



Plan
Strategiczny dla
Wspólnej
Polityki
Rolnej
na lata 2023-2027



Krajowa
Sieć
Obszarów
Wiejskich +



Dofinansowane przez
Unię Europejską



Rolnictwo 4.0, wielopoziomowe wprowadzania składników pokarmowych do gleby. Maszyny i urządzenia do nawożenia w uprawie uproszczonej.

dr inż. Tomasz Żelaziński

„Innowacyjne technologie ukierunkowane na racjonalne gospodarowanie składnikami nawozowymi w celu poprawy żyzności gleb oraz ich retencji wodnej”

Lubań, 07.11.2025 r.

Czym jest Rolnictwo 4.0

Ewolucja rolnictwa:

1.0 (mechanizacja) → 2.0 (chemizacja) → 3.0 (automatyzacja) → **4.0 (digitalizacja i integracja danych)**

Big Data i analityka – przetwarzają ogromne ilości danych, by wspierać decyzje rolnika,

Internet Rzeczy (IoT) – monitorują glebę, rośliny i zwierzęta w czasie rzeczywistym,

systemy GIS – tworzą mapy pól i wspierają precyzyjne zabiegi,

sztuczna inteligencja (AI) – prognozuje plony i choroby roślin

Smart farming i aplikacje mobilne – systemy wspomagania decyzji, aplikacje do zarządzania gospodarstwem.



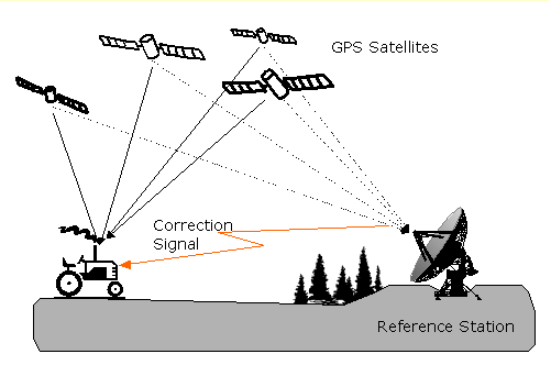
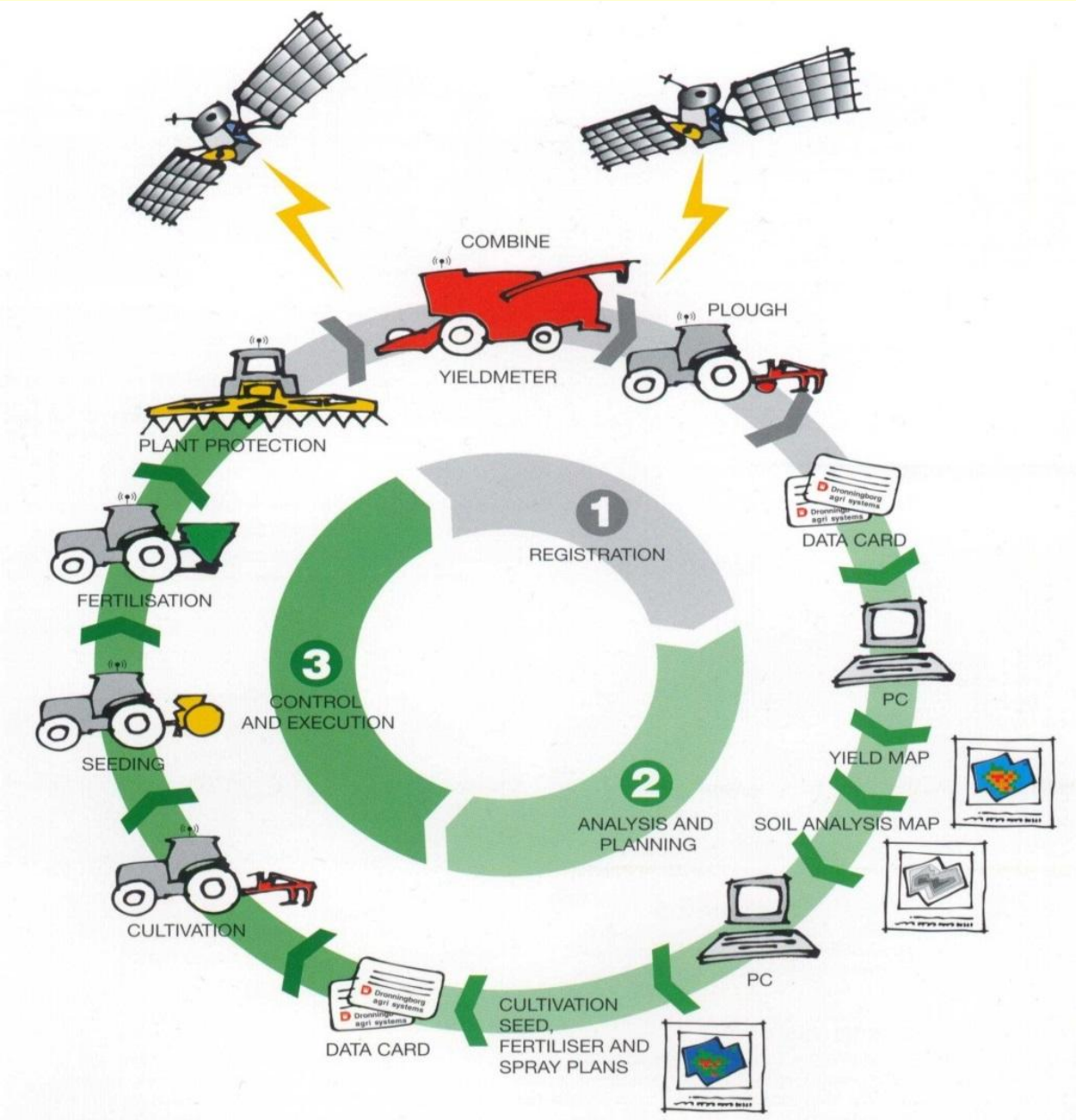
maszyny autonomiczne, rolnictwo precyzyjne – wykonują prace polowe z dokładnością do centymetra.

Zarządzanie energią i zasobami – optymalizacja zużycia wody, energii, nawozów i środków ochrony roślin

Blockchain w łańcuchu dostaw żywności – przejrzystość i identyfikowalność produktów od pola do stołu.

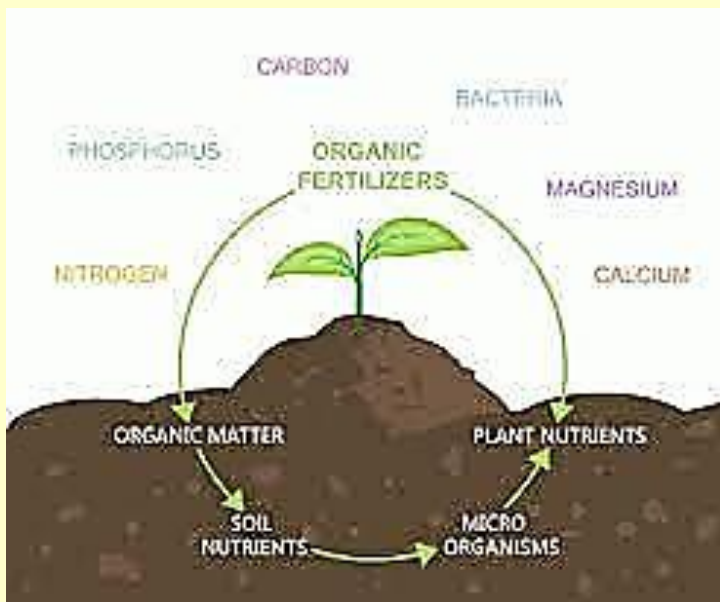
Zrównoważony rozwój i zdrowa żywność (ekologia) – ograniczanie wpływu na środowisko poprzez precyzyjne technologie

Dane i ich analiza w Rolnictwie 4.0

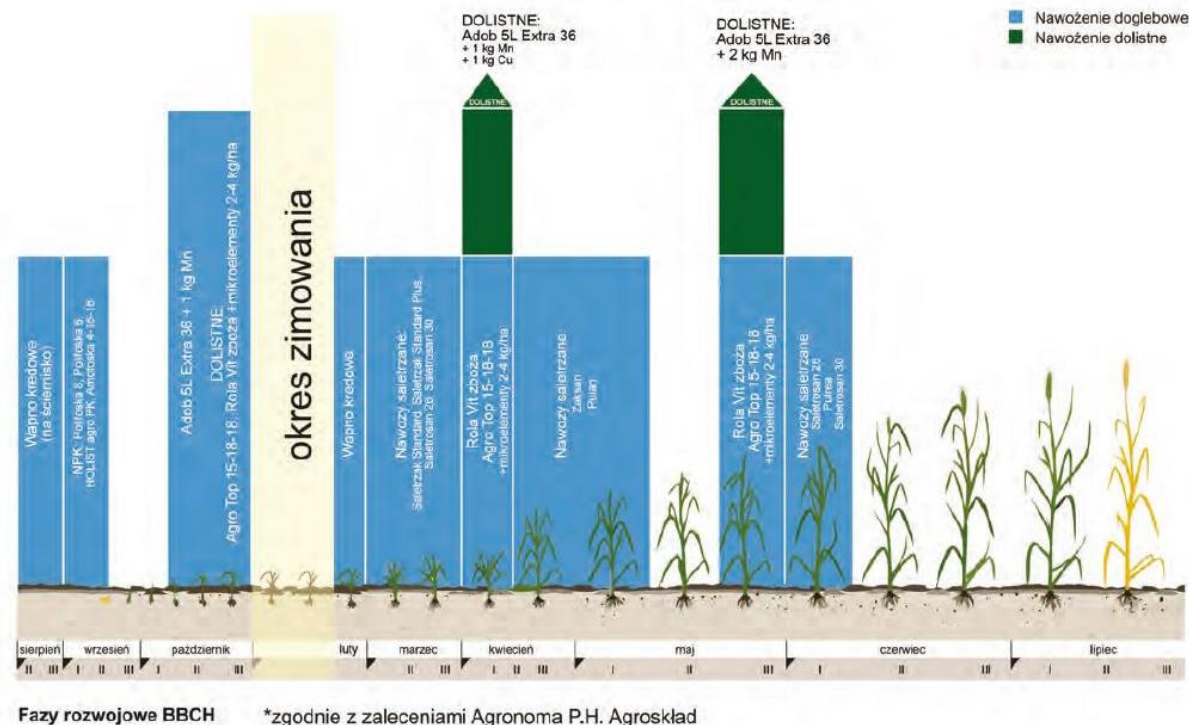


Cele Rolnictwa 4.0 w nawożeniu

- Dokładne dopasowanie dawek składników do potrzeb roślin
- Minimalizacja strat i kosztów
- Ochrona środowiska (redukcja N i P)
- Poprawa efektywności produkcji



NAWOŻENIE DOGLEBOWE I DOLISTNE – ZALECENIA



Schemat pokazujący nawożenie, roślina a przy niej zdjęcia różnych maszyn do nawożenia na wielu poziomach

Dopasowanie dawek składników do potrzeb roślin

Gleba to “żywy twór”, w którym nieustannie zachodzą przeróżne skomplikowane procesy, zależne od wielu czynników. Jak więc powinniśmy podejść do tak istotnego zabiegu agrotechnicznego, jakim jest nawożenie, aby nie przenawozić, ani nie doprowadzić do powstania niedoborów u roślin?

Zawartość składników pokarmowych w glebie

Wymagania pokarmowe rośliny uprawnej

Zasobność i typ gleby

Warunki wilgotnościowe i klimatyczne



Odczyn gleby (pH)

Forma i rodzaj nawozu

Technologia uprawy i system nawożenia

Uwarunkowania środowiskowe i prawne

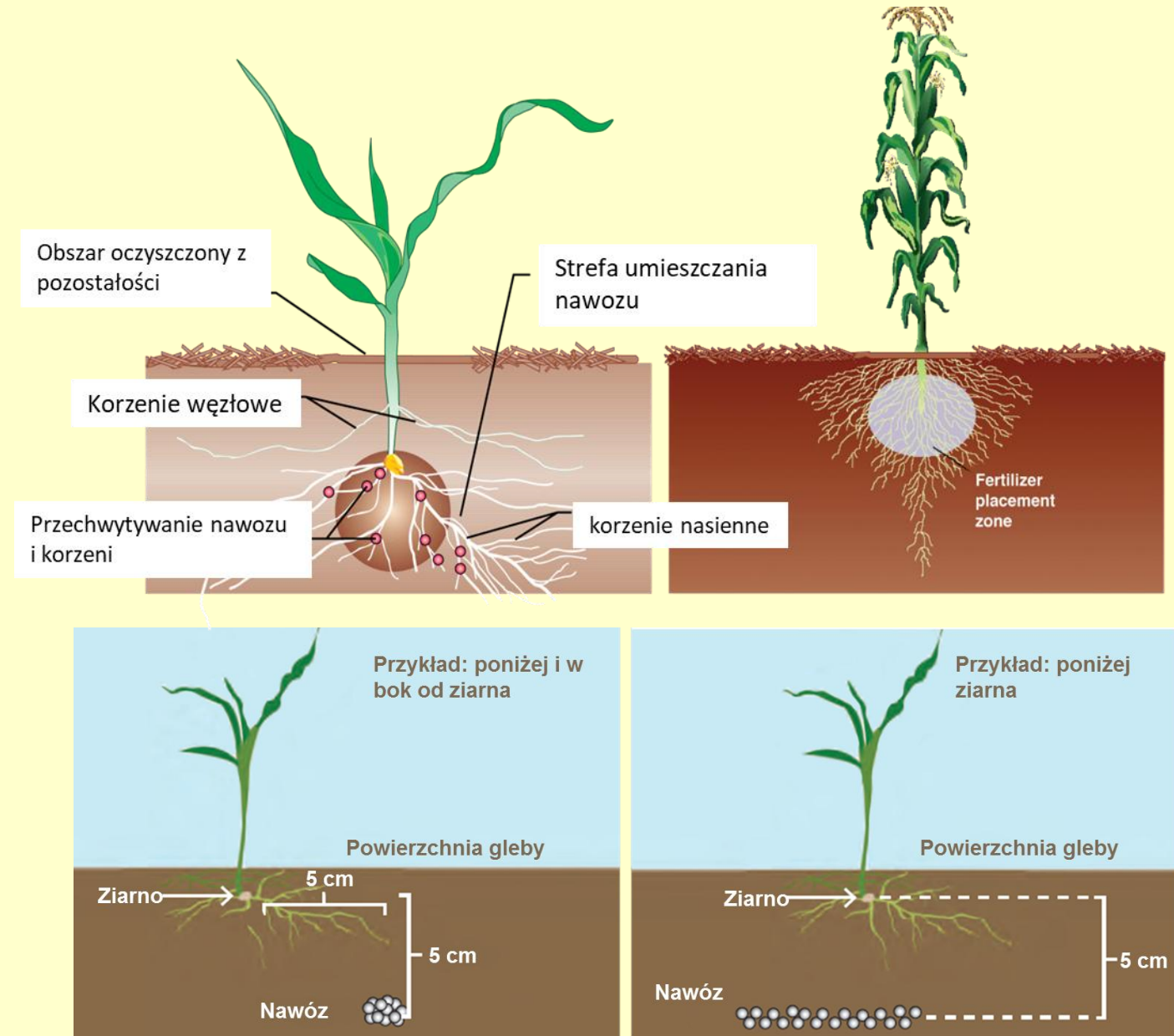
Wcześniejsze nawożenie i płodozmian

Z powyższych rozważań nasuwa się jeden aczkolwiek dość istotny wniosek: zanim przystąpimy do jakichkolwiek czynności najpierw powinniśmy dobrze poznać stanowisko, jakie wybraliśmy pod przyszłą upraw

Co to jest „precyzja” w nawożeniu

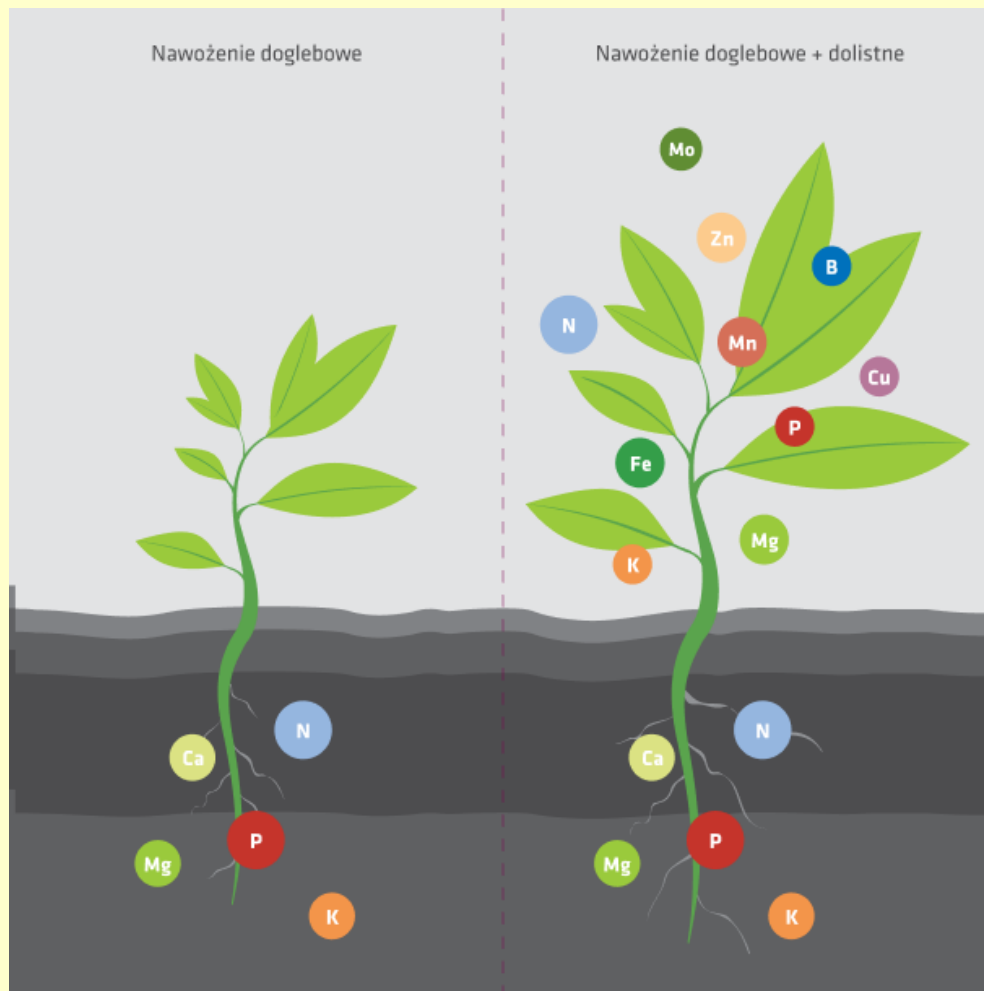
Umieszczenie składników odżywczych tuż obok i nieznacznie poniżej nasion pozwala im dotrzeć do celu, przechwytyując wyłaniające się korzenie. Gdy korzenie docierają do tej strefy, następuje gwałtowny wzrost. Wraz z rozwojem kolejnych korzeni, nawozy również docierają do nich, zapewniając stałe wsparcie w krytycznych fazach wzrostu.

Prawie połowa korzeni kukurydzy znajduje się 30 cm pod powierzchnią gleby podczas formowania wiech. Oznacza to, że precyzyjnie rozprowadzony nawóz działa przez całe życie rośliny.

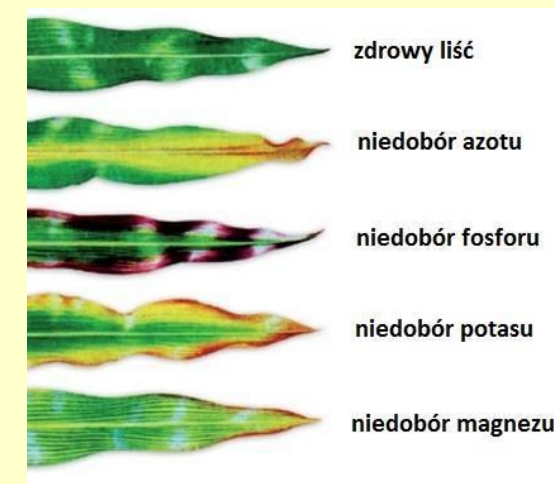


Nawożenie doglebowe vs nawożenie dolistne

Uzupełnienie składników pokarmowych w glebie i zapewnienie długotrwałego odżywiania



Szybkie dostarczenie składników w sytuacjach niedoboru lub stresu roślin.



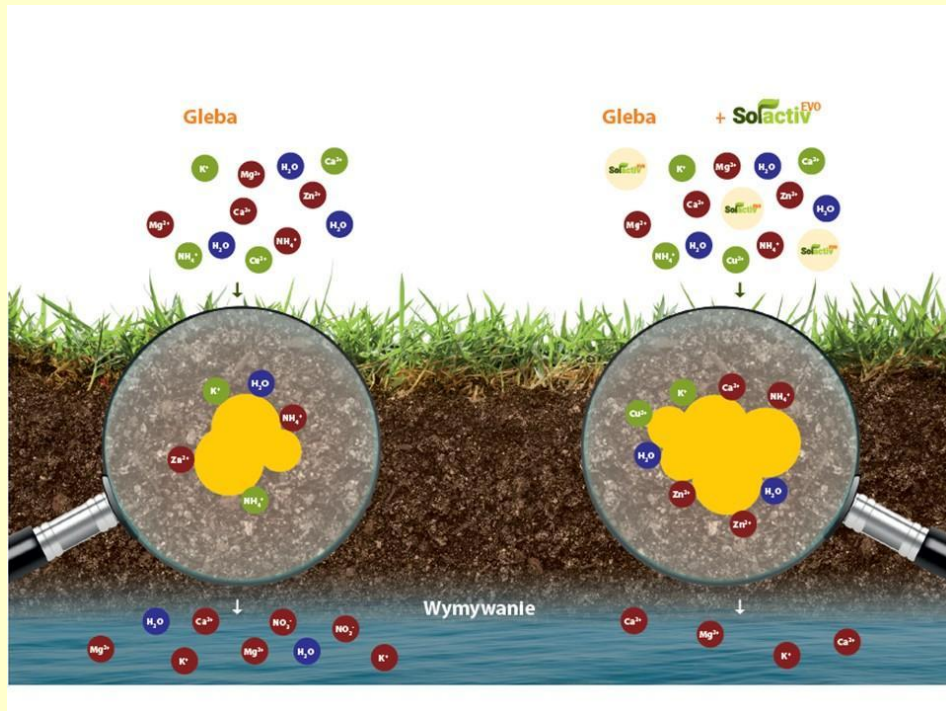
Przemieszczanie składników pokarmowych w glebie

- Ruchliwość składników zależy od **formy chemicznej**, rodzaju gleby, wilgotności i pH.

Azot jest najbardziej mobilny → największe ryzyko strat.

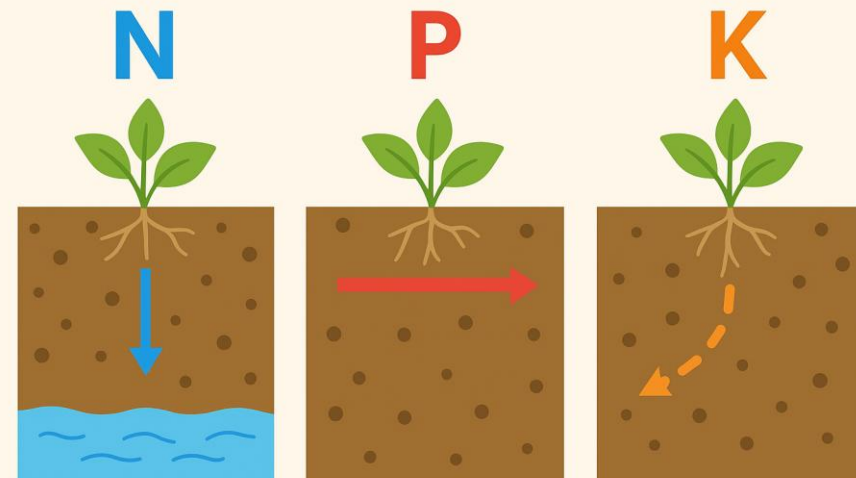
Fosfor najmniej mobilny → ważne lokalne umieszczenie nawozu.

Potas – pośredni, jego ruchliwość zależy od tekstury gleby.



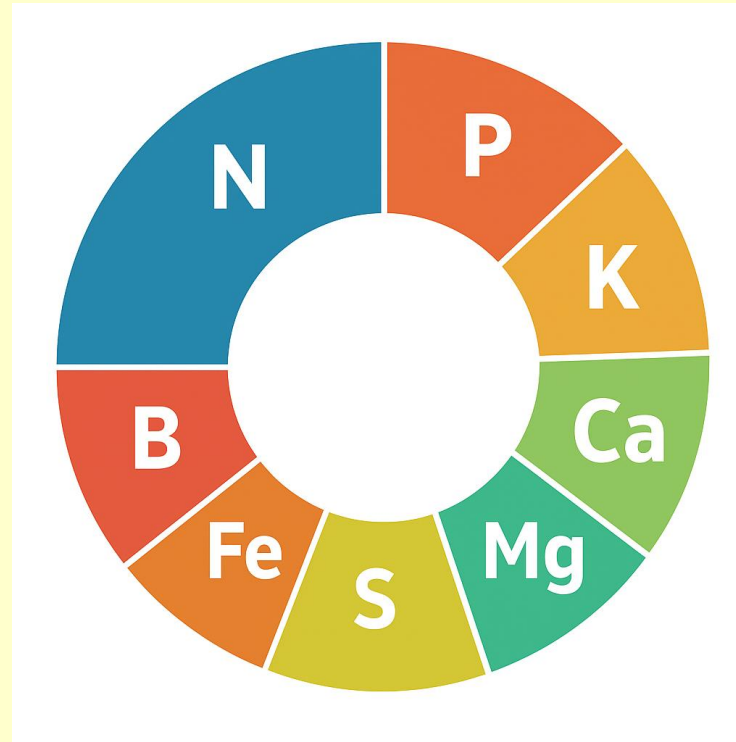
Rozmieszczenie i dostępność składników pokarmowych dla korzeni zależy od sposobu aplikacji nawozu i wymieszania go z glebą

Przemieszczanie składników pokarmowych w glebie



Dobór właściwej dawki

Jak pobrać próbki gleby???



Zawartość azotu (N)

Zawartość potasu (K)

Zawartość fosforu (P)

pH gleby (odczyn)

Zawartość magnezu (Mg)

Zasolenie (EC –
przewodność elektryczna)

miedź (Cu),

żelazo (Fe),

cynk (Zn),

bor (B),

molibden (Mo).

mangan (Mn),

Zawartość materii
organicznej (próchnicy)

Zawartość węgla
organicznego (Corg)

Zawartość wapnia (Ca)

Wilgotność gleby w czasie nawożenia

Aby zaplanować stosowanie nawozów, należy wziąć pod uwagę aktualną wilgotność gleby oraz prognozowane opady.

Wydajność nawożenia w zależności od wilgotności gleby

Rodzaj Gleby	Pojemność polowa, %	Objętościowa zawartość wody, %	Współczynnik efektywności nawożenia
<i>Glina Ilasta</i>	34,00	34,00	0,9
(L), \$/ha Kalkulator strat: $L = Qf \times Fe \times Fp$ Qf – Dawka nawozy (Kg/ha) Fe – współczynnik efektywności nawożenia Fp - Cena nawozu, \$		30,60	0,95
		27,20	0,85
		23,80	0,7
		20,40	0,55
		17,00	0,4
		13,60	0,25

A wilgotność gleby to tylko jeden z wielu składowych....

Czujniki IoT w rolnictwie



Ultradźwiękowe czujniki kierunku i prędkości wiatru



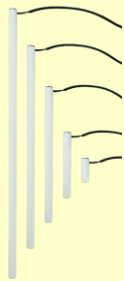
Jednopunktowe czujniki temperatury



Objętościowa zawartość wody



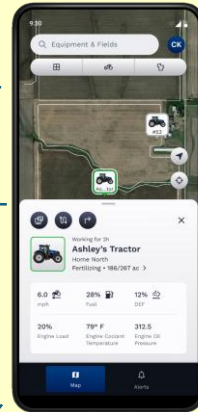
Czujniki mikroklimatu w uprawie, RH, punkt rosy



Zespolone sondy glebowe
Wilgotność, zasolenie
temperatura



Czujniki nasłonecznienia

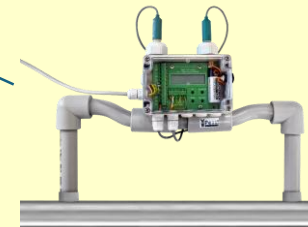
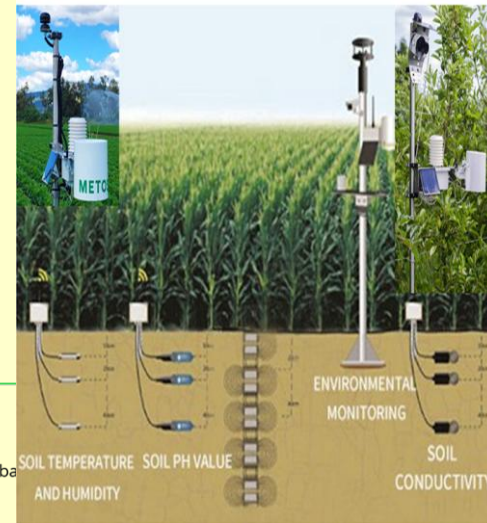


WATERMARK (IRROMETER)



- Tension (0-250 cba)

Tensiometr badający rzeczywiste napięcie wody w glebie (mierzy wysiłek pobierania wody przez rośliny)



Interfejs EC/PH



Liczniki wody

Wielopoziomowe wprowadzanie składników pokarmowych - różne głębokości, różne formy nawozów i różne momenty aplikacji

powierzchniowe (rozsiewacze, opryskiwacze)



podpowierzchniowe (aplikatory, dozowanie cieczy pod ciśnieniem)



pasowe (strip-till, siew nawozu z nasionami)

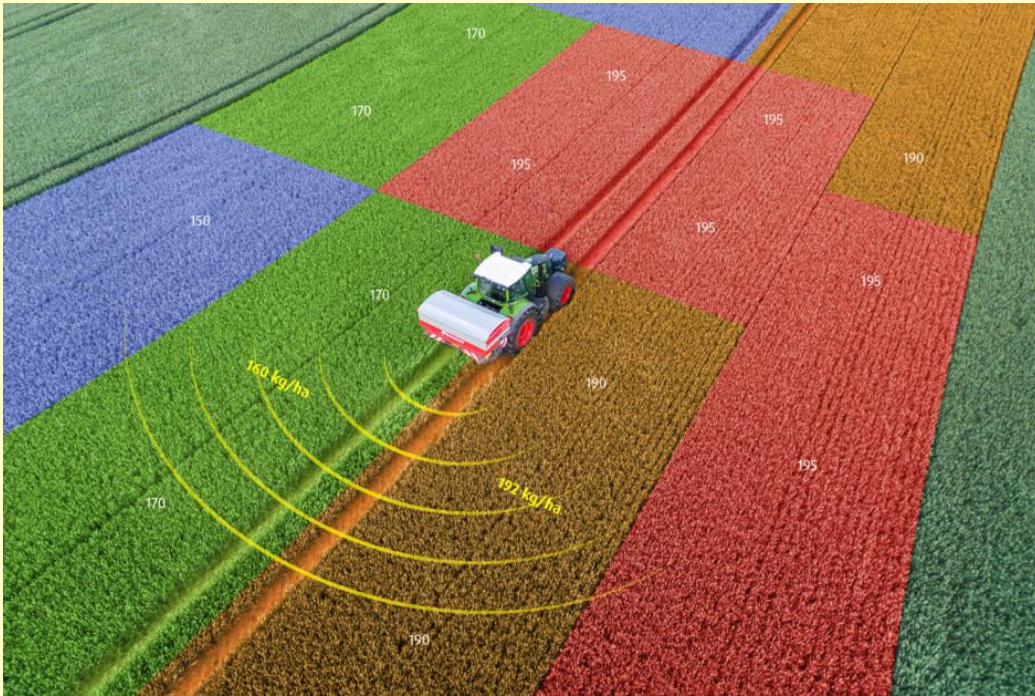


Głęboka aplikacja nawozów

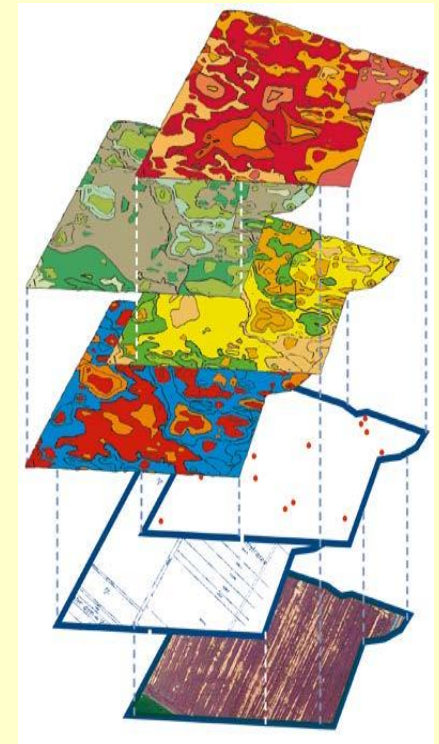


Cel: zwiększenie dostępności i ograniczenie strat (wymywanie, ulatnianie)

Technologie wspierające nawożenie precyzyjne



GPS / RTK – precyzyjne prowadzenie
Czujniki N-sensor, CropSpec, Yara N-Tester
Oprogramowanie do zarządzania dawkami



Mapy zasobności makro i mikroelementów gleby
Mapy plonu i mapy składników odżywczych ziarna
Mapy przewodności elektromagnetycznej gleby
Mapy wilgotności gleby

Precyzyjne rozsiewanie na powierzchni pola



Dostarczanie odpowiedniej dawki do właściwego miejsca, aż do samej granicy pola



Zintegrowany system ważenia eliminuje potrzebę przeprowadzania próby kręconej!

Nowoczesne technologie oprysku w Rolnictwie 4.0

Dysze PWM (*Pulse Width Modulation*)

stała wielkość kropli niezależnie od prędkości jazdy,
sterowanie każdą końcówką

Sekcje automatyczne / „section control”

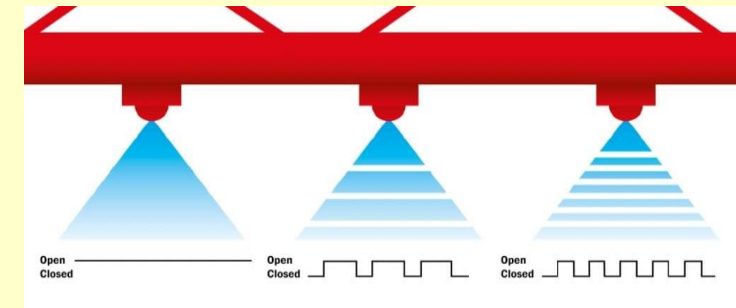
Automatyczne wyłączanie sekcji przy zakładkach

Sterowanie indywidualne dysz (*nozzle by nozzle control*)

Mapy aplikacyjne (VRA) Opryskiwacz pobiera dane z
map GIS (Geographic Information System) (np. presji
chwastów, biomasy roślin)

Systemy automatycznego dozowania środków

Maszyna przygotowuje ciecz roboczą na bieżąco podczas
jazdy, a nie w całym zbiorniku.



Aplikacja nawozu na duże głębokości



Głęboki aplikator nawozu umożliwia nawożenie na głębokość do 61 cm w rozstawie 51 cm

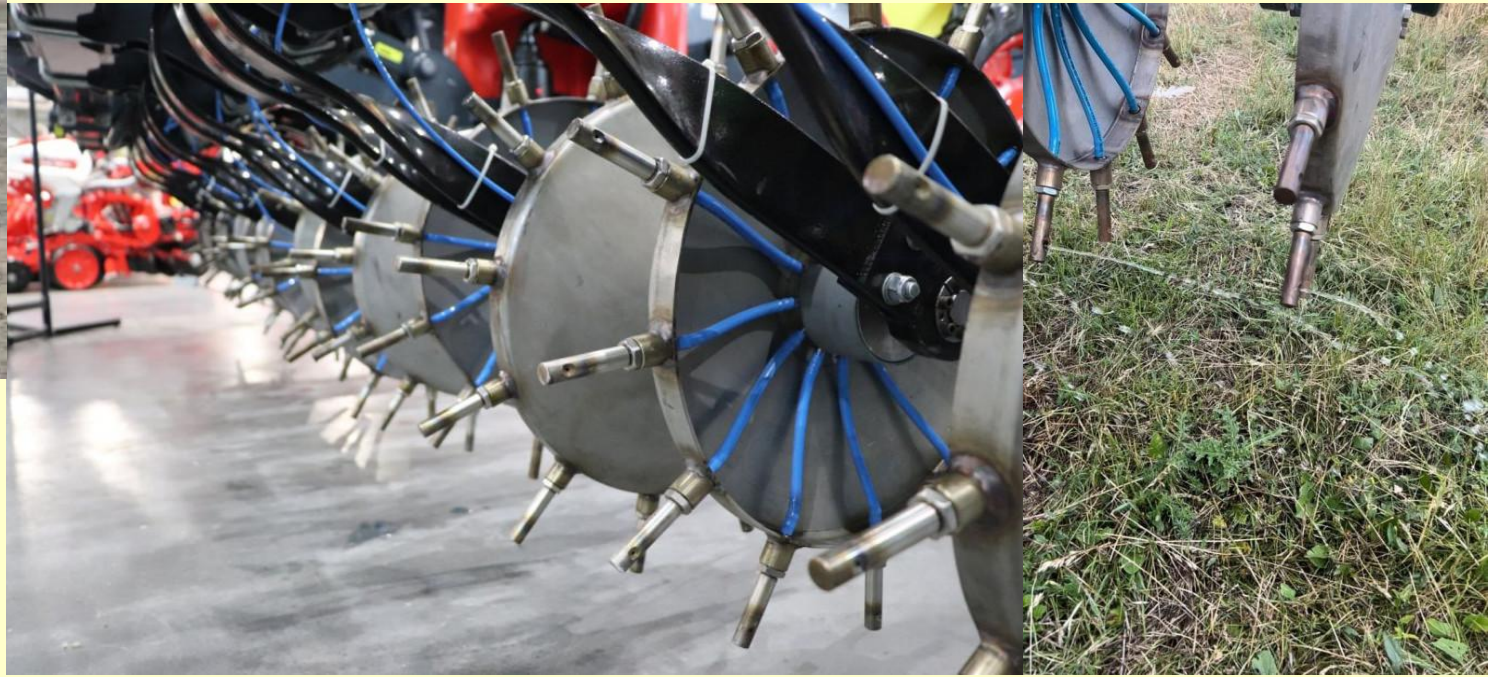


Aplikowanie nawozów płynnych



Iniektor nawozów płynnych YUKON 3000.12 z GPS

Urządzenia tego typu mogą być stosowane zarówno na roślinach uprawnych (słonecznik, kukurydza), jak i na zbożach. Specjalne korpusy robocze, koła ze stali nierdzewnej posiadają 12 igieł, które wykonują iniekcje co 13 cm. Głębokość aplikacji to 5-10 cm



Aplikowanie nawozów płynnych w technologii pasowo-rzędowej Strip-till



Dozowanie napowierzchniowe



Single wheel + injection kit



Podwójne dysze aplikujące napowierzchniowo



Czujnik głębokości

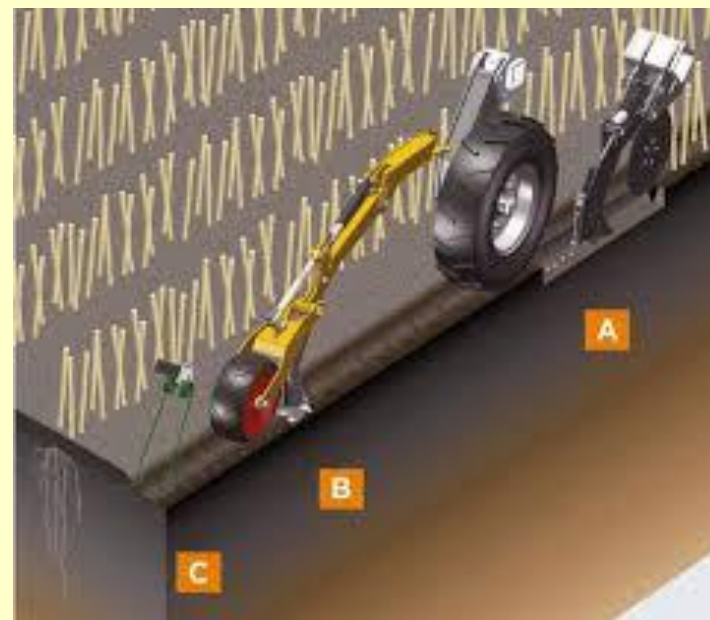
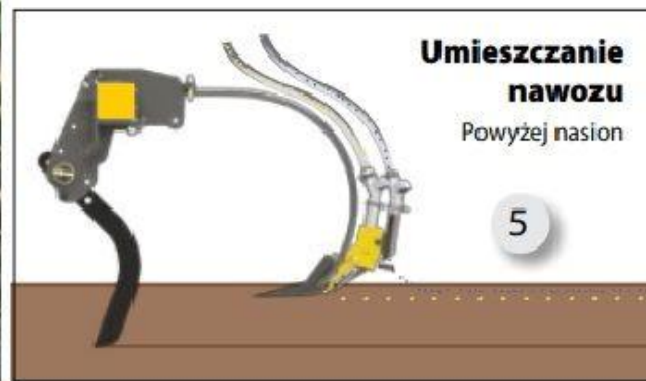
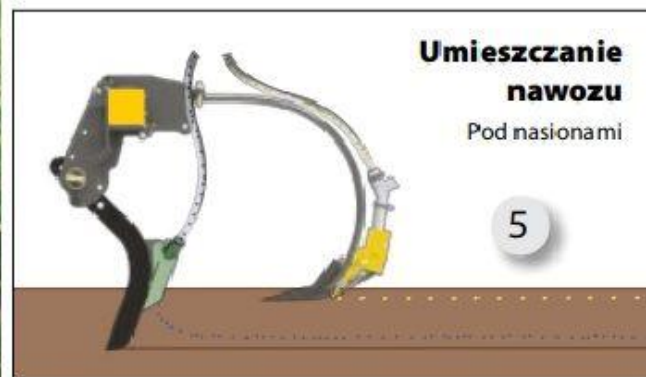
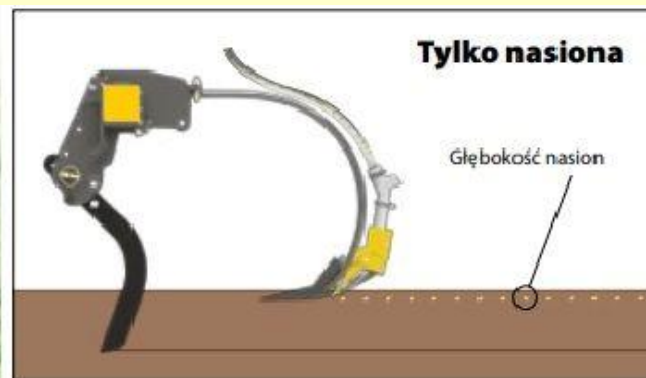
Dozowanie wgłębne



Dual wheel + spring-loaded knife

Podwójne noże z aplikatorami wgłębnymi

Aplikowanie nawozów mineralnych w technologii pasowo-rzędowej



Siew zbóż i podsiewanie nawozu w koncepcji Rolnictwa 4.0

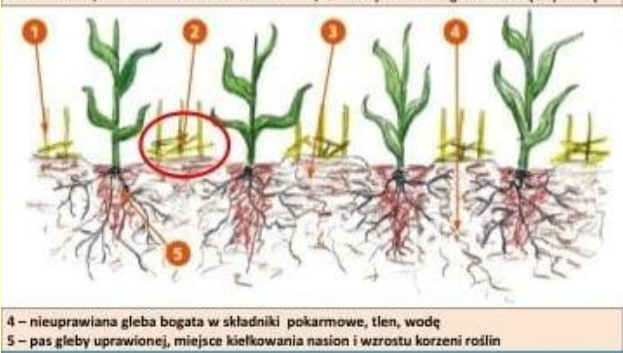
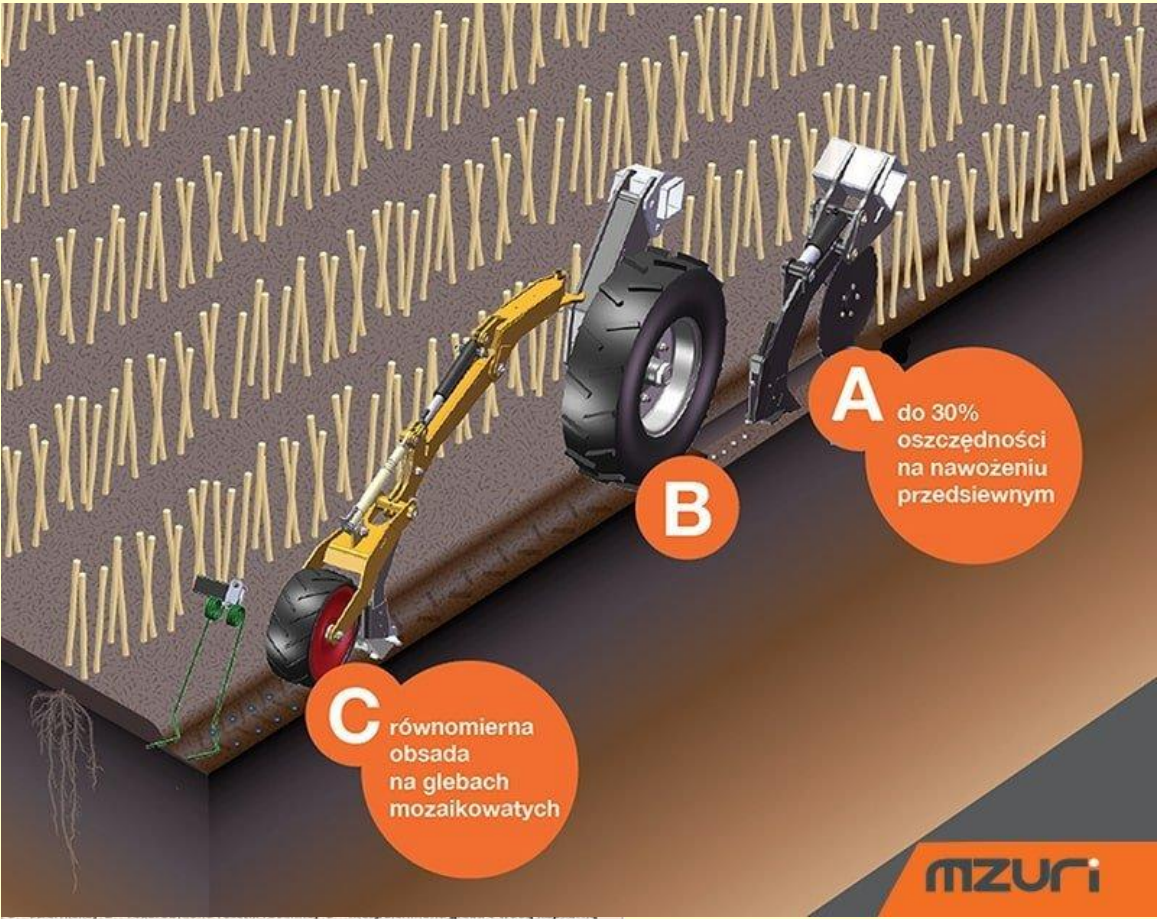
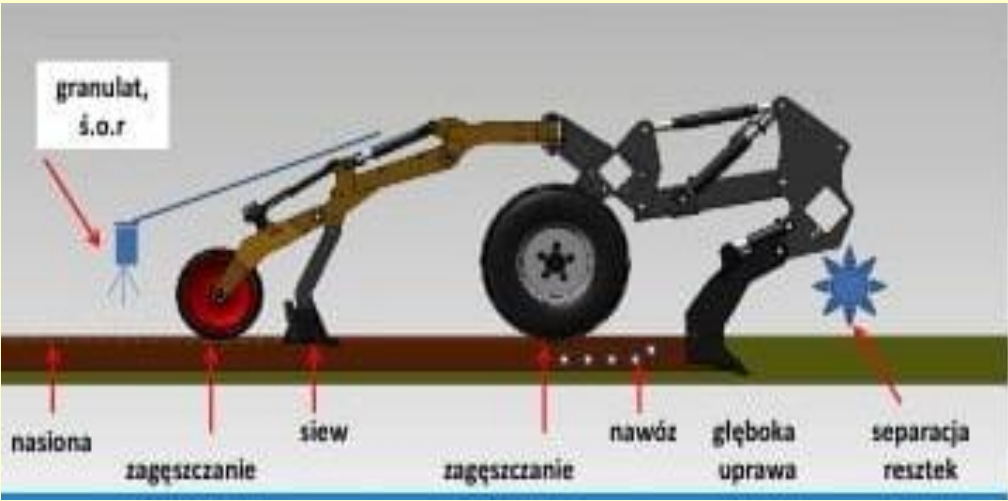
Siewniki 4.0 to nie tylko maszyny do wysiewu – to także czujniki i systemy zbierające dane, które pozwalają na precyzyjne prowadzenie upraw, lepsze planowanie zabiegów i dokumentację rolniczą



Komputer siewniki pobiera dane z chmury m.in. temperatury i wilgotności gleby, pH jak i ilości materii organicznej, a zintegrowane z systemem sterowania siewnikiem, który na podstawie tych danych może dobrać odpowiednią głębokość siewu oraz dawke nawozu

Każde nasiono zostaje zarejestrowane i policzone przez czujniki. Efektem tego jest inny sposób przeliczania – ziarno/ m² zamiast kg/ha.

Siew zbóż i podsiewanie nawozu w uprawie pasowo rzędowej



Wyzwania w nawożeniu w uprawie uproszczonej (strip-till, uprawie bezorkowej no-till, mulcz)

Wyzwania w nawożeniu: ograniczony dostęp do profilu glebowego, straty azotu, dystrybucja fosforu



Rozwiązania: nawożenie pasowe, aplikacja lokalna, nawożenie dolistne wspomagające

Maszyny kombinowane: siew + nawożenie + uprawa



Precyzyjny dozownik nawozów oraz niewielka szerokość robocza agregatu umożliwia dokładne dozowanie nawozu w każdym punkcie pola

Aplikator nawozów na przedniego tuza - Cymech FRONT 1600



Kierunki rozwoju

- Autonomiczne maszyny do nawożenia
- Systemy AI do prognozowania potrzeb nawozowych
- Nawozy inteligentne (kontrolowane uwalnianie, biostymulatory)
- Integracja z rolnictwem regeneratywnym



<https://www.futurefarming.com/tech-in-focus>



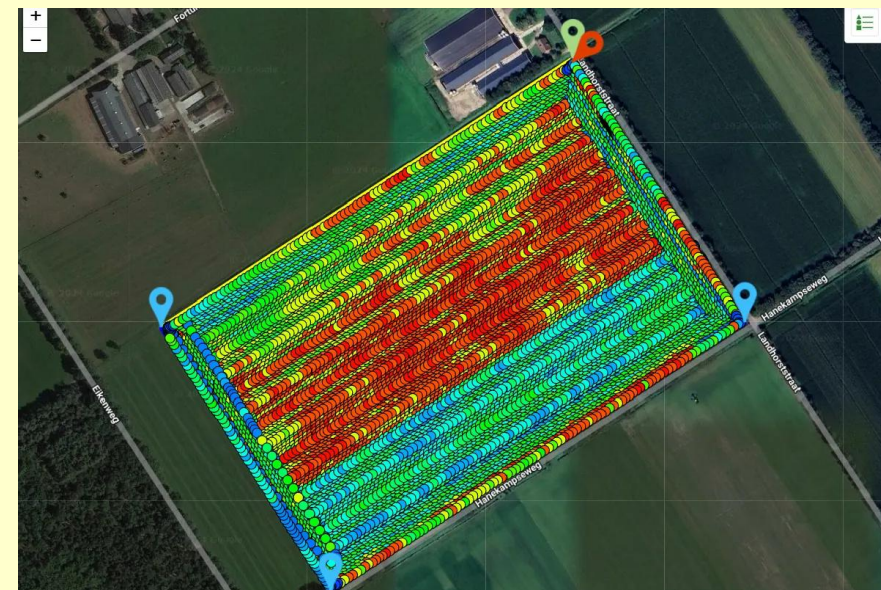
https://pit.lukasiewicz.gov.pl/en/autonomous-robot-enters-the-fields/?utm_source=chatgpt.com

Autonomiczny robot do nawadniania i nawożenia



<https://agtecher.com/pl/produkt/oscar-autonomous/>

Ciągnik autonomiczny AgXeed z kultywatorem i agregatem uprawowym, a może uprawowo-siewnym?

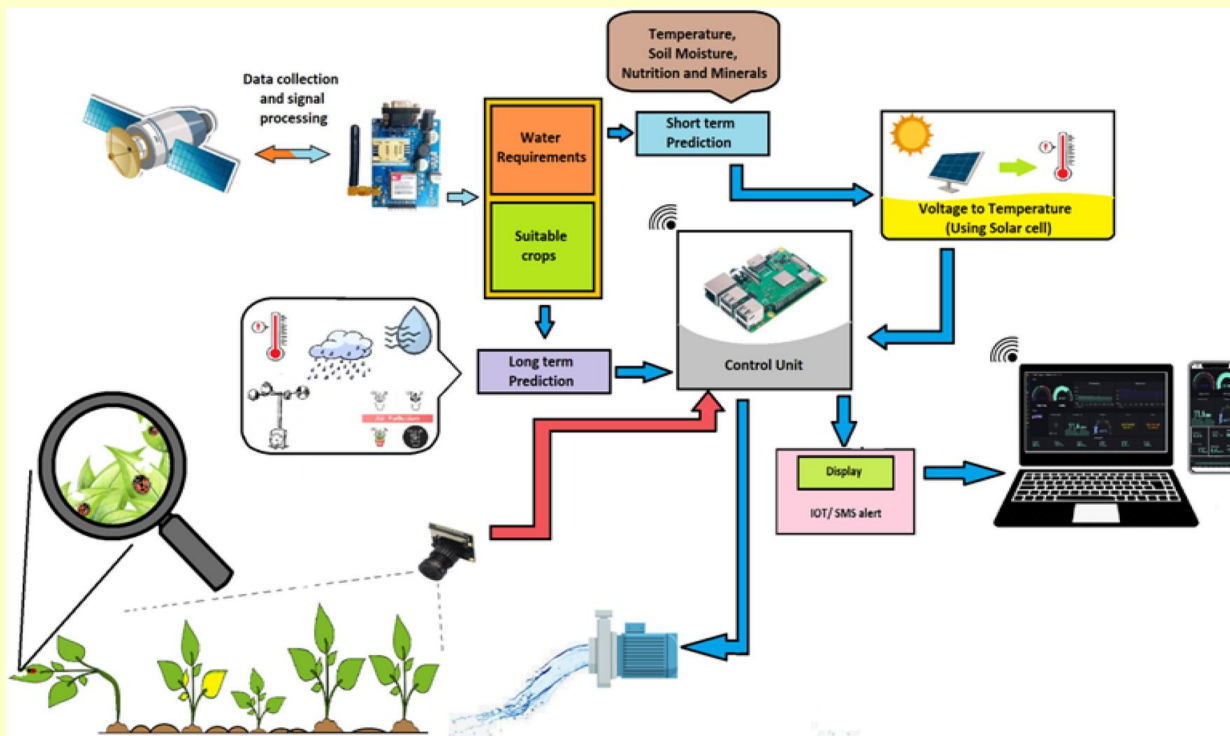


Mapa zużycia paliwa



<https://traktor24.pl/ciagnik-autonomiczny-agxeed-o-mocy-156-km-jak-wypadl-w-pracy-z-kultywatorem-i-agregatem-uprawowo-siewnym/>

Badanie systemu monitorowania rolnictwa z wykorzystaniem IoT i AI



<https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05526-1/figures/2>



Dziękuję za uwagę