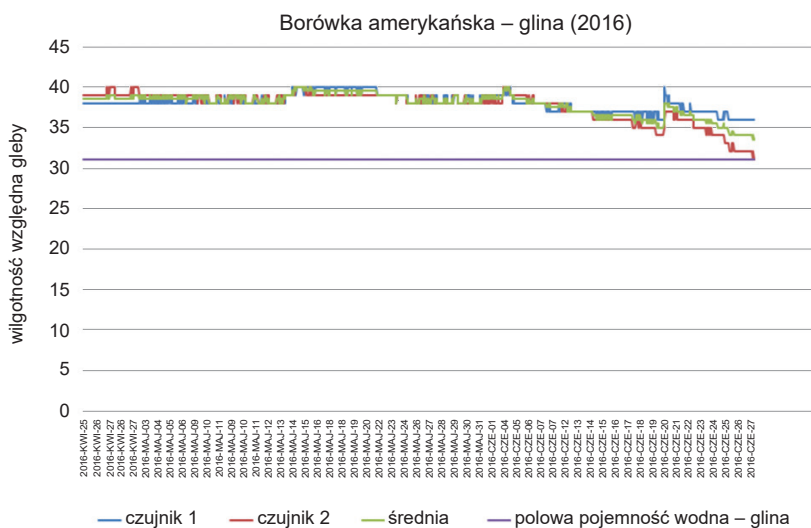
Aquastatus był testowany w latach 2014–2015 na kilku polach testowych i produkcyjnych, m.in.: borówki amerykańskiej (16 ha) (rys. 20), porzeczek czerwonej deserowej (4 ha) (rys. 21), maliny wczesnej (5 ha) i jesiennej (4 ha). Obecnie jest używany w kilku innych plantacjach borówki, maliny i w sadzie jabłoniowym. W roku 2015 plantatorzy doświadczyli niedoborów wody do nawodnień (12). Zastosowanie Aquastatus na plantacjach pozwoliło na zróżnicowanie nawadniania poszczególnych sekcji tak, by nawadniane były tylko sekcje zagrożone przesuszeniem. W przypadku borówki okazało się, że dzięki korzystnemu układowi terenu, jedna z sekcji w ogóle nie musiała być nawadniana (rys. 22), co pozwoliło na oszczędzenie wody na podlewania 2 pozostałych sekcji, w tym jednej bardzo zagrożonej przesuszeniem (rys. 23).



Rys. 20. Widok na sekcje borówki amerykańskiej obsługiwane przez system Aquastatus (fot. R. Wawer)

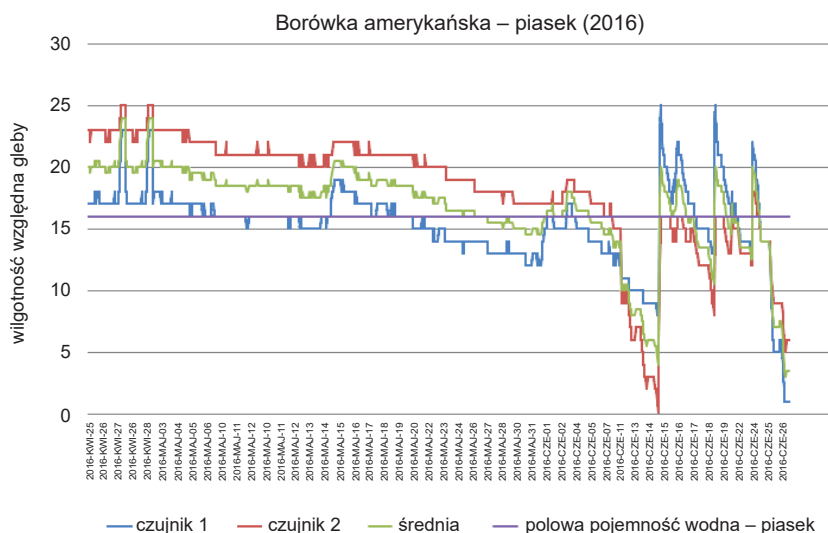


Rys. 21. Aquastatus na plantacji porzeczek deserowej (gleby piaszczyste na marglu) (fot. R. Wawer)



Rys. 22. Monitoring wilgotności na sekcji borówki amerykańskiej niewymagającej nawadniania (glina w podglebiu)

Źródło: wydruk z danych Aquastatus; opracowanie R. Wawer



Rys. 23. Monitoring wilgotności gleby na sekcji borki amerykańskiej wymagającej nawodnienia (piasek w całym profilu; skoki wilgotności odpowiadają nawodnieniu)

Źródło: wydruk z danych Aquastatus; opracowanie R. Wawer

### Uwagi końcowe

W ostatnich latach w Polsce obserwuje się ocieplenie klimatu. Powtarzające się susze są według klimatologów załedwie zapowiedzią katastrofalnych susz, których będziemy doświadczać w niedalekiej już przyszłości (12). Według scenariuszy IPCC (6, 9, 18, 20) częstość występowania katastrofalnych susz 100-letnich na naszym obszarze zwiększy się ponad 10-krotnie, więc możemy się spodziewać ekstremalnie katastrofalnych susz już nie co 100 lat, a co 8–9. Podobnie przewiduje się, że nasilenie tych susz wzrośnie o 25%.

Bez racjonalnego gospodarowania wodą na poziomie gospodarstwa rolnicy nie będą w stanie poradzić sobie z zapewnieniem wody w ciągu całego sezonu wegetacyjnego – o ile scenariusze się potwierdzą. Same oszczędności wody w gospodarstwach indywidualnych mogą okazać się niewystarczające, jeśli jej zabraknie w całej okolicy. Tu należałoby wreszcie ruszyć programy tworzenia małej retencji na obszarach wiejskich i opracować monitoring dostępności wód powierzchniowych i gruntowych dla rolnictwa. Zespół, który pracował nad systemem ENORASIS w IUNG-PIB zgłosił już wnioski projektowe mające na celu opracowanie systemu monitoringu dostępności wody w gminach rolniczych.

Jak wspomniano wyżej, w 2015 r. w 2 monitorowanych gospodarstwach prawie zabrakło wody. W 2016 r. ta sytuacja się powtórzyła. Jeśli po wodę sięgną również sąsiednie gospodarstwa, a może się to okazać nieuniknione, intensywne pobieranie wody z wód gruntowych czy powierzchniowych może spowodować, że nikt

w okolicy nie będzie mógł zapewnić wody dla upraw przez cały sezon. Odnawianie zasobu wód gruntowych trwa długo: miesiące i lata (głębsze poziomy wodonośne, np. te eksploatowane przez wodociągi, mogą się odnawiać przez dziesięciolecia), a wobec braku zbiorników małej retencji i coraz rzadszego występowania śnieżnych zim odnowa zasobów wodnych może trwać jeszcze dłużej.

Aby móc efektywnie zarządzać jakimkolwiek zasobem, jego użytkownik powinien mieć ciągły dostęp do informacji, wielkości i jakości tego zasobu. Według badań Tredera (26) bardzo niewielki odsetek nawadniających rolników stosuje jakiekolwiek systemy wspierania decyzji do określenia terminów i dawek nawadniania. Jeszcze mniej jest rolników monitorujących zużycie i wielkość zasobów dostępnej wody.

Niekontrolowany i de facto ukryty pobór wód w ramach zwykłego korzystania z nich, przewidziany w Prawie wodnym, obejmujący deklaracyjny limit 5 m<sup>3</sup> na dobę średniorocznie (w sumie 1825 m<sup>3</sup> na rok), może doprowadzić do degradacji zasobów wód gruntowych, jak to się stało w Hiszpanii (2, 3, 28), gdzie połowa zasobów jest zdegradowana według stanu na rok 2006 (!). Strategiczne dokumenty, jak np. Program Przeciwdziałania Niedoborowi Wody (PPNW), kształtują ramy gospodarki wodnej na przyszłe lata na bieżącym rejestrowanym poborze (około dwustu ujęć zarejestrowanych w pozwoleniach wodno-prawnych w skali kraju), nie uwzględniając poboru rzeczywistego. Cała strategii opiera się więc na założeniu minimalnego poboru wód przez rolnictwo, co nie jest zgodne ze stanem faktycznym. Podobnie układanie scenariusza na założeniu, że pobór pozostanie w następnych latach ten sam jest nieracjonalny, ponieważ według szacunków rolnicy najprawdopodobniej będą zmuszeni do wprowadzania nawodnień jako podstawowej praktyki adaptacji do zmieniającego się klimatu (26).

## Literatura

1. A l i M.H.: Fundamentals of Irrigation and on-Farm Water Management. Volume 1. Springer, 2010, pp. 560. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4419-6335-2.pdf>, doi: 10.1007/978-1-4419-6335-2
2. B a k e r S.: Spain's vast network of illegal wells exposed after death of toddler. Deutsche Welle (DW), 2019. <https://www.dw.com/en/spains-vast-network-of-illegal-wells-exposed-after-death-of-toddler/a-47311150>
3. B a r e a L u c h e n a J.: Los pozos ilegales nos roban el agua. Greenpeace, 2018. <https://es.greenpeace.org/es/noticias/los-pozos-ilegales-nos-roban-el-agua/>
4. B u r t o n M.: Irrigation Management: Principles and Practices. Wyd. CPI, 2010, pp. 375.
5. D o n e e n L.D., W e s t c o t D.W., I t a l c o n s u l t S.p.A., Rome (Italy): Irrigation Practice and Water Management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 1, Revision 1, 1984.
6. EEA, 2017: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA report 1/2017, pp. 424. <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>.
7. 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).
8. EIP-AGRI, 2019: Seminarium EPI-AGRI – Wielopoziomowe strategie cyfryzacji rolnictwa i obszarów wiejskich. Raport końcowy, ss. 24.

9. 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.): 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, 2012, pp. 582. [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)
10. Gelb E., Maru A., Brodgen J., Dodsworth E., Samii R., Pesce V.: Adoption of ICT Enabled Information Systems for Agricultural Development and Rural Viability. The AFITA, IAALD and WCCA Conference in Atsugi Japan, Pre-Conference 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)
11. Hubbard N., Zarco-Tejada P.J., Loudjani P.: 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, 2014, pp. 57.
12. IUNG-PIB, 2006. Monitoring Suszy, IUNG-PIB: <http://susza.iung.pulawy.pl>
13. Kordowska M., Baranowski M., Pisarek J., Ziemacki Z., Wawer R., Czech T.: ROLNICTWO 4.0. Identyfikacja trendów technologicznych., Wyd. NCBiR, 2023, pp. 91. ISBN 978-83-967832-1-9
14. Kozyra J., Król-Badziak A., Żyłowski T., Koza P., Pudełko R.: 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>
15. Kozyra J., Wawer R.: Nawadnianie z wykorzystaniem pomiarów wilgotności gleby. Szydłów 26.10.2016.
16. Liaghat S., Balasundram S.K.: A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 2010, **5(1)**: 50-55, doi: 10.3844/ajabssp.2010.50.55.
17. Ministerstwo Cyfryzacji, 2019. IoT w polskiej gospodarce. Raport grupy roboczej do spraw Internetu Rzeczy przy Ministerstwie Cyfryzacji, ss. 112.
18. Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (red.): 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.
19. Schrijver R., Poppe K., Dewar D., Kempenaar C., Lokhorst K., Bogaardt M.J., van der Wal T., De Baerdemaker J., Quinn J.: Precision Agriculture and the Future of Farming in Europe. Technical Horizon Scan, European Parliamentary Research Service, PE 581.832, 2016, ss. 274.
20. 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.): 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, 2013, pp. 1535, IPCC. [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_Frontmatter\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf)
21. Stuczynski T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyzsyn J., Koza P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.
22. Syropoulou P., Symeonidou M., Tekes S., Wawer R., Kazantzidis A., Crnojevic V., Bruggeman A.: Developing an intelligent ICT system for environmentally optimized irrigation management in agriculture. Journal of Agricultural Informatics, 2017, **8(2)**: 22-32.

- 
23. T z o u n i s A., Katsoulas N., Bartzanas T., Kittas C.: Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 2017, **164**: 31-48.
  24. W a w e r R.: Mapa rozwoju rynków i technologii dla obszaru rolnictwa inteligentnego (Smart Farming), Wyd. PARP, 2019, ss. 104.
  25. W a w e r R., Matyka M., Łopatka A., Kozyra J.: Systemy wspomagania decyzji w nawodnieniach upraw rolniczych. W: *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*, W. Dembek, J. Kuś, M. Wiatkowski, G. Żurek (red.), Wyd. CDR w Brwinowie, 2016, ss. 165-182. ISBN: 978-83-88082-18-4
  26. T r e d e r W., Szymczak T., Wawer R.: Raport końcowy z pilotażu tworzenia lokalnych partnerstw ds. wody (LPW). Wyd. CDR w Brwinowie, 2021, ss. 260.
  27. W o l f e r t S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.J.: Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 2017, **153**: 69-80; doi: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.
  28. WWF, 2006. Illegal water use in Spain. Causes, effects and solutions, 2006. WWF/Adena, pp. 20.
- 

Adres do korespondencji:

*dr hab. inż. Rafał Wawer, prof. IUNG-PIB*  
*Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów*  
*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 773*  
*e-mail: Rafał.Wawer@iung.pulawy.pl;*

---

AUTOR  
Rafał Wawer

ORCID  
0000-0001-9266-9577