



Wyniki badań i rezultaty projektu
„Innowacje organizacyjne
technologiczne oraz marketingowe w
zakresie optymalizacji nawożenia i
nawadniania przy użyciu danych
satelitarnych” w ramach grupy
operacyjnej Satagro



Spis treści:

1. WSTĘP	3
2. SKŁAD KONSORCJUM.....	6
3. HARMONOGRAM REALIZACJI PROJEKTU	7
4. PRACE TERENOWE	8
4.1 Metodyka badań	8
4.2 Wyniki	17
5. PRACE KONCEPTUALNE I INFORMATYCZNE	20
5.1 Metodyka badań	20
5.2 Wyniki	22



1. WSTĘP

Zbyt wysoki poziom nawożenia jest problemem często podnoszonym na poziomie Unii Europejskiej, czego efektem między innymi jest dyrektywa azotanowa, która istotnie ogranicza możliwości nawożenia azotem, co w konsekwencji pozwala na zmniejszenie eutrofizacji wód i emisji gazów cieplarnianych. Optymalizacja nawadniania (nawadnianie precyzyjne) również ma ogromny, pozytywny wpływ na ochronę środowiska poprzez redukcję ilości zużywanej wody, której dostępność w obliczu zmian klimatycznych na wielu obszarach kraju będzie malała. Mniejsze zużycie wody na nawadnianie chroni przyrodę, ponieważ więcej wody zostaje w środowisku naturalnym. Jest to przykład nowoczesnego podejścia do ochrony środowiska, polegającego na redukcji zasobów wykorzystywanych ze środowiska naturalnego, bez ekstensyfikacji prowadzonej uprawy i redukcji plonu. Działanie tego typu są niezbędne między innymi w celu ograniczenia odpływu azotu do Morza Bałtyckiego i rozwoju sinic.

Roľnictwo jest sektorem w dużym stopniu narażonym na zmiany klimatu. Biorąc pod uwagę czynniki związane z ilością opadów takie jak zwiększenie stosunku sumy opadów zimowych do sumy opadów w okresach ciepłych, czyli tych kiedy ze względu na wegetację roślin i roľnictwo jest ona najbardziej potrzebna, wydłużenie okresów bezopadowych, przy jednoczesnym zwiększaniu intensywności opadów w pozostałych okresach, zmniejszenie ilości śniegu, który jest podstawą odnawiana zasobów wód gruntowych i częstsze występowanie deszczy w okresie zimowym (Komunikat 01/2020 Interdyscyplinarnego Zespołu doradczego do spraw kryzysu klimatycznego przy Prezesie PAN na temat zmiany klimatu i gospodarki wodnej w Polsce), zapotrzebowanie na wodę w roľnictwie będzie rosło. Kluczowe jest więc optymalne wykorzystanie zasobów wodnych w roľnictwie. Zmiany klimatyczne wymuszają istotne zmiany w agrotechnice czy prowadzonych uprawach. Dla przykładu, ocieplenie klimatu powoduje częstsze występowanie braków odpowiednich opadów, co przekłada się na konieczność nawadniania w celu utrzymania tego samego poziomu plonowania. Nawadnianie te może zostać zoptymalizowane w celu zużywania mniejszej ilości wody lub wyrównania pewnych aspektów technicznych roślin, takich jak kalibrą bulw ziemniaka. Natomiast optymalizacja dawki nawożenia to bardzo skuteczny sposób łagodzenia skutków zmian klimatu w uprawie oleistych czy zbóż. W łatwy sposób można wysiać nawóz w większych dawkach tylko w tych miejscach, gdzie sugeruje to bardziej rozwinięta wegetacja roślin, wynikająca między innymi z większej zasobności w wodę.

Precyzyjne nawadnianie i stosowanie środków wykorzystywanych w produkcji rolnej, dostosowane do faktycznego zapotrzebowania jest skutecznym sposobem umożliwiającym realizację strategii Komisji Europejskiej. Efektywne narzędzia w tym zakresie mogą stanowić rozwiązania pozwalające na automatyczne generowanie map nawadniania i usprawniające skuteczność map do precyzyjnego nawożenia.

W wyniku planowanej operacji będzie można automatycznie optymalizować zabiegi agrotechniczne z poziomu aplikacji, uwzględniając odchylenia od normy wynikające z różnic w parametrach siedliska, w tym dostępność wody. Co więcej, powszechne stosowanie tego typu rozwiązań może ograniczyć emisję gazów cieplarnianych, co przekłada się na ograniczanie zmian klimatycznych. Projekt wynikał z potrzeb ograniczania kosztów produkcji, emisji gazów cieplarnianych, zużywania wody oraz automatyzacji procesów zarządzania w gospodarstwach roľnych czy poprawienia pozycji wizerunkowej i marketingowej podmiotów, które optymalizują zużycie wody oraz nawozów przy pomocy nowoczesnych technologii. W publikacjach naukowych zwraca się uwagę na znaczny wpływ stosowania automatyzacji, robotyzacji i innych udogodnień na efektywniejszą produkcję żywności, natomiast usprawnienie procesów technologicznych jest istotnym działaniem pozwalającym na efektywniejsze zmiany oraz szybszy rozwój roľnictwa.



W niniejszym opracowaniu prezentowane są wyniki badań i rezultaty projektu **„Innowacje organizacyjne technologiczne oraz marketingowe w zakresie optymalizacji nawożenia i nawadniania przy użyciu danych satelitarnych”**. Projekt realizowany był w okresie 01.01.2021 r. - 31.12.2022 r. przez grupę operacyjną „SatAgro” składającą się z rolników, podmiotów doradczych oraz przedsiębiorstwa specjalizującego się w tworzeniu narzędzi i świadczeniu usług wykorzystujących dane satelitarne dla sektora rolniczego.

Celem głównym operacji było wytworzenie innowacji organizacyjnych oraz technologicznych w zakresie nawożenia i nawadniania, które poprawią wyniki gospodarstw w zakresie opłacalności produkcji, ochrony środowiska oraz łagodzenia skutków zmian klimatu.

Cele szczegółowe operacji obejmowały:

- wytworzenie rozwiązania pozwalającego na automatyczne generowanie map nawadniania,
- usprawnienie skuteczności map do precyzyjnego nawożenia,
- innowacje organizacyjne polegające na automatyzacji zarządzania nawożeniem oraz nawadnianiem pól.

Innowacje będące przedmiotem zrealizowanej operacji posiadają szereg cech pozwalających na ich wyróżnienie i na określenie atrybutów świadczących o ich wyraźnie ulepszonym lub nowym charakterze.

Nowa innowacja technologiczna – dotyczy przede wszystkim nawadniania. Nie ma aktualnie podmiotów oferujących tego typu technologię na rynku w Polsce. Zmiana jakościowa polegała na: Wytworzeniu prototypu pozwalającego na automatyczne generowanie map nawodnienia ze zmienną dawką nawadniania na podstawie danych i preferencji użytkownika: liczby przedziałów dawki nawadniania, średnią planowaną wartość nawadniania, rodzaj rośliny, typ źródła mapy (zdjęcia satelitarne, strefy), producent maszyny, maszyna, terminal.

Ulepszona innowacja technologiczna – dotyczy przede wszystkim nawożenia. Cechami jakościowymi wyróżniającymi tę innowację są: nowe bądź ulepszone współczynniki kalibracji danych satelitarnych, nowe bądź ulepszone współczynniki kalibracji dla roślin uprawnych, nowe współczynniki kalibracji względem standardowych N-testerów.

Nowa innowacja organizacyjna polegała na stworzeniu stref opłacalności nawadniania. Jest to rozwiązanie przenoszące część funkcjonalności karty pola w etap cyfrowy – całkowicie pionierskie jest jednak zastosowanie tego typu rozwiązań w odniesieniu do nawadniania. W ramach tej innowacji ma powstał interfejs dostępny na stronie Satagro, w którym użytkownik może sprawdzić aktualną opłacalność nawadniania w poszczególnych strefach pola na podstawie następujących atrybutów: zbierany plon, dawka nawadniania, koszt wody, koszt dostarczenia energii, cena zbieranego plonu. Ponadto możliwe jest tworzenie symulacji opłacalności przy założeniu różnych strategii nawadniania.

Ulepszona innowacja organizacyjna polega na stworzeniu stref opłacalności nawożenia. Użytkownik może za pomocą interfejsu na stronie SatAgro oszacować lub sprawdzić opłacalność nawożenia na podstawie takich cech jak dawka nawożenia, cena nawozu, plon, cena plonu, koszt wykonania zabiegu. Dzięki temu użytkownik może dowiedzieć się w jakich obszarach pola należy ograniczyć nawożenie, a w skrajnych przypadkach nawet zrezygnować z niego, tak aby ograniczyć straty finansowe i środowiskowe.

Ważnym elementem powyższej innowacji w zakresie planowania zabiegów precyzyjnych i oceny ich efektywności jest ułatwienie tworzenia instrukcji precyzyjnego nawożenia azotem, polegające na opcji



automatycznej konwersji sygnału satelitarnego na dawkę azotu. Jest to rezultat prac badawczych i wdrożeniowych.

W celu wytworzenia innowacji prowadzone były badania polegające na weryfikacji alternatywnych strategii nawożenia poprzez analizę zastosowanych dawek i danych o plonowaniu pozyskanych przez kombajn, które pozwoliły na szybkie i iteracyjne dopracowywanie metod. Należy zaznaczyć, że mapy plonowania dopiero od niedawna są dostępne w jakości pozwalającej na ich zastosowanie w rygorystycznej analizie. Technologia ta umożliwia gospodarstwom realizację rzetelnych eksperymentów terenowych i weryfikowanie hipotez celem zwiększenia efektywności, co zostało zademonstrowane w projekcie. Dokonano również sprawdzenia skuteczności zastosowania wskaźników innych niż NDVI w różnicowaniu dawek.

Prezentowane Państwu opracowanie dedykowane między innymi do rolników posiadających odpowiednią skalę działalności, aby wdrożyć nowoczesne rozwiązania w zakresie rolnictwa precyzyjnego oraz dużych podmiotów dołączających oferty cyfrowych usług do swojej podstawowej działalności. Wartościowe informacje znają też podmioty doradcze i pozostałe podmioty z sektora rolniczego.



2. SKŁAD KONSORCJUM

Grupa operacyjna „SatAgro” w ramach działania „Współpraca” objętego PROW na lata 2014-2020:

- LIDER – podmiot doradczy: Łukasz Czech AgroWe,
- Przedsiębiorca MŚP: Satagro sp. z o.o.,
- Rolnicy: Łukasz Kownacki, Iwona Czech, Sławomir Czech, Zdzisław Chmielewski, Alina Faustyna Chmielewska, Katarzyna Patrycja Chmielewska, Gospodarstwo Rolno-Warzywnicze Wojciech Dębkowski, Gospodarstwo Rolne Jędrzej Dębkowski, Karol Chmielewski,
- Podmiot doradczy: Mateusz Tołłoczko AgVisor.

Szeroki skład konsorcjum – producenci rolni, doradcy czy przedsiębiorca gwarantował skuteczne tworzenie nowych powiązań i sieci kontaktu, które znacznie przyspieszyły rozpowszechnianie informacji o realizowanej operacji. Przyspieszenie procesu adaptacji nowoczesnych technologii w rolnictwie wymaga dużej wiedzy, zrozumienia procesów zachodzących w gospodarstwach rolnych oraz znajomości czynników, które mają wpływ na decyzje podejmowane przez rolników. Z tego względu w projekcie założono współpracę podmiotów z różnych sektorów. Grupę operacyjną tworzą podmioty doradcze, rolnicy i przedsiębiorca. Kluczowa rola w realizacji operacji przypadła przedsiębiorstwu SatAgro sp. z o.o., które specjalizuje się w tworzeniu narzędzi i świadczeniu usług wykorzystujących dane satelitarne dla sektora rolniczego. Firma pełni funkcję łącznika pomiędzy dynamicznie rozwijającym się sektorem obserwacji satelitarnych a grupą przedsiębiorstw rolnych. Jej usługi umożliwiają dostęp do produktów działających na podstawie obserwacji satelitarnych NASA, ESA oraz szerokiej grupy prywatnych operatorów w połączeniu z danymi ze stacji meteorologicznych i modelami pogody. SatAgro prowadzi także projekty badawcze i konsultacje w zakresie monitoringu zbioru roślin uprawnych, rozpoznawania upraw, prognozowania plonów oraz szacowania strat. Natomiast rolnicy wchodzący w skład konsorcjum prowadzą nowoczesną produkcję rolną i posiadają wieloletnie doświadczenie w zakresie rolnictwa. W ramach operacji gospodarstwa rolne odpowiedzialne były za prowadzenie zabiegów agrotechnicznych i zbiorów roślin w ustaleniu z konsorcjum. Dzięki ich wsparciu merytorycznym w zakresie produkcji rolnej oraz udziału w wywiadach focusowych i indywidualnych możliwe było przeprowadzenie badań, których wyniki przełożyły się na wytworzenie innowacji, które w jak największym stopniu odpowiadają potrzebom rolników. Współpraca wszystkich członków grupy operacyjnej pozwoliła na opracowanie praktycznego rozwiązania cyfrowego, które z powodzeniem może zostać zastosowane przez rolnika.



3. HARMONOGRAM REALIZACJI PROJEKTU

I kwartał 2021

- prace przygotowawcze związane z zabiegami agrotechnicznymi i eksperymentami w terenie.

II-III kwartał 2021

- zdobycie i analiza szeregu danych terenowych,
- realizacja prac programistycznych nad algorytmami i prototypami rozwiązań wspierających zabiegi precyzyjnego nawożenia i nawadniania.

IV kwartał 2021

- kontynuowanie prac analityczno-programistycznych w zakresie algorytmów, które pozwoliły na ocenę zapotrzebowania uprawy na azot, pojemności wodnej gleby, a także deficytu wodnego.

I kwartał 2022

- realizacja prac programistycznych nad serwisem SatAgro, które dostosowały serwis do implementacji prototypów nowych narzędzi wspierających zabiegi precyzyjnego nawożenia i nawadniania, a następnie zaimplementowały te prototypy w dostosowanym do nich środowisku back-endu serwisu SatAgro.

II-IV kwartał 2022

- walidacja nowych metod i narzędzi, także w kontekście powiększonego w trakcie sezonu zestawu danych terenowych,
- prace programistyczne implementujące innowacyjne metody i narzędzia w serwisie SatAgro.



4. PRACE TERENOWE

4.1 Metodyka badań

Cel

Głównym celem badania było stworzenie spójnej geo-bazy danych, uporządkowującej dane w przestrzeni i czasie i umożliwiającą optymalne przeprowadzenie analizy danych.

Teren badań

Badania prowadzone były w gospodarstwach zlokalizowanych w województwie lubelskim (powiat Parczewski), podlaskim (powiat Bielski), pomorskim (powiat Sztumski) i mazowieckim (powiat Warszawski Zachodni).

Ilustracja poniżej pokazuje lokalizację gospodarstw oraz punktów pobrania prób w terenie, w podziale na dwa sezony badań.



Przedmiot badań

W ramach poszczególnych gospodarstw badano następujące uprawy na poszczególnych powierzchniach:

Gospodarstwo Rolne Zdzisław Chmielewski:

Bobik: 54,48 ha,



Pszenica ozima – 58,4 ha,

Rzepak ozimy – 36,17 ha,

Buraki cukrowe – 41,17 ha

Gospodarstwo Rolne Alina Chmielewska:

Bobik: 17,78 ha,

Pszenica ozima 51,65 ha,

Rzepak ozimy 44,62 ha,

Burak cukrowy: 32,37 ha

Gospodarstwo Rolne Katarzyna Chmielewska:

Pszenica ozima: 10,79 ha,

Buraki cukrowe 9,62 ha

Gospodarstwo Rolno-Warzywnicze Wojciech Dębkowski i Gospodarstwo rolne Jędrzej Dębkowski:

122,58 ha – ziemniaki (ok 40 ha), pszenica ozima, kukurydza, buraki cukrowe, rzepak ozimy, jęczmień jary

Gospodarstwo Rolne Łukasz Kownacki (26,61 ha) – pszenżyto, pszenica, rzepak ozimy, jęczmień kukurydza

Łukasz Czech Agrowe, Gospodarstwo Rolne Sławomir Czech, Gospodarstwo Rolne Iwona Czech – jęczmień ozimy, jęczmień jary, pszenica ozima, pszenica jara, rzepak ozimy, pszenżyto ozime, żyto, owies

Zakres badań

Zostało przeprowadzonych 6 kampanii pomiarowych: w maju (pszenica, rzepak), w czerwcu (pszenica, rzepak, burak cukrowy), w lipcu (pszenica, rzepak, burak cukrowy); w sierpniu (burak cukrowy), we wrześniu i w październiku (burak cukrowy), począwszy od momentu strzelania w źdźbło pszenicy, a kończąc na zbiorach buraka cukrowego. Terminy były zbieżne z kluczowymi fazami rozwojowymi: pszenica: BBCH 31 (pierwsze kolanko); BBCH 55 (kłoszenie widoczne na 50% kłosa) oraz BBCH 91 (dojrzałość pełna); rzepak: faza rozety, początek pąkowania oraz dojrzałość technologiczna; buraki: faza 6-8 liści faza dojrzałości technologicznej.

Każda kampania pomiarowa składała się z:

- (i) komponentu teledetekcyjnego: pomiarów przy pomocy polowych urządzeń do oceny zawartości chlorofilu, satelitarnych danych multi-spektralnych (zakres 440 - 2 200 nm; 14-21 pasm spektralnych) i dokumentacji fotograficznej;
- (ii) terenowych pomiarów produktywności (na każdej pow. doświadczalnej): świeżej i suchej biomasy, liczby roślin, masy bulw na 1 m², a w fazie zbioru: ocena ilościowa plonu;
- (iii) w wymienionych powyżej kluczowych fazach rozwojowych została przeprowadzona analiza odżywienia roślin.

Ocena parametrów ilościowych obejmowała:

- liczbę źdźbeł kłosonośnych,



- liczbę ziaren w kłosie (pszenica),
- masę 1000 ziaren (pszenica, rzepak),
- masę i liczbę korzeni na 1 m² (burak).

Sposób prowadzenia badania: W fazie kłoszenia / rozwoju pąków kwiatowych materiał roślinny był rozdzielany odpowiednio na liście, łodygi i części generatywne. Zbadany laboratoryjnie stan odżywienia pozwolił określić ewentualne czynniki limitujące plon i określić zależności pomiędzy zawartością składników mineralnych a późniejszym plonowaniem. Rozdział roślin na frakcje pozwolił również określić przemieszczenie azotu z organów wegetatywnych do organów generatywnych, gdyż proces ten jest kluczowym elementem w kształtowaniu się plonu.

Poszczególne badania laboratoryjne przeprowadzone zostały w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych w Warszawie, Białymstoku i Olsztynie.

Konsorcjanci wykonali proces mapowania planu na podstawie danych z kombajnów zbożowych. Dane te zostały przekazane do Satagro w celu obróbki statystycznej oraz prac badawczych. W przypadku buraków cukrowych nie ma możliwości mapowania plonu w takim stopniu jak w przypadku rzepaku czy zbóż. Mapowanie plonu odbywało się na zasadzie zbierania informacji o zbiorczym plonie i korekcie danych satelitarnych w uzgodnieniu z rolnikiem. Dzięki temu można było zweryfikować rozłożenie plonu i pobranie składników pokarmowych.

Badania obejmowały gromadzenie i obróbkę danych spektralnych i powiązanie ich z pozostałymi wynikami analiz terenowych (obsada, biomasa, plon), laboratoryjnych, a także z danymi meteorologicznymi. W rezultacie powstała spójna geo-baza danych, uporządkowująca dane w przestrzeni i czasie i umożliwiającą optymalne przeprowadzenie analizy danych. W kontekście prac nad rozwiązaniami w zakresie nawadniania precyzyjnego, ważnym zbiorem danych była przewodność elektromagnetyczna gleby, która przed integracją z geo-bazą danych została skalibrowana przy użyciu wyników badania gleby tak, aby reprezentowała pojemność wodną gleby.

Poniżej znajduje się szczegółowy opis pomiarów wykonanych na poszczególnych uprawach



KUKURYDZA



Faza 5-7 liści (BBCH 15): Wykonano pomiar N-Testerem na każdym punkcie. W każdym punkcie na długości 5m bieżących policzono obsadę roślin w 2 sąsiadujących rzędach. Z każdego wyznaczonego punktu pobrano 10 roślin. Rośliny zostały wycięte nożem przy powierzchni gleby i wysłane do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu.

Faza kwitnienia (wiechowanie): Wykonano pomiar N-Testerem na każdym punkcie (liście podkolbowe)

Faza dojrzałości pełnej: W każdym punkcie na długości 6 m bieżących (2 rzędy po 3 m) policzono obsadę. Zebrano i policzono wszystkie kolby z wyznaczonej powierzchni na każdym punkcie. Obliczono ilość ziaren w kolbie w oparciu o losowo wybranych 5 kolb w każdym punkcie. Kolby z każdego punktu obrano, a następnie zważono ziarno i rdzenie. Odliczono 1000 ziaren i wysłano do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu. Z każdego punktu pobrano losowo 3 rośliny (część naziemna), a następnie rozdzielono je na liście, łodygi, kolby (rdzenie + ziarno), osadki i zważono poszczególne organy. Łodygi i liście z 3 losowo wybranych roślin z każdego punktu wysłano do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu.



ZIEMNIAK



Faza wzrostu wegetatywnego (początek zakrywania rzędów): W każdym punkcie pomiarowym postawiono słupek i na długości 5m bieżących policzono obsadę roślin w dwóch sąsiadujących rzędach. Wykonano pomiar N-Testerem na każdym punkcie, zapisano wynik i wykonano dokumentację zdjęciową. Pobrano po 5 roślin z punktu (część naziemna) i wysłano do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu. Alternatywnie: Zważono pobrane rośliny (w każdym punkcie osobno), pobrano próbkę liści (ok. 1kg) z każdego punktu i wysłano próbki liści do laboratorium (ważenie, suszenie, ważenie, mielenie, oznaczenie azotu).

Dojrzałość technologiczna: Przed ścięciem łęcin wykonano pomiar N-Testerem na każdym punkcie, zapisano wyniki i wykonano dokumentację zdjęciową. Pobrano i zważono łęciny z powierzchni 12 m² (oddzielnie dla każdego punktu). Pobrano losowo 5 próbek łęcin (z każdego punktu) i wysłano próbki do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu. Po ścięciu, przed zbiorem wykonano dokumentację zdjęciową, wykopano bulwy ręcznie z powierzchni 12m² (oddzielnie dla każdego punktu). Następnie wykopane bulwy zważono i określono strukturę plonu. Na podstawie próby 15 kg bulw z każdego punktu określono udział frakcji bulw o średnicy poprzecznej <35mm, 35-45 mm, 45-60 mm oraz >60mm. Pobrano losowo po 5 bulw (z każdego punktu) i wysłano je do laboratorium (ważenie, suszenie, ważenie, mielenie, oznaczenie azotu).



PSZENICA



Faza pierwszego kolanka (BBCH 30/31): W każdym punkcie pomiarowym postawiono słupek i wykonano pomiar N-Testerem. Zapisano wyniki i rozstaw siewnika oraz wykonano dokumentację zdjęciową. W wyznaczonych punktach rośliny pobrano z dwóch sąsiadujących rzędów na długości 1 m. Policzone rośliny i zapisano obsadę. Zebraną biomasę naziemną z każdego punktu wysłano osobno do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu.

Faza kłoszenia (BBCH 50/55): Na każdym wyznaczonym punkcie wykonano pomiar N-Testerem. Wykonano dokumentację zdjęciową i w każdym punkcie rośliny (część naziemna) pobrano z 2 sąsiadujących rzędów na długości 1 m. Następnie policzono i zważono rośliny. Losowo odliczono 25 roślin z każdego punktu, a następnie rozdzielono na liście, źdźbła (łodygi) i kłosy. Poszczególne organy z 25 roślin z każdego punktu wysłano do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu.

Faza dojrzałości pełnej (BBCH 89): Wykonano dokumentację zdjęciową i z każdego punktu pobrano rośliny (część naziemną) z 1 m². Rośliny zważono i policzono. Losowo pobrano 25 roślin z każdego zebranego m² i rozdzielono je na liście, źdźbła i kłosy. Liście i źdźbła z 25 roślin z każdego punktu wysłano do laboratorium w celu ważenia, suszenia, mielenia i oznaczenia azotu. Następnie wybrano losowo 50 kłosów, zważono je, a następnie wymłócono. Policzone ziarno z 50 wymłóconych kłosów i zapisać wynik, a później ziarno i plewy (osobno) z 50 kłosów wysłano do laboratorium (ważenie, suszenie, ważenie, mielenie, oznaczenie azotu).



RZEPAK



Faza pąkowania: W każdym punkcie pomiarowym wykonano pomiar N-Testerem, zapisano wynik i wykonano dokumentację zdjęciową. Zapisano rozstaw siewnika. W wyznaczonych punktach rośliny (część naziemną) pobrano z 2 sąsiadujących rzędów na długości 1 m, policzono rośliny i zapisano obsadę. Pobrane z każdego punktu rośliny rozdzielono na liście i pędy, a następnie biomasa nadziemna (osobno liście i pędy) została wysłana do laboratorium w celu ważenia, suszenia, ważenia, mielenia i oznaczenia azotu.

Faza po opadnięciu płatków (zielonego pąka): Wykonano pomiar N-Testerem w każdym wyznaczonym punkcie, zapisać wynik i wykonano dokumentację zdjęciową. W każdym punkcie policzono rośliny w dwóch sąsiadujących rzędach na długości 1 m i zapisano obsadę. Następnie pobrano łuszczyzny z roślin z dwóch sąsiadujących rzędów na długości 1 m bieżącego i wysłano je do laboratorium (ważenie, suszenie, ważenie, mielenie, oznaczenie azotu).

Faza dojrzałości pełnej: Wykonano dokumentację zdjęciową i pobrano rośliny z powierzchni 1 m², które następnie zostały policzone. Wybrano losowo pięć roślin z każdego zebranego m², zważono je, policzono liczbę odgałęzień bocznych i zapisano wyniki. Pięć wybranych roślin rozdzielono na pędy, łuszczyzny i nasiona, które następnie zostały policzone. Poszczególne elementy, tzn. pędy, łuszczyzny i nasiona (osobno) zostały wysłane do laboratorium (ważenie, suszenie, ważenie, mielenie, oznaczenie azotu); Zważono nasiona z pozostałych roślin zebranych z powierzchni 1 m² i zapisano wynik.



BURAK



Faza 6 rozwiniętych liści: Wykonano pomiar N-Testerem w każdym wyznaczonym punkcie i wykonano dokumentację zdjęciową. Policzono obsadę roślin w dwóch rzędach na długości 10 m i zapisano wynik osobno dla każdego rzędu. Zapisano rozstaw rzędów i z każdego punktu losowo pobrano po 8 roślin. Pobrane rośliny z każdego punktu zostały rozdzielone na rozetę liściową oraz korzenie a następnie wysłane do laboratorium.

Faza zakrywania rzędów: Wykonano pomiar N-Testerem na każdym punkcie. Zapisano wyniki i wykonano dokumentację zdjęciową.

Faza dojrzałości technologicznej: Wykonano pomiar N-Testerem na każdym punkcie. Zapisano wyniki i wykonano dokumentację zdjęciową. Na każdym punkcie ogłowiono łącznie 25 korzeni buraków z liści z dwóch sąsiadujących rzędów. Zapisano długość (w m bieżących), na której ogłowiono 25 korzeni i zważono liście z 25 ogłowionych korzeni. Pobrano próbkę liści i wysłano ją do laboratorium (ważenie, suszenie, ważenie, mielenie, oznaczenie azotu). Wykopano 25 ogłowionych korzeni, które następnie zostały zważone. Pobrano próbkę korzeni i wysłano ją do laboratorium w celu ważenia, suszenia, ważenia, mielenia i oznaczenia azotu.

W każdym z punktów pomiarowych zostało wykonane standardowe badanie zasobności gleby, a także został zmierzony poziom mineralnego azotu glebowego.



Ponadto, w trakcie całego okresu badań prowadzono analizę danych satelitarnych wszystkich pól uprawnych objętych badaniem. Dane były na bieżąco udostępniane uczestnikom badania i były przedmiotem konsultacji. Ilustracja poniżej pokazuje przykład integracji danych satelitarnych z internetowym kontem jednego z uczestników.

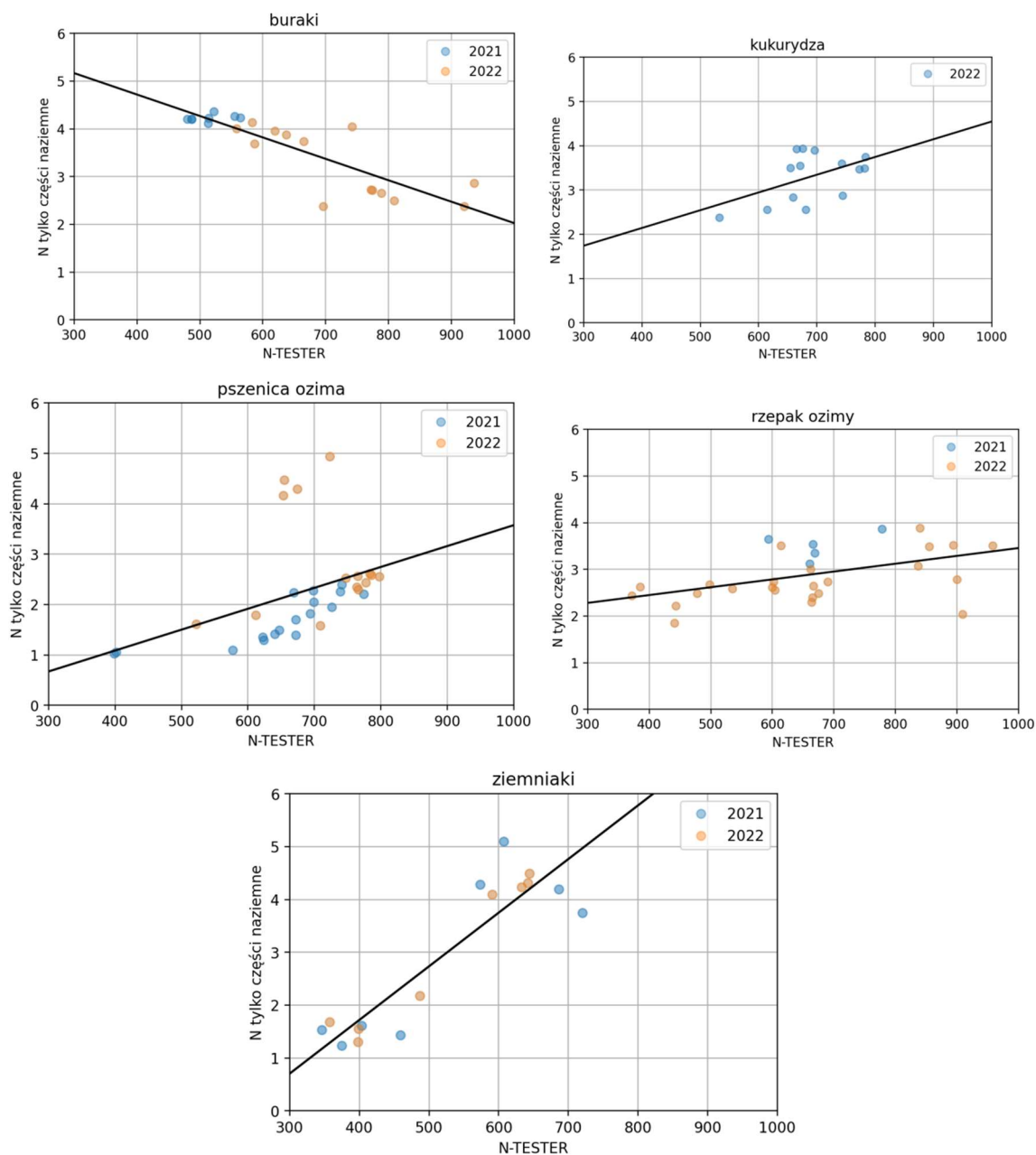




4.2 Wyniki

Pomiar azotu w uprawach

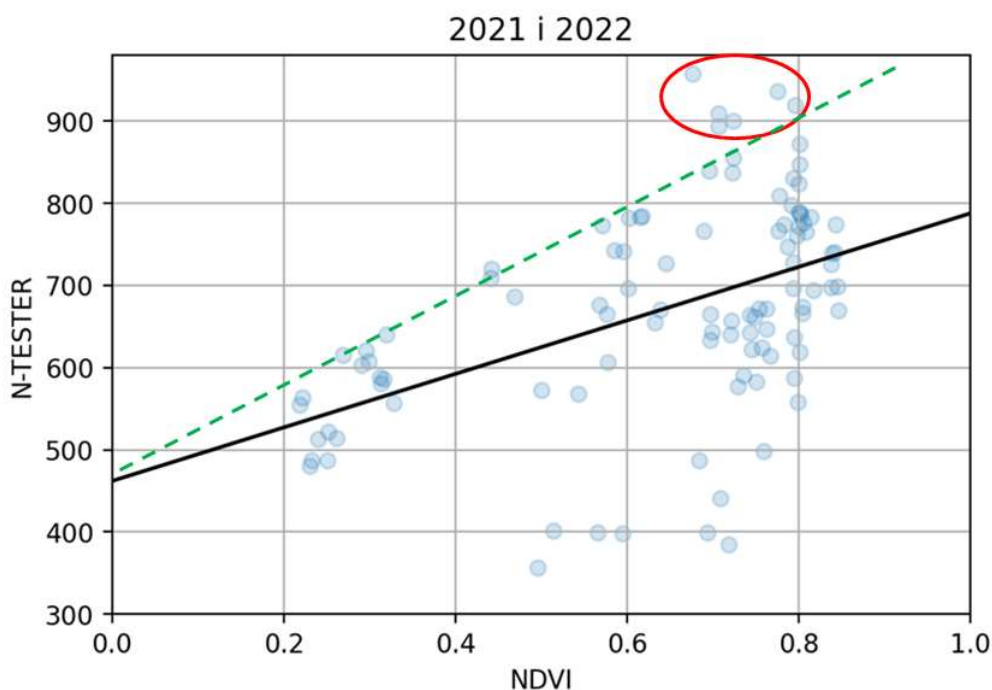
Ustalono relację pomiędzy zawartością azotu w poszczególnych uprawach, oznaczonym w laboratorium, a ilością oszacowaną standardowo wykorzystywaną metodą teledetekcyjną – Yara N-tester. Wyniki przedstawione są poniżej.





Monitoring satelitalny azotu w uprawach - podsumowanie

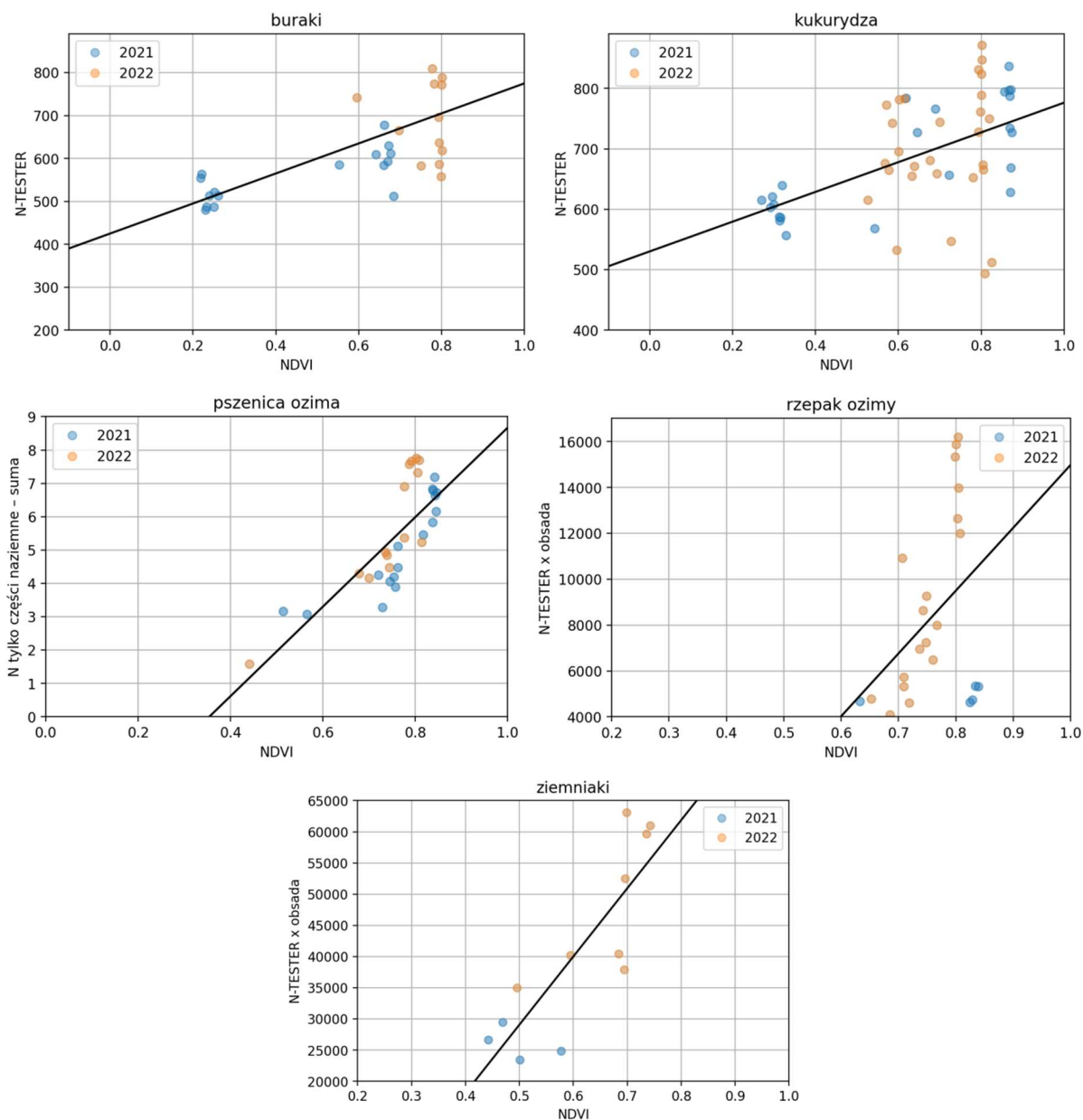
Przeanalizowano korelację pomiędzy terenowymi pomiarami teledetekcyjnymi (Yara N-tester) i równoważnymi pomiarami satelitalnymi badanych lokalizacji (wskaźnik NDVI). Ze względu na fakt, że metodyka pomiaru N-testerem obejmuje pomiar tylko liści o najlepszej jakości, uzyskano spodziewany rozkład wartości NDVI i jednocześnie niższą korelację niż w przypadku porównania azotu oznaczonego laboratoryjnie i pomiarów Yara N-tester. Wartości maksymalne pomiarów Yara N-tester w prawie całym przedziale wartości NDVI wykazują silną liniową korelację z NDVI (zielona przerywana linia na ilustracji poniżej), co potwierdza analogiczność dwóch metod pomiaru. W praktyce ta zależność wynika z tego, że najczęściej sygnał satelitalny, który obejmuje całą badaną powierzchnię (tzn. nie tylko badane N-testerem liście najlepszej jakości) przyjmuje niższe wartości niż te uzyskane N-testerem. Niemniej kiedy ten jest wyrównany to sygnał satelitalny dobrze koreluje się z pomiarem N-testerem. Należy też zauważyć, że kilka szczególnie wysokich wyników uzyskanych Yara N-tester nie spełnia powyżej opisaną zależność (czerwone kółko na ilustracji poniżej). Najprawdopodobniej wynika to ze znanego faktu, że wskaźnik NDVI saturuje się przy wysokich wartościach chlorofilu.





Monitoring satelitarny azotu w uprawach – poszczególne uprawy

Ustalono relację pomiędzy zawartością azotu w poszczególnych uprawach, oznaczonym w laboratorium, a ilością a sygnałem satelitarnym – wskaźnik NDVI. Wyniki przedstawione są poniżej. Interpretacja wyników wymaga uwzględnienia opisanych powyżej różnic w metodyce pomiaru teledetekcyjnego w terenie (tylko liście najlepszej jakości) i satelitarnego (cały łan). W przypadku pomiarów rzepaku w sezonie 2022, kiedy to był on w wyjątkowo dobrej kondycji, najprawdopodobniej wystąpił efekt częściowej saturacji NDVI.





5. PRACE KONCEPTUALNE I INFORMATYCZNE

5.1 Metodyka badań

Cel badania

Ogólnym celem badania było stworzenie koncepcji cyfrowych narzędzi internetowych wspomagających zarządzanie procesem nawożenia i nawadniania precyzyjnego. Szczegółowymi celami było: wytworzenie projektu widoków i ścieżek użytkownika wraz ze scenariuszami użytkownika.

Sposób prowadzenia badania

W zakresie badań przeprowadzono badania w formie pogłębionych wywiadów indywidualnych, grup focusowych i przeglądu istniejących rozwiązań metodą desk research. W zakresie prac koncepcyjno-programistycznych stosowano metodologię prototypową ewolucyjną.

Wywiad focusowy

Wywiad focusowy jest metodą, która ma przede wszystkim charakter eksploracyjny. Poszukiwane informacje przyjmują zazwyczaj postać pytań problemowych: jak? dlaczego? Nie jest to metoda mówiąca o natężeniu danej cechy, ale o przyczynach i genezie konkretnych opinii. Wyników badań jakościowych nie generalizujemy na całą populację. Badanie miało charakter dyskusji prowadzonej przez moderatora, w której uczestniczyło kilka osób. Zadaniem moderatora było właściwe ukierunkowanie rozmowy oraz zachęcanie respondentów do aktywności. Na potrzeby opisywanego badania został stworzony scenariusz wywiadu. Uczestnikami badania byli rolnicy należący do grupy operacyjnej „SatAgro”.

W zakresie prac koncepcyjnych i programistycznych, w pierwszym etapie realizacji operacji przeprowadzono szereg rozmów z uczestnikami operacji (grupy fokusowe) celem szczegółowej inwentaryzacji potrzeb w zakresie narzędzi do precyzyjnego nawożenia i nawadniania. Następnie informacje te zespół analityczno-projektowy przełożył na projekty pokazujące warianty narzędzi. W kolejnej iteracji rozmów z uczestnikami operacji przeprowadzono selekcję wariantów. Wybrane warianty zostały następnie przełożone na zespół szczegółowych zadań projektowych i programistycznych.

W trzecim etapie zostały przeprowadzone rozmowy z uczestnikami operacji (grupy fokusowe) celem prezentacji i konsultacji pierwszego etapu prac koncepcyjno-analityczno-programistycznych, dotyczących algorytmów i prototypów narzędzi w zakresie precyzyjnego nawożenia i nawadniania. Następnie wnioski z tych konsultacji zespół analityczno-projektowy przełożył na zespół szczegółowych zadań projektowych i programistycznych.

Wywiady indywidualne

Wywiady indywidualne polegały na przeprowadzeniu przez moderatora bezpośredniej rozmowy z pojedynczym respondentem. Badanie miało na celu pogłębienie i uzupełnienie informacji uzyskanych w ramach wywiadów focusowych. Charakterystyka respondentów: Uczestnikami badania byli rolnicy należący do grupy operacyjnej „SatAgro”.

Prace analityczno-programistyczne

Prace analityczno-programistyczne skupiały się na opracowaniu algorytmów i implementujących je prototypów, które pozwoliły na ocenę zapotrzebowania uprawy na azot, pojemności wodnej gleby, a także deficytu wodnego. Podczas tych prac stosowano metodologię prototypową ewolucyjną



zakładającą, że opracowane oprogramowanie będzie stopniowo rozwijane z celem jego integracji w całość systemu podczas ostatniego etapu działania.



5.2 Wyniki

W wyniku badań oraz prac programistycznych nad serwisem internetowym wspierającym cyfrowe rolnictwo precyzyjne, zostały stworzone nowe elementy back-endu (silnika) oraz front-endu (interfejsu użytkownika), które umożliwiają korzystanie z wytworzonych nowych funkcjonalności w zakresie zabiegów precyzyjnego nawożenia i nawadniania.

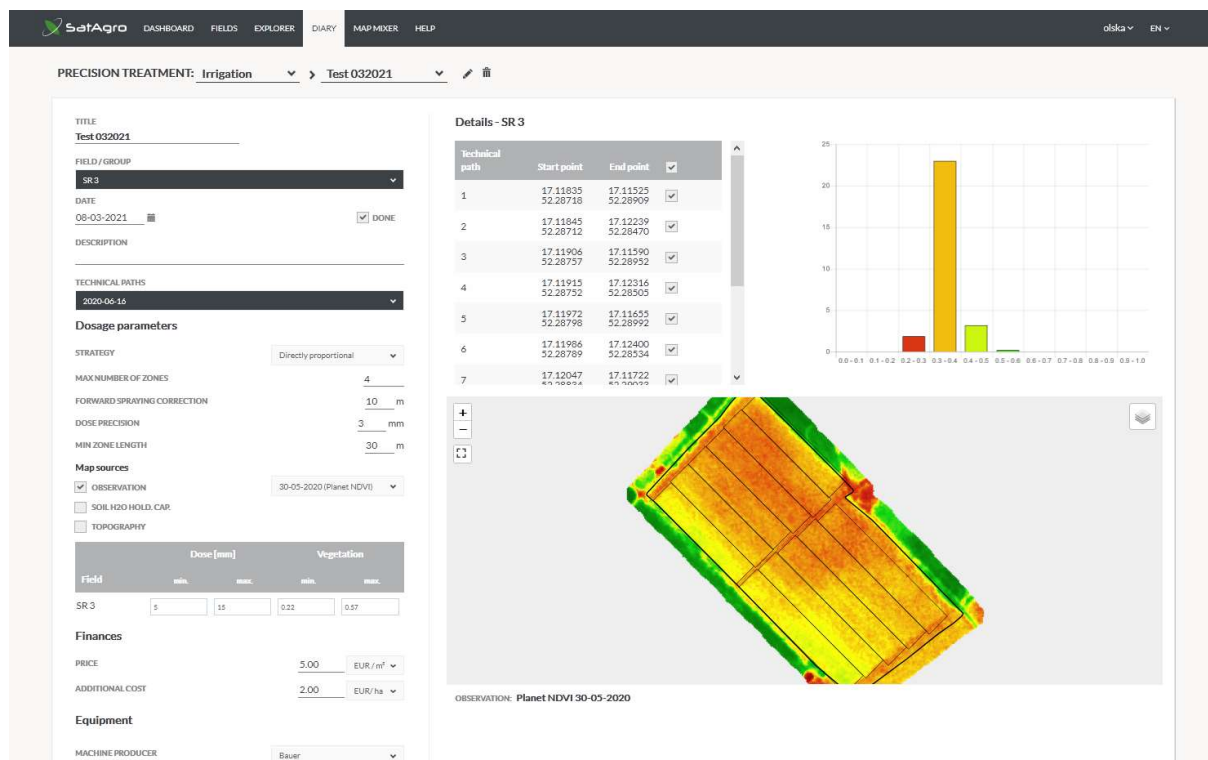
Moduł precyzyjnego nawadniania - nowa innowacja technologiczna

Zmiana jakościowa polegała na wytworzeniu prototypu pozwalającego na automatyczne generowanie map nawodnienia ze zmienną dawką nawadniania na podstawie danych i preferencji użytkownika: liczby przedziałów dawki nawadniania, średnią planowaną wartość nawadniania, rodzaj rośliny, typ źródła mapy (zdjęcia satelitarne, strefy), producent maszyny, maszyna, terminal.

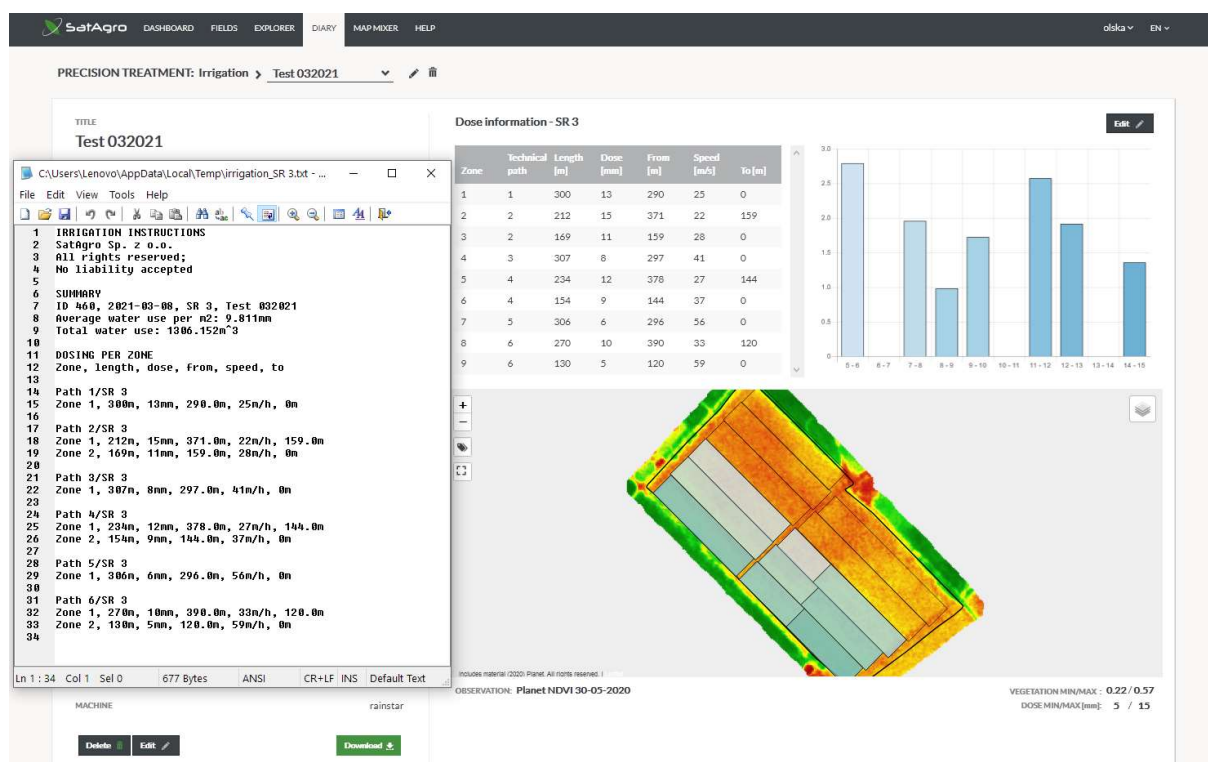
Rozwiązanie posiada następujące funkcjonalności: możliwość dostępu online, możliwość wyeksportowania mapy do formatu pozwalającego na operacyjne wykonanie nawadniania w polu, interaktywny interfejs, podgląd mapy nawadniania. Ogół tych cech sprawia, że użytkownik ma możliwość nawadniania przy użyciu zmiennej dawki nawadniania w celu ograniczenia zużycia wody, kosztów środowiskowych oraz finansowych. Efektem tego rezultatu (wytworzonej innowacji) jest możliwość skorzystania z generatora precyzyjnych map nawadniania w celu ograniczenia kosztów ekonomicznych i środowiskowych.

Moduł precyzyjnego nawadniania jest pierwszym z grupy narzędzi wspierających gospodarstwa w zarządzaniu wodą. Został opracowany pod kątem zraszaczy szpulowych, które są stosunkowo najbardziej popularne kraju i regionie. Wiele modeli umożliwia różnicowanie dawki poprzez regulację prędkości zwijania węża zakończonego armatką.

Jak pokazują ilustracje poniżej, moduł pozwala na optymalizację dawek poprzez automatyczny podział drogi technologicznej na odcinki, zgodnie z wybraną strategią dozowania. Możliwe jest uwzględnienie trzech źródeł zmienności zapotrzebowania na wodę: stanu upraw, pojemności wodnej gleby oraz spływu związanego z topografią.

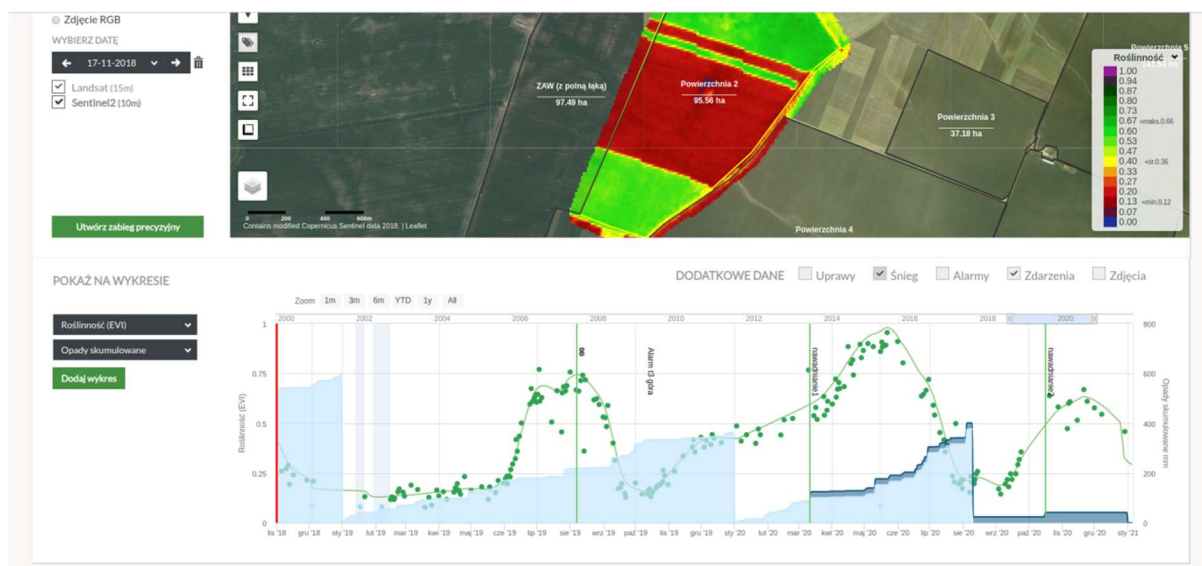


Wynik prezentowany jest w postaci interaktywnej mapy. Można go również wydrukować w formie raportu dla operatora terminala deszczowego, jak pokazano na ilustracji poniżej.





Moduł nawadniania precyzyjnego został dodatkowo sprzęgnięty z częścią serwisu dotyczącą danych meteorologicznych. Ilość wody dostarczana uprawie w postaci nawadniania jest zliczana osobno, jak pokazano na poniższej ilustracji (ciemny kolor niebieski, na szczycie jasnego niebieskiego oznaczającego wodę deszczową). Pozwala to na obliczanie pełnego bilansu wodnego uprawy.



Dzięki opracowanemu narzędziu praca z deszczowniami jest znacznie ułatwiona, w szczególności w zakresie planowania odcinków ze zmiennymi dawkami. W skrajnych przypadkach rozwiązanie to pozwoli na minimalizację strat spowodowanych suszą, jak również strat wynikających z przesycenia i erozji wody glebowej.



Moduł nawożenia precyzyjnego z Planem nawożenia - ulepszona innowacja technologiczna

Moduł Plan nawożenia (przedstawiony poniżej) stał się istotnym elementem wsparcia gospodarstwa, który łączy ogólne zasady agronomii z metodami stosowanymi zarówno przez rolnictwo precyzyjne, jak i regeneracyjne. Dla przykładu, plan nawożenia określa zapotrzebowanie roślin na składniki odżywcze w standardowy sposób (oczekiwany plon razy pobór składnika na tonę plonu), ale dodatkowo użytkownik ma możliwość uwzględnienia zmienności plonów i właściwości gleby, a także zmniejszenie planowanej dawki nawozów mineralnych zgodnie ze zdefiniowaną podażą z pozostałości przedplonowych, międzyplonów i przeszłych zdarzeń nawożenia naturalnego. W efekcie moduł wspiera zarówno na redukcję emisji gazów cieplarnianych w gospodarstwie, jak i akumulację węgla w glebie.

Należy zaznaczyć, że moduł Plan nawożenia jest również ważnym krokiem w kierunku wsparcia w obszarze rentowności ekonomicznej gospodarstw. Inny moduł - Rentowność, przedstawiony w kolejnych sekcjach, pozwala na dynamiczne mapowanie kosztów i przychodów, a także może pomóc wskazać obszary o niskich dochodach, które w skrajnych przypadkach można wyłączyć z intensywnej uprawy. Zatem nowy moduł Plan nawożenia w zautomatyzowany sposób łączy ekonomiczny aspekt funkcjonowania gospodarstw, analizowany przez moduł Rentowność, z zasadami agronomii.

Poniższe dwie ilustracje przedstawiają wykorzystanie modułu Plan nawożenia w scenariuszu zarządzania fosforem. Pierwsza ilustracja pokazuje tryb edycji – definiowania planu. Kolejna ilustracja pokazuje stworzony plan, wraz z sumarycznym zapotrzebowaniem na nawóz, odpowiednio pomniejszonym o podaż tego składnika z innych źródeł. Unikalność tego rozwiązania polega na tym, że poszczególne komponenty bilansu składnika odżywczego mogą mieć formę map, np. oczekiwany plon może być zróżnicowany w przestrzeni, tak samo jak zasobność glebowa. Moduł sprzęgnięty jest z modułem zabiegów precyzyjnego nawożenia, dzięki czemu można oszacować wkład każdego zabiegu w realizację planu nawożenia. Należy podkreślić, że przed wprowadzeniem tej innowacji wszystkie zabiegi definiowane w serwisie SatAgro miały arbitralnie określany przez użytkownika zakres dawek, natomiast teraz dawkowanie osadzone jest w kontekście oszacowanego wcześniej zapotrzebowania, co znacznie redukuje ryzyko niegospodarności.



ZABIEG PRECYZYJNY: Plan nawożenia > Plan nawożenia P

TYTUŁ

Plan nawożenia P

POLE / GRUPA

Nowy Skowron rzepak

● Pszenica ozima (2021-09-24 - 2022-08-01)

OPIS

KOMPONENT

p

ZAPOTRZEBOWANIE SKŁADNIKA W UPRAWIE

SPODZIEWANY PŁON

Zbiór Nowy Skowron Pszenica ozima (2022-08-01) 8t/ha

ZAPOTRZEBOWANIE SKŁADNIKA

9.85kg/t

78.80 kg/ha

ODLICZENIA

RESZTKI POŻNIWNE

Zbiór Nowy Skowron Rzepak ozimy (2021-05-23) 16 kg/ha

RESZTKI MIĘDZYPLONU

Siew Nowy Skowron Groszek siewny (2021-06-23) 0 kg/ha

RESZTKI Z NAWOZU NATURALNEGO

Obornik NPK 4-3-4 (2021-04-24) 20 kg/ha

SUMA ODLICZEŃ

36.00 kg/ha

ZASOBNOŚĆ GLEBY

KOREKTA

75% - 100%

PODSUMOWANIE PLANU

ŚREDNIA DAWKA

37.45 kg/ha

ŚREDNIA DAWKA NA TONĘ PŁONU

4.68 kg/t

Usuń

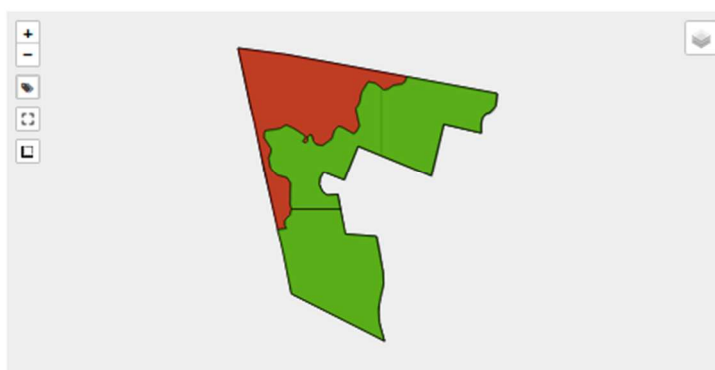
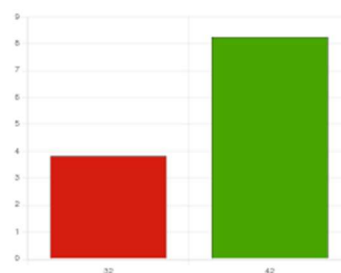
Edytuj

Pobierz

Podsumowanie dawek - Nowy Skowron rzepak

Edytuj

Dawka [%/ha]	Pow. [ha]	Produkt [kg]
32	3.82	122
42	8.24	346
W sumie	12.06	468

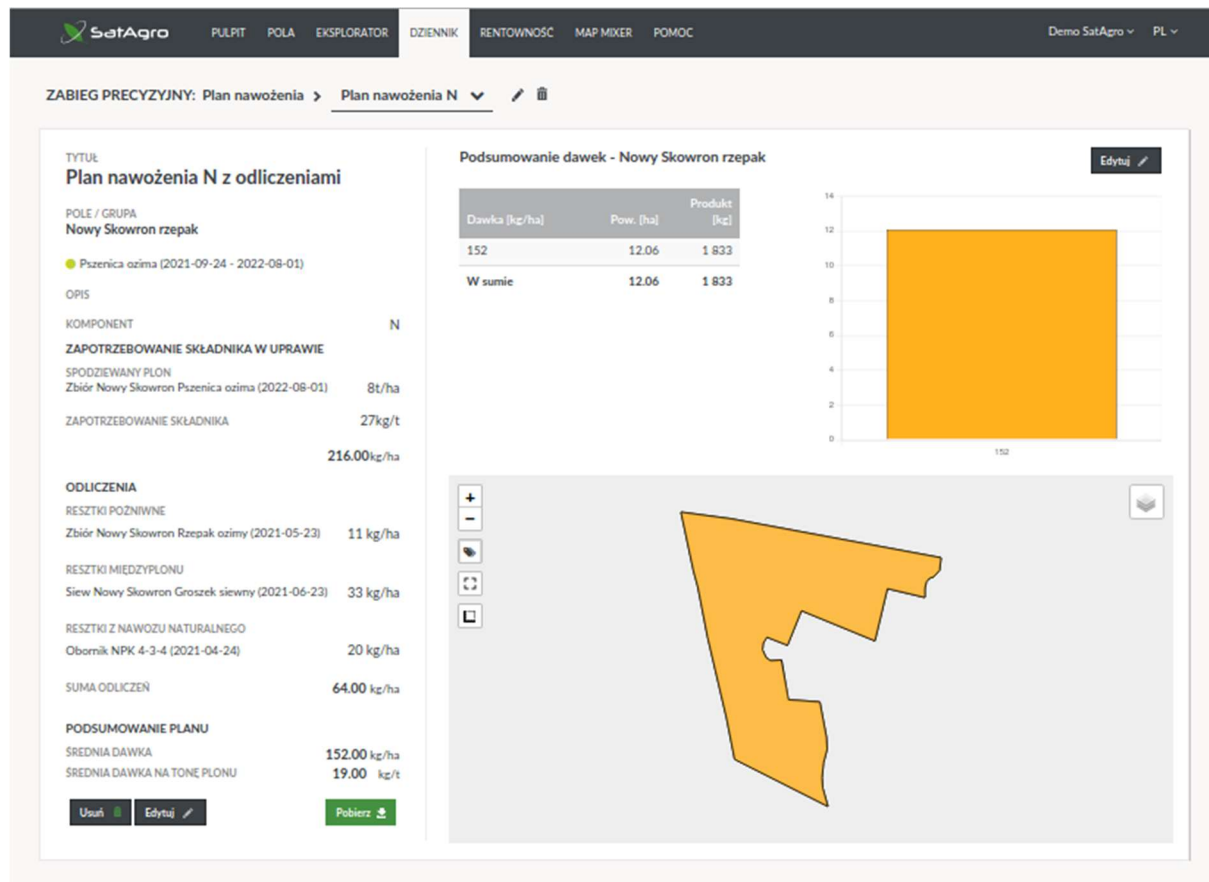


OBSERWACJA:
ssnowyskowronrzepak (Fosfor 28-12-2019)

P MIN/MAX : średnia / wysoka
KOREKTA MIN/MAX [%]: 100 / 75

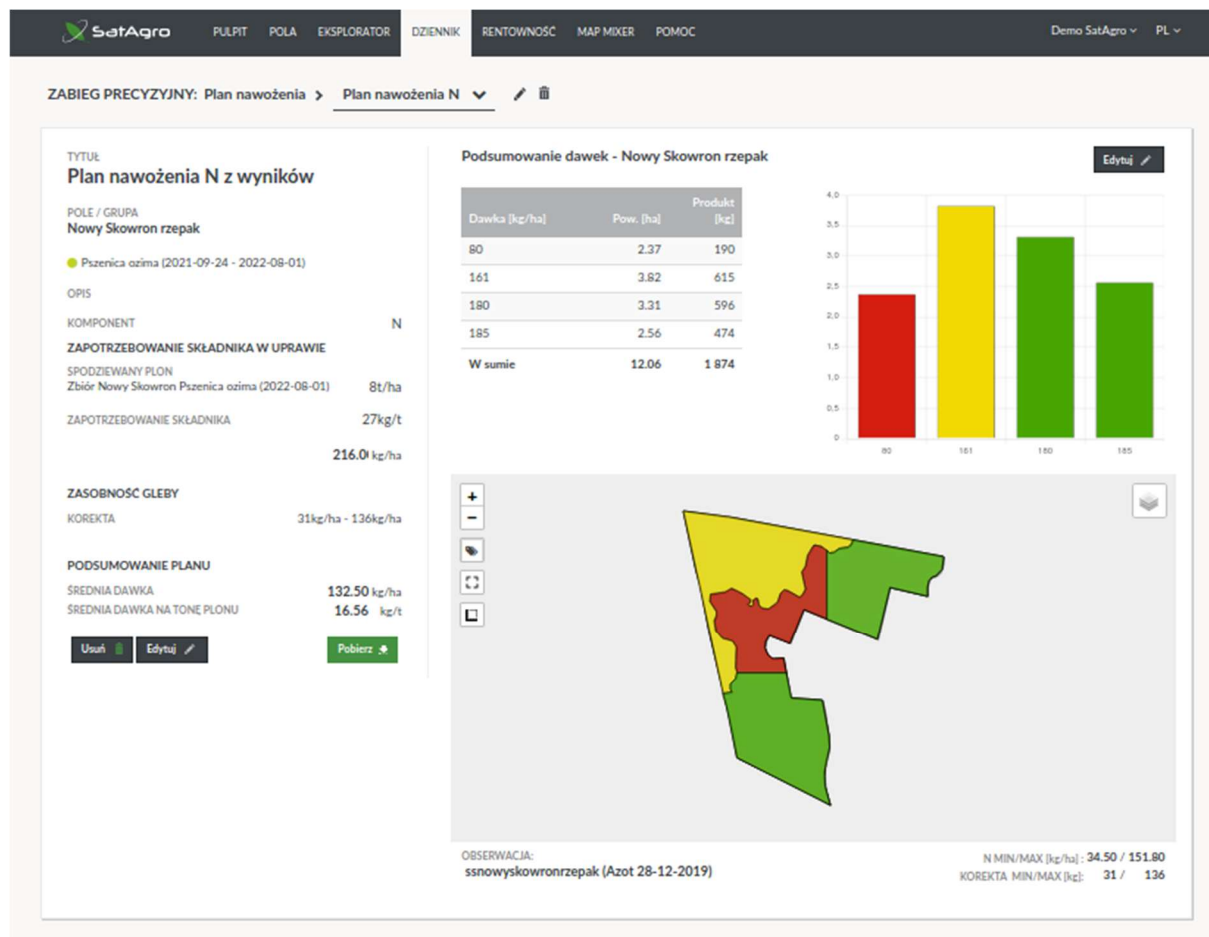


Kolejna ilustracja, poniżej, przedstawia wykorzystanie modułu Plan nawożenia w analogicznym scenariuszu zarządzania azotem. W tym przypadku stworzony plan uwzględnia podaż azotu z resztek poźniowych, międzyplonu oraz nawożenia naturalnego przedplonu.

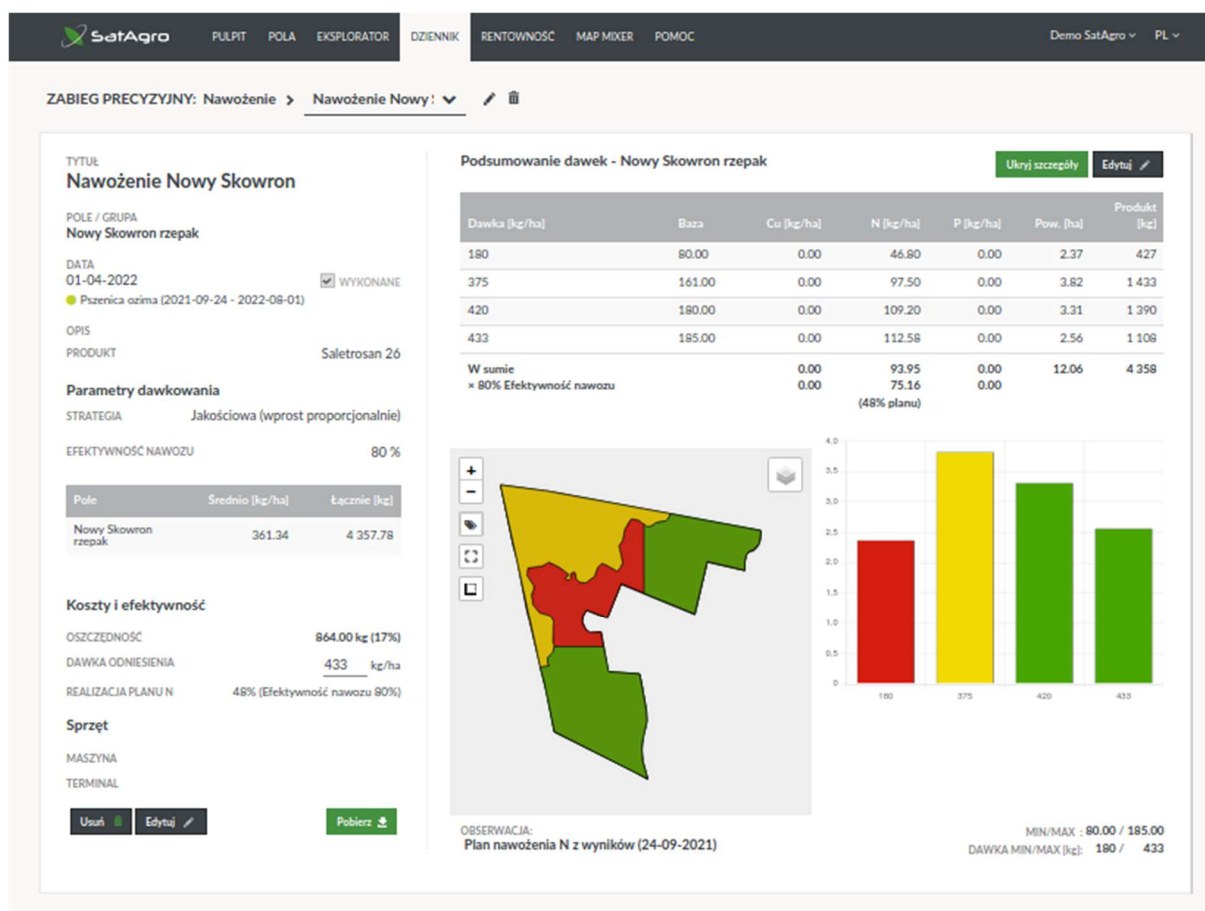




Kolejna ilustracja, poniżej, przedstawia podobny scenariusz wykorzystania modułu Plan nawożenia azotem, niemniej w tym przypadku stworzony plan opiera się na oszacowaniu przyszłego plonowania a także wyniku badania azotu mineralnego dostępnego w glebie. Ponieważ dostępność azotu była oszacowana w strefach to plan nawożenia też cechuje się zróżnicowaniem przestrzennym.



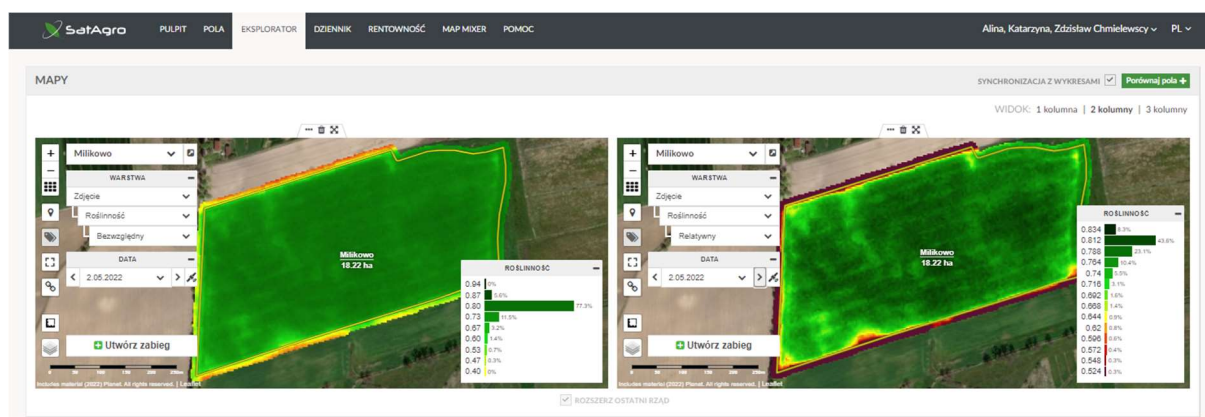
Ostatnia ilustracja związana z tą innowacją przedstawia Moduł zabiegów precyzyjnych, który teraz sprzęgnięty jest z Modułem plan nawożenia, dzięki czemu można oszacować wkład każdego zabiegu w realizację planu nawożenia.



Na koniec opisu tej innowacji warto wspomnieć o nowym kontekście opisanych wyżej prac. W drugiej części 2022 roku zaczęły się klarować zasady wsparcia finansowego w ramach nowej Wspólnej Polityki Rolnej na terenie Polski (Polski Plan Strategiczny został przyjęty 31 sierpnia). Od 1 stycznia 2023 r. plany nawożenia stanowią część ekoschematu "Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami pokarmowymi". Zatem opisane prace stanowią praktyczny wkład w zakresie implementacji rolnictwa precyzyjnego, jak również regeneracyjnego.



W zakresie nowych metod kalibracji danych satelitarnych zaimplementowano dwie innowacje. Pierwsza dotyczy bieżącego monitoringu uprawy i interpretacji zdjęć satelitarnych celem zidentyfikowania anomalii w rozwoju uprawy, tzw. crop scouting. W obrębie Exploratora SatAgro zaimplementowano tzw. „względne” skale barwne. Domyślna „absolutna” skala barwna reprezentuje cały możliwy zakres wartości na danym typie mapy. W przypadku indeksu roślinności zakres ten mieści się w przedziale od 0 do 1. Zdarza się jednak, że wartości występujące na mapie mają znacznie mniejszy zakres, np. 0-0.3 wiosną, czy 0.6-0.8 w szczycie sezonu. W takich przypadkach kolory są mało zróżnicowane. Wtedy lepszym rozwiązaniem może być przełączenie się na „względną” skalę barwną, która pozwala na lepszą kalibrację pól o wysokiej kalibracji. Spowoduje to przyporządkowanie faktycznego zakresu wartości występujących na obrazie do wszystkich zakresów skali barwnej. Technika ta nie nadaje się najlepiej do porównań pomiędzy datami i polami (ponieważ każda mapa będzie miała inną relację pomiędzy wartościami i kolorami), ale jest bardzo pomocna w wizualizacji szczegóły, które przy standardowym monitoringu są ukryte dla oka. Przykład pokazany poniżej dotyczy wizualizacji łąnu na początku maja br. kiedy zróżnicowanie było już stosunkowo niewielkie. Zastosowanie relatywnego skalowania wartości pozwoliło lepiej uwidocznić strefy zmiennej produktywności, co może być podstawą do zastosowania zróżnicowanej późnej dawki nawożenia azotowego. Obraz po prawej i lewej stronie to to samo zdjęcie satelitarne z 02/05/2022.

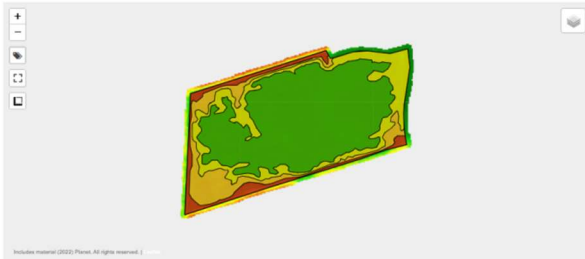
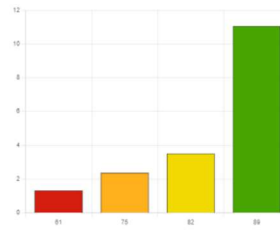


Kolejną innowacją w zakresie kalibracji danych satelitarnych jest ulepszenie aplikacji celem umożliwienia nieliniowego skalowania sygnał satelitarny – dawka. Na ilustracji poniżej pokazano przykład, w którym strefa nawożenia łąnu o najlepszej jakości, która początkowo miała przyporządkowaną najwyższą dawkę (widok po lewej), ostatecznie została nawieziona taką samą dawką jak kolejna strefa o nieco gorszej jakości (widok po prawej). Jest to ważny innowacyjny element w zakresie planowania zabiegów precyzyjnych, który umożliwia większą elastyczność w zakresie kształtowania relacji jakość łąnu – dawka. W tym przypadku uznano, że najlepiej wykształcony łąn nie wykorzysta wystarczająco efektywnie dawki wyznaczonej algorytmem liniowym i ulepszenie aplikacji umożliwiło reakcję zgodną z tą tezą.



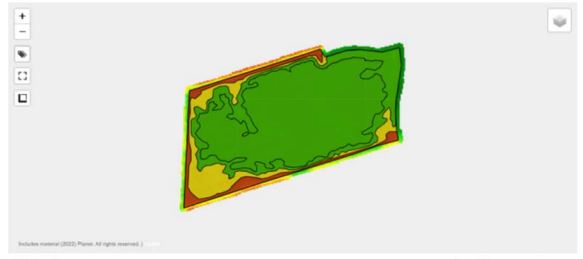
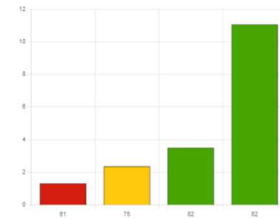
Podsumowanie dawek - Miłkowo

Dawka [kg/ha]	N [kg/ha]	Pow. [ha]	Produkt [kg]
61	12.81	1.31	80
75	15.75	2.36	177
82	17.22	3.50	287
89	18.69	11.05	983
W sumie	17.60	18.22	1 527



Podsumowanie dawek - Miłkowo

Dawka [kg/ha]	N [kg/ha]	Pow. [ha]	Produkt [kg]
61	12.81	1.31	80
75	15.75	2.36	177
82	17.22	3.50	287
82	17.22	11.05	906
W sumie	16.71	18.22	1 450





Moduł Rentowność - nowa innowacja organizacyjna (w zakresie nawadniania) i ulepszona innowacja organizacyjna (w zakresie nawożenia)

Rentowność to kluczowa miara dla każdego przedsiębiorstwa. Gospodarstwa rolne często nie mają dobrego wglądu w ten obszar, nie mówiąc już o dostępności wyniku w postaci mapy. Mapowanie rentowności wymaga dynamicznych powiązań między wieloma rodzajami informacji i technologii. Dzięki wdrożonej innowacji gospodarstwa mogą szczegółowo mapować rentowność na każdym polu uprawnym, zarówno przed, jak i po zbiorach, uwzględniając przestrzenne zróżnicowanie nawadniania i nawożenia.

Moduł Rentowność umożliwia dynamiczne odwzorowania opłacalności uprawy, a także analizę jej dwóch składowych: kosztów i przychodów, w formie map. Zakładamy, że poprzez umożliwienie lepszego dostępu do tych informacji, gospodarstwo może przenieść punkt ciężkości z dążenia do maksymalizacji plonów na dążenie do maksymalnej opłacalności. Z kolei połączenie rolnictwa precyzyjnego z przestrzenną analizą opłacalności pozwala na zmniejszenie obciążenia środowiska, które wynika z marnotrawstwa zasobów, takich jak nawozy azotowe, które zamiast zostać zużyte przez uprawy, wnikają do wód i powodują eutrofizację.

W module Rentowność koszty są mapowane w każdej z jedenastu kategorii osobno i domyślnie są pokazywane razem (pierwsza mapa interfejsu na ilustracji poniżej). Możliwe jest również wyświetlenie jednej kategorii kosztu osobno, na przykład samego nawadniania lub nawożenia (osobno azotowego i pozostałych).

Księgowanie przychodów (druga mapa interfejsu) wykorzystuje ten sam system co koszty, ale dane wejściowe są uzyskiwane w inny sposób. W trybie predykcyjnym, obliczanie prognozy plonów na poziomie pola uprawnego odbywa się poprzez połączenie stref zarządzania (przedstawiających oczekiwaną przestrzenną zmienność plonów) z prognozą. Jeśli gospodarstwo może dostarczyć mapę plonów z kombajnu po zbiorach, możliwe jest wtedy zintegrowanie jej z systemem i wykorzystanie jako dokładniejszego zobrazowania dochodów.

Kluczowe informacje o rentowności są prezentowane na trzeciej mapie interfejsu, a także na wykresie pod nią. Mapa umożliwia zbadanie przestrzennego rozkładu rentowności. Obszar, który okaże się nieopłacalny, może być rekomendowany do wyłączenia z intensywnej produkcji, na przykład w celu utworzenia strefy naturalnego pokrycia terenu.

Wykres pod mapami umożliwia zbadanie zależności między kosztami a zyskami i plonami. Może na przykład zweryfikować często stosowaną hipotezę, że wysokie nakłady prowadzą do wysokich zysków. W praktyce, przy pewnym poziomie wydatków zysk się nasyci, a środowiskowe efekty zewnętrzne gwałtownie rosną. Moduł Rentowność może pomóc w ustaleniu tego punktu zwrotnego.

Poniżej przedstawiona jest implementacja dwóch scenariuszy w module Rentowność – bez zabiegów precyzyjnych, i z zaimplementowanymi zabiegami precyzyjnymi. Wykres w pierwszym scenariuszu pokazuje brak relacji pomiędzy kosztami i dochodem, natomiast zabiegi precyzyjne powodują, że nakłady są proporcjonalne do zysków. Ponadto obliczono, że w scenariuszu z zabiegami precyzyjnymi, w tym z nawadnianiem, plonowanie jest o 10% wyższe przy takich samych nakładach co w scenariuszu bez zabiegów precyzyjnych.

