

## PRODUKTY i METODY „WaterPUCK”

### Kalkulator wymywania azotu - CalcNPuck

Metoda szacowania wymywania azotu z poszczególnych pól w gospodarstwie rolnym w Gminie Puck - IOPAN

Ilości wymywanego azotu mogą znacznie różnić się z poszczególnych pól w danym gospodarstwie, dlatego też straty tego składnika w wyniku wymycia powinny być szacowane dla każdego pola oddzielnie. Klimat, rodzaj gleby i system gospodarowania (produkcji) na każdym polu są czynnikami decydującymi o wielkości tych strat. Podstawą szacunkowego określenia ilości wymywanego azotu jest znajomość czynników, które istotnie wpływają na intensywność tego procesu w każdym roku gospodarczym (uprawy). W rzeczywistości istnieje ogromna liczba czynników, które mają wpływ na wymycie N, ale na potrzeby bardzo szacunkowego określenia tej ilości niektóre z nich są traktowane jako kluczowe.

Bazując na doświadczeniach szwedzkich, za najważniejsze można uznać następujące czynniki:

- uprawa międzyplonów (ścierniskowe, ozime, wsiewki międzyplonowe);
- termin wykonania orki;
- aplikacja nawozów naturalnych, szczególnie w okresie jesiennym;
- dawki nawozów naturalnych i mineralnych w ciągu roku.

W tym opracowaniu przedstawiono metody szacowania wypłukiwania azotu z poszczególnych pól gospodarstwa. Podobne szacunki są wykorzystywane przez doradców w Szwecji. Wykorzystane do obliczeń tabele opracowano na podstawie pracy HOFFMANN i in. [1999] oraz ARONSSON i TORSTENSSON [2004], dokonując pewnych modyfikacji, odpowiednich do sytuacji w Polsce.

Wymywanie azotu zależy także od naturalnych czynników środowiskowych. W związku ze złożonością wpływu różnych czynników na ten proces do określania wymywanej ilości tego składnika stosuje się tzw. bazowe (podstawowe) wymycie. Stanowi ono równowartość strat na skutek wymycia N w konwencjonalnej uprawie zbóż, w warunkach zrównoważonego nawożenia mineralnego oraz orki wykonanej w połowie jesieni, ale bez stosowania nawozów naturalnych. „Wymycie bazowe” zmienia się w zależności od wielkości opadów, innych czynników klimatycznych, gleby i rodzaju produkcji.

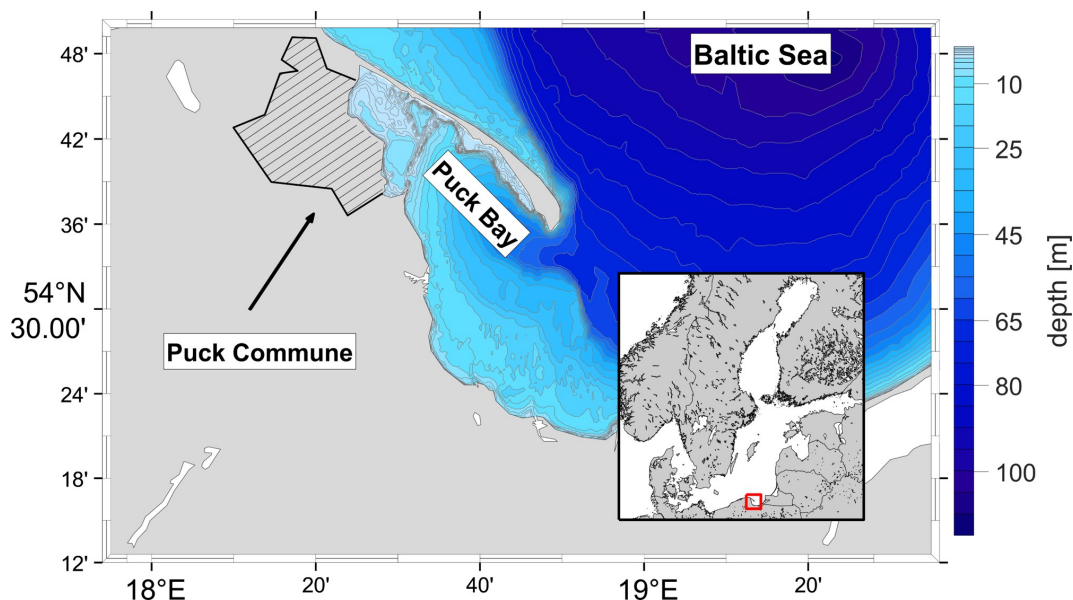
Obliczenie „wymycia bazowego” ma na celu oszacowanie ryzyka wystąpienia wymycia azotu w okresie typowego roku. Temperatura i opady rzadko są „normalne”, a występujące ich roczne zróżnicowanie w dużym stopniu wpływa na zmiany

w wymywaniu azotu w poszczególnych latach. Tego zróżnicowania nie uwzględniono w metodzie szacowania wymycia, przyjmując każdy rok za „normalny”.

Wartości statystyczne typowych plonów dla regionu wykorzystano do oszacowania „wymycia bazowego” w celu uniknięcia wpływu specyficznych warunków pogodowych, które mogą prowadzić do anormalnego poziomu zbiorów. Mimo wymienionych nieścisłości, obliczenia dotyczące wymycia azotu są bardzo ważne. Nie wykonuje się ich, aby dokładnie oszacować ilość wymytego azotu z konkretnego gospodarstwa, mają one pomóc rolnikowi uzyskać kompleksowy obraz gospodarstwa. Na ich podstawie można lepiej zrozumieć, które czynniki wywierają największy wpływ na straty wymycia azotu z danego gospodarstwa i jakie środki zaradcze należy podjąć, aby jak najbardziej ograniczyć te straty.

Niniejsza metoda szacowania wymycia azotu opracowana została z wykorzystaniem wyników projektu wspartego finansowo przez Federację Rolników Szwedzkich [Hoffmann i in. 1999]. Celem projektu było opracowanie metody wspomagania rolników w działaniach związanych ze zmniejszeniem wymycia azotu w polowej produkcji rolnej. Zaprezentowany model obliczeń został w okresie późniejszym przyjęty przez Szwedzką Radę Rolnictwa i zastosowany w komputerowym programie opracowanym na potrzeby doradztwa rolniczego.

W ramach projektu WaterPuck naukowcy z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie opracowali komputerowy program CalcNPuck dla wymywania azotu z poszczególnych pól uprawnych rolników z Gminy Puck (Rysunek 1) (Dybowski i in. 2020).



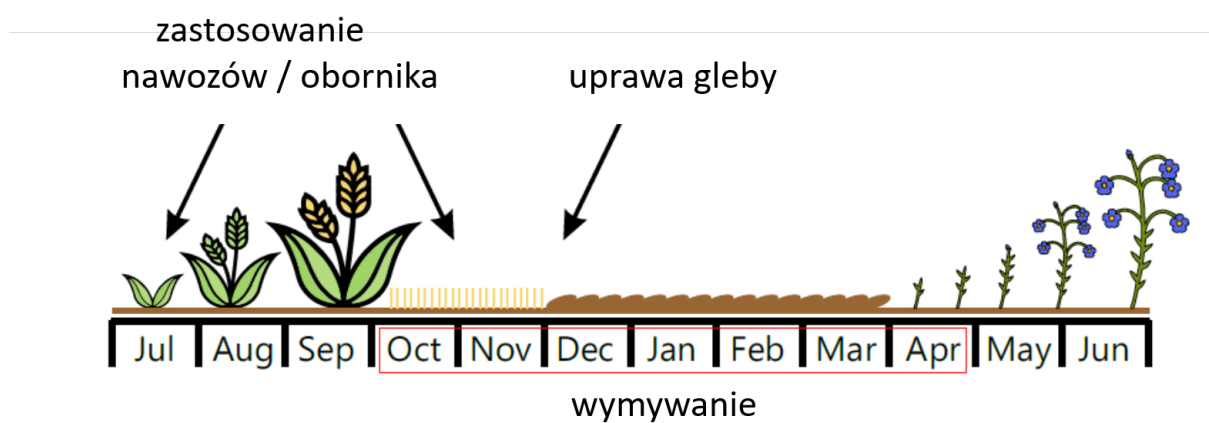
Rysunek 1. Obszar badań

Metoda szacowania ilości wymytego azotu z pola została dostosowana do polskich warunków przez zespół naukowy z Instytutu Technologii i Nauk Przyrodniczych w Falenty (Ulén i in., 2013).

Zakładamy, że sezon wegetacyjny trwa od 1 września poprzedniego roku do 31 sierpnia bieżącego roku. Wymywanie azotu rozpoczyna się na początku jesieni, bezpośrednio po zbiorach i trwa przez całą zimę, aż do początku sezonu wegetacyjnego (patrz Rysunek 2).

Ilość wymywania jest wynikiem wszystkich działań podjętych w poprzednim sezonie upraw, a głównymi czynnikami są:

- rodzaj roślin, które były uprawiane na polu w okresie letnim, przed rozpoczęciem jesiennego wymywania azotu;
- praktyki nawożenia roślin oraz uprawy gleby po ich zbiorze.



Rysunek 2. Okres wymywania azotu.

#### *Czynnik A - rodzaj gleby i wpływ klimatu*

W glebach o wysokiej zdolności sorpcyjnej składniki odżywcze dostarczane z nawozami (np. azot amonowy, potas, magnez) nie są wymywane do profilu glebowego i wód gruntowych, ale są aktywowane z kompleksu sorpcyjnego podczas rozwoju rośliny. Zdolność sorpcyjna ma również kluczowe znaczenie dla ograniczenia migracji i biodostępności metali śladowych. W glebach o nadmiernym zanieczyszczeniu metalem (np. kadm lub ołów) wysoka zdolność sorpcyjna zmniejsza wymywanie i przenoszenie metali do łańcucha pokarmowego. Całkowita zawartość azotu w glebie jest najbardziej zależna od zawartości próchnicy, warunków mineralizacji kształtowanych przez warunki wodne gleby i klimatu, rodzaju podłoża skalnego, kierunku i stopnia zaawansowania procesu tworzenia gleby. W glebach wykorzystywanych do celów rolniczych ważnym czynnikiem kształtującym zawartość azotu jest poziom nawożenia organicznego i mineralnego oraz płodozmian, zwłaszcza udział roślin strączkowych wiążących wolny azot z powietrza (Lityński i Jurkowska, 1982). Zdecydowana większość

azotu w glebie jest włączana w organiczną część stałej fazy gleby. Azot występuje w glebie w postaci związków mineralnych i organicznych oraz jako azot cząsteczkowy  $N_2$  w powietrzu glebowym. Pochodzi albo z nawożenia, albo z procesów mikrobiologicznych - amonifikacji i nityfikacji. Średnio związki nieorganiczne w glebie stanowią około 5-6% całkowitej zawartości azotu. Najłatwiej dostępną formą azotu dla roślin jest azot nieorganiczny z  $N-NH_4$ . Różni się znacznie w ciągu roku w zależności od warunków pogodowych, intensywności pobierania przez rośliny i ilości zastosowanego nawozu. Zawartość tych związków zmniejsza się wraz z głębokością.

Większość transformacji azotu zależy od aktywności mikroflory glebowej. Przemiany związków azotu w glebie mają znaczący wpływ na ogólny naturalny cykl azotowy. Bilans tych przemian determinuje warunki żywienia roślin azotem, a także określa stopień, w jakim stosują one nawożenie azotem. Mineralizacja azotu składa się z zestawu procesów prowadzących do powstania amoniaku lub azotu amonowego. Jest to niezbędne dla roślin, ponieważ azot amonowy jest formą bezpośrednio wchłanianą przez ich system korzeniowy i łatwo przekształca się w azotany, które są jeszcze łatwiej stosowane przez rośliny. Straty azotu w glebie są spowodowane uprawami roślin, erozją wody i wiatru oraz denitryfikacją. Azot w formie azotanu może być denitryfikowany lub wymywany, jeśli nie zostanie wchłonięty przez rośliny. Ponieważ jony azotanowe są bardzo ruchome w glebie, poruszają się jak woda, tj. zarówno w górę (jeśli opady atmosferyczne są bardziej intensywne niż transpiracja), jak i w dół (w przeciwnym razie). Dlatego realne zagrożenie wymywania azotu występuje tylko w zimowym półroczu, ponieważ w letnim półroczu tj. gdy temperatura przekracza  $5^{\circ}C$ , dominuje parowanie i woda przenika z głębszych warstw na powierzchnię. Dlatego w letnim półroczu wymywanie azotu jest rejestrowane tylko w sytuacji długotrwałych opadów. Niemniej jednak przy wysokiej zawartości azotanów w glebie istnieje ryzyko eutrofizacji wód powierzchniowych (zwłaszcza pierwszej warstwy), dlatego racjonalne zarządzanie nawozami powinno być stosowane zgodnie z wytycznymi Kodeksu dobrych praktyk rolniczych lub Dyrektywy Azotanowej.

Metoda zastosowana definiuje pojęcie tak zwanego wymywania bazowego jako ekwiwalentu strat wymywania azotu w konwencjonalnej uprawie zbóż, w warunkach zrównoważonego nawożenia mineralnego i orki w połowie jesieni, ale bez użycia nawozów naturalnych. Przy określaniu bazowej wartości wymywania wzięto pod uwagę rodzaj gleby i średnie opady w regionie.

Należy podkreślić, że podstawowe wymywanie nie określa dokładnej ilości wymywanego azotu z danego pola, ponieważ nie uwzględnia zmian temperatury, ilości opadów i innych ilości wpływających na wymywanie azotu z określonego roku pomiarowego. Pomimo tych uproszczeń podstawowe obliczenia wymywania mogą pomóc rolnikom lepiej zrozumieć, jakie czynniki wpływają na wymywanie azotu i jakie działania mogą podjąć, aby go zmniejszyć.

### *Czynnik B - rodzaj rośliny uprawianej w poprzednim sezonie*

Największe wymycie azotu występuje w okresie jesieni i zimy, tj. na początku każdego roku uprawowego. Jest ono w dużej mierze determinowane sposobem wykorzystania pola w poprzednim roku uprawowym. Zatem rośliny uprawiane w poprzednim zmianowaniu wpływają na poziom wymycia azotu w bieżącym cyklu uprawowym.

Jeśli więc zasiane zostaną nowe uprawy jesienią, wymywanie azotu zmniejszy się, co należy wziąć pod uwagę przy szacowaniu strat. Jeżeli przemienne użytki zielone zostaną przyorane wiosną przed wprowadzeniem nowej uprawy, wymywanie się nasili, dlatego odpowiedni współczynniki dla upraw powinny zostać pomnożone przez współczynnik 1,5 zanim zostaną wprowadzone do tabeli formularza.

Na przykład wskaźniki wymywania w przypadkach takich jak rośliny pastewne, ugory, buraki cukrowe i uprawy po zbiorach obejmują korekty (dostosowania) związane z innymi czynnikami przyczyniającymi się do zmniejszenia wymywania azotu, np. późna orka, uprawa bez orki.

### *Czynnik C - uprawa gleby*

Częsta uprawa roli i związane z nią mieszanie gleby stymulują uwalnianie z niej azotu azotanowego, zwłaszcza jeśli uprawa odbywa się na początku jesieni. W przypadku opóźnienia lub zaniechania prowadzenia upraw jesienią, wymywanie azotanów jest zmniejszone. Dlatego należy wziąć pod uwagę termin orki w poprzednim roku. Jeśli na polu pastewnym uprawiana jest roślina wieloletnia, należy zastosować współczynnik z wiersza „brak orki jesienią”. W przypadku ziemniaków, buraków i roślin okopowych należy założyć, że zbiory oznaczają to samo, co uprawa gleby późną jesienią.

### *Czynnik D - stosowanie nawozów naturalnych*

Jeśli nawóz naturalny jest stosowany jesienią, część zawartego w nim azotu zostanie wymyta. Ponadto z nawozem wprowadzony zostaje do gleby zarówno azot dostępny dla roślin (mineralny), jak i niedostępny dla nich azot organiczny, a uwalnianie azotu mineralnego z tego ostatniego nie zawsze jest zsynchronizowane z cyklem jego pobierania przez rośliny. Oznacza to, że ryzyko wymycia azotu nieznacznie zwiększa się również po wiosennej aplikacji. Do pól, na które zastosowano nawóz naturalny, zawsze będzie więc przypisany współczynnik większy niż 1,0. W warunkach wiosennej aplikacji obornika i płynnych nawozów naturalnych wymycie azotu jest tylko nieznacznie większe niż w przypadku zastosowania jedynie nawozów mineralnych w



zrównoważonych dawkach. Po zastosowaniu nawozów naturalnych jesienią wymycie jest natomiast większe niż po stosowaniu nawozów mineralnych. Gnojówka (mocz zwierząt gospodarskich wraz z możliwą niewielką ilością kału i/lub wody; zawiera przeciętnie 1–3% suchej masy) składa się głównie z dostępnego dla roślin azotu amonowego, dlatego jej działanie nawozowe może być porównywalne z działaniem azotowych nawozów mineralnych.

Obornik zawiera z kolei niemal wyłącznie azot w formie organicznej. Dlatego uwalnianie azotu mineralnego z obornika może być wolniejsze niż z innych nawozów naturalnych, zarówno stałych, jak i płynnych.

Prawdopodobnie najbardziej korzystne ze względu na wymywanie azotu jest stosowanie obornika jesienią, a nie wiosną. Istnieją rozbieżności w zakresie dopuszczalnego terminu stosowania nawozów, jednak przepisy w tym zakresie powinny być bezwzględnie przestrzegane (nawozy naturalne oraz organiczne w postaci płynnej i stałej powinny być stosowane w okresie od 1 marca do 30 listopada z wyjątkiem nawozów stosowanych na uprawach pod osłonami, tj. w szklarniach, inspektach, namiotach foliowych).

#### *Czynnik E - dodatkowe wymywanie azotu*

Jeśli pole jest nawożone nawozami naturalnymi lub mineralnymi w dawkach odpowiadających potrzebom pokarmowym uprawianych roślin, można uznać, że wymywanie azotu jest małe. Gdy zastosuje się zbyt duże dawki nawozów, wymycie zwiększy się, chociaż przedawkowanie tego składnika nie jest zamierzone.

Dzieje się tak na przykład podczas suszy letniej, ponieważ małe rośliny nie mogą w pełni korzystać z azotu wprowadzonego wraz z nawozami wiosną i wczesnym latem.

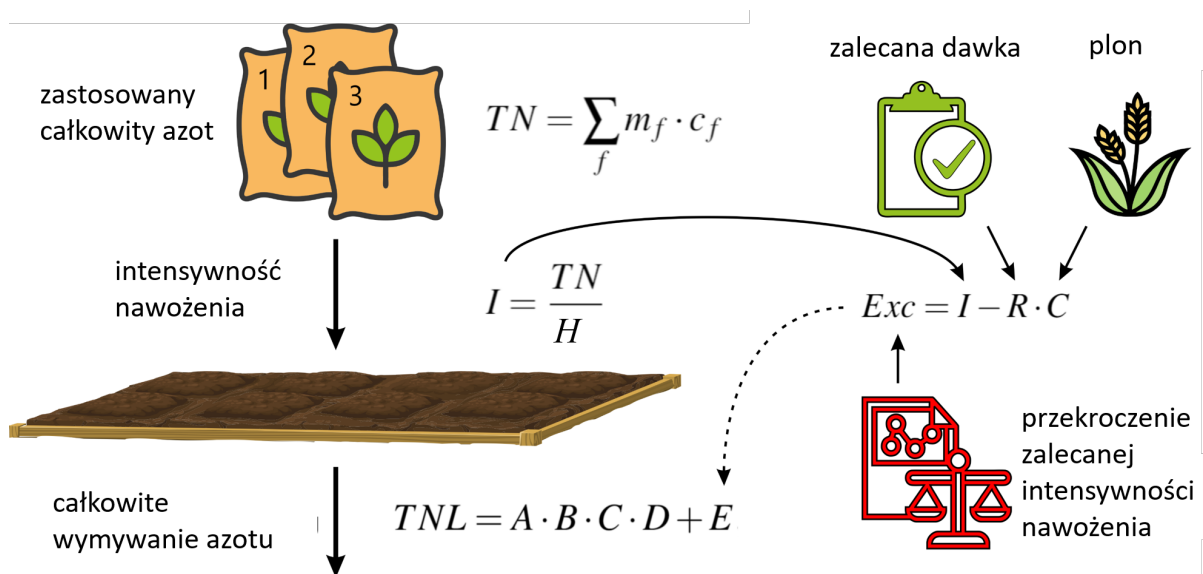
Podczas szacowania, czy a jeżeli tak, to o ile za dużo azotu zastosowano na pole, należy zacząć od oszacowania ilości azotu dostępnego dla roślin, który pozostał z poprzedniego sezonu wegetacyjnego, tzn. do całkowitej ilości azotu mineralnego dostarczonego w nawozach mineralnych i/lub naturalnych i należy dodać ilość przewidywanych dodatkowych strat na skutek wymywania ze względu na przekroczenie optymalnej dawki nawozów dla przeciętnych plonów uzyskiwanych na różnych glebach (wyrażone w kg N/ha). W ten sposób uzyskuje się sumę wymycia. Należy porównać ilość zastosowanego azotu z zalecaną jego dawką potrzebną do uzyskania zamierzonego (planowanego) plonu uprawianych roślin.

Dobrym źródłem informacji o zapotrzebowaniu roślin na składniki pokarmowe jest program działań mających na celu ograniczenie zanieczyszczenia wód azotanami ze źródeł rolniczych i zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi RP, 2018).

Zastosowana dawka azotu jest sumą ilości azotu z nawozu mineralnego i oczekiwanej (określonej w przybliżeniu) ilości azotu zawartej w naturalnych nawozach używanych do uprawy. Jeśli rzeczywista ilość azotu jest większa niż zalecana dawka to zostaje wyznaczone dodatkowe wymywanie azotu (kg/ha).

*Obliczenia – całkowita ilość wymywania azotu z pola*

Pierwszym krokiem przy obliczaniu całkowitej ilości wymycia azotu z pola (patrz Rysunek 3) jest określenie dodatkowego wymywania azotu z tabeli 5.



Rysunek 3. Schemat wymywania azotu całkowitego z obliczeń polowych.

Najpierw należy obliczyć intensywność nawożenia:

$$I = TN/H, \quad TN = \sum m_f \cdot c_f$$

gdzie  $I$  jest intensywnością nawożenia [ $\text{kg N ha}^{-1}$ ],  $TN$  oznacza całkowite obciążenie azotem przyłożone do pola [ $\text{kg N}$ ],  $H$  jest powierzchnią pola [ $\text{ha}$ ],  $m_f$  i  $c_f$  to odpowiednio masa nawozu [ $\text{kg}$ ] i zawartość azotu w konkretnym nawozie,  $f$  indeksuje nawozy stosowane na polu. W następnym kroku przekroczenie zalecanej intensywności nawożenia należy obliczyć jako:

$$Exc = I - R \cdot C$$

gdzie *Exc* jest nadmiarem nad zalecaną intensywnością nawożenia [kg N ha<sup>-1</sup>], *R* jest zalecanym ładunkiem azotu na tonę produktu [kg N tona<sup>-1</sup>], *C* to uprawa [tona ha<sup>-1</sup>]. W zależności od wartości *Exc*, dla danego rodzaju gleby, odpowiednia wartość szacowanego dodatkowego wymywania azotu *E* jest wybrana z Tabeli 5. Na koniec całkowita ilość wymywania azotu z pola jest obliczana jako:

$$TNL = A \cdot B \cdot C \cdot D + E;$$

gdzie *TNL* jest całkowitą ilością wymywaniem azotu z pola [kg N ha<sup>-1</sup>], *A* oznacza wymywanie bazowe [kg N ha<sup>-1</sup>] z Tabeli 1, *B* jest czynnikiem wpływającym na wymywanie bazowe w zależności od plonu w poprzednim roku z Tabeli 2, *C* jest współczynnikiem szacującym wpływ uprawy gleby na wymywanie bazowe azotu z Tabeli 3, a *D* jest współczynnikiem dodatkowych strat wymywania azotu w porównaniu z wymywaniem bazowym w zależności od rodzaju nawozu naturalnego (obornika) z Tabeli 4.

Badanie opinii publicznej przeprowadzono w 31 gospodarstwach w gminie Puck, co stanowi około 3,6% wszystkich gospodarstw w tej gminie. W badaniu rolnicy dostarczyli następujące dane dla wszystkich swoich pól:

- rodzaj gleby (określenie czynnika A)
- rodzaj uprawy (określenie czynnika B)
- data orki (wyznaczenie współczynnika C)
- informacje o oborniku (oznaczenie czynnika D)
- masa produktu (wyznaczenie współczynnika E)
- powierzchnia pola (wyznaczenie współczynnika E)
- rodzaje i masy nawozów mineralnych stosowanych na polu (wyznaczenie współczynnika E)

W ramach projektu WaterPUCK opracowano stronę internetową w formie interaktywnego kalkulatora, aby pomóc rolnikom w określeniu ilości wymywanego azotu z pola. Dostęp do kalkulatora można uzyskać za pośrednictwem głównej strony internetowej projektu [www.waterpuck.pl](http://www.waterpuck.pl) poprzez zakładkę „Usługi” na pasku nawigacyjnym (patrz Rysunek 4).

Metodę obliczania wymywania azotu z pola zaimplementowano jako zaplecze strony internetowej. Po wprowadzeniu poprawnych danych wejściowych wynik jest natychmiast odświeżany. Użytkownik może łatwo wprowadzić te same informacje, które zostały zebrane w sondażach do kalkulatora wymywania (patrz Rysunek 5).





Rysunek 4. Strona wyboru produktu Kalkulatora Wymywania Azotu CalcNPuck.

The image shows the 'Wymywanie azotu z pola' (Nitrogen leaching from the field) form. The form is divided into several sections. At the top, there is a title 'Wymywanie azotu z pola'. Below it, there are several input fields for nitrogen-related parameters: 'Wymycie bazy azotu [kg/ha]', 'Zawarość catowita azotu [kg]', 'Wymywanie zmodyfikowane [kg/ha]', 'PLON [t/ha]', 'Intensywność nawożenia [kg/ha]', 'Dodatkowe wymywanie [kg/ha]', 'Suma wymywania [kg/ha]', and 'Wymywanie z pola [kg]'. Below these fields, there are several sections for selecting parameters: 'Roślina' (Crop) with a dropdown menu, 'Przyoranie przemiennych użytków zielonych wiosną' (Priority of green crops in spring) with radio buttons for 'Nie' and 'Tak', 'Rodzaj gleby' (Soil type) with radio buttons for 'gleba piaszczysta', 'piasek gliniasty', 'gleba gliniasta', and 'gleba organiczna', 'Termin orki jesiennej' (Autumn sowing time) with radio buttons for 'Wczesna jesień (plus wrzesień)' and 'Późna jesień (październik-listopad)', and 'Nawóz naturalny' (Natural fertilizer) with radio buttons for 'Brak', 'Obornik', and 'Gnojownica'. There are also input fields for 'Masa produktu [dt]', 'Powierzchnia pola [ha]', and 'Wybór nawozu' (Fertilizer selection) with a dropdown menu. At the bottom, there are input fields for 'Nazwa nawozu' (Fertilizer name) and 'Masa nawozu [dt]' (Fertilizer mass).

Rysunek 5. Obliczanie ładunku wymywania azotu z pola uprawnego (wycinek ze strony internetowej).

Wprowadzanie danych jest bardzo proste, a wynik jest odświeżany na bieżąco. W rezultacie rolnik, doradca rolny lub inne zainteresowane strony mogą szybko i łatwo uzyskać informacje na temat:

- bazowe wymywanie azotu [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- całkowita masa zastosowanego azotu [kg],
- zmodyfikowane wymywanie azotu [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- plon [ $\text{tony ha}^{-1}$ ],
- intensywność nawożenia [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- dodatkowe wymywanie azotu [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- całkowite wymywanie azotu [ $\text{kg ha}^{-1}$ ],
- całkowity azot wymyty [kg].

Głównym założeniem projektowym napisanej witryny była prostota użycia oraz niezależność od rodzaju przeglądarki internetowej użytkownika. W celu implementacji prostego kalkulatora jako witryny internetowej wykorzystano lekką bibliotekę *jQuery*, która pozwala zrealizować wszystkie funkcje niezbędne do poprawnego działania kalkulatora tj. selektory, atrybuty oraz wystarczająco rozbudowana obsługa zdarzeń.

Korzystanie z kalkulatora wymywania azotu opisanego tutaj powinno pomóc rolnikom w wyborze odpowiedniej dawki nawozów zawierających azot, które będą stosowane na polu. Ponadto użytkownik kalkulatora może sprawdzić, jaki wpływ będzie miało użycie nawozów naturalnych na wymywanie azotu. Informuje również, które praktyki nawożenia zwiększają ryzyko nadmiernego wymywania azotu.

#### Literatura

Dawid Dybowski, Lidia Dzierzbicka-Głowacka, Stefan Pietrzak, Dominika Juszowska, and Tadeusz Puszkarczuk, 2020. Estimation of Nitrogen Leaching Load from Agricultural Fields in the Puck Commune with an Interactive Calculator. PeerJ (złożona do druku).