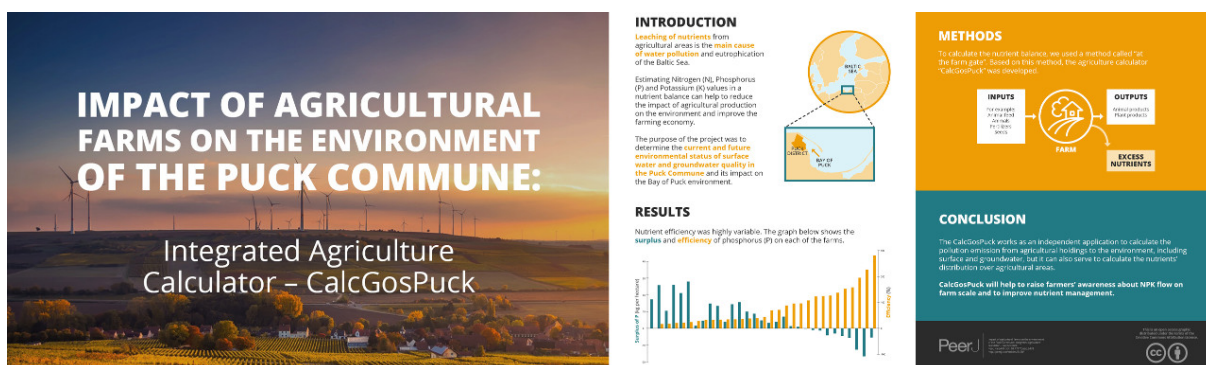


PRODUKTY i METODY „WaterPUCK”

Kalkulator gospodarstw rolnych CalcGosPuck –

BILANS SKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH METODĄ „U BRAMY GOSPODARSTWA” - IOPAN



Gospodarstwo rolne jest podstawową jednostką organizacyjną w rolnictwie. Produkowana jest w nim żywność oraz surowce dla przemysłu. W procesie produkcji angażuje się duże ilości składników nawozowych, z których tylko część zostaje przetworzona na produkty roślinne i zwierzęce. Część niewykorzystana w produkcji – zwana nadmiarem, nadwyżką lub stratami – jest kumulowana w glebie bądź migruje do wód powierzchniowych i podziemnych oraz do atmosfery. Straty składników nawozowych wywołują negatywne skutki gospodarcze (zmniejszenie produkcji, większe nakłady na środki produkcji) oraz stwarzają zagrożenie dla środowiska naturalnego. Dla środowiska szczególnie niebezpieczne są związki azotu i fosforu rozpraszane na skutek produkcji rolnej w następstwie takich zjawisk, jak:

- spływ powierzchniowy,
- spływ podpowierzchniowy (śródpokrywowy),
- erozja wodna i wietrzna (przenoszenie przez wodę i wiatr związków azotu i fosforu wraz z cząsteczkami gleby);
- wymywanie (przeziak);
- emisje gazowych form azotu (amoniak, tlenki azotu (II i IV) i ich depozycja (wnoszenie) z opadami atmosferycznymi.

Straty składników nawozowych są zjawiskiem nieuniknionym, jednak zarówno ze względu na wymogi ochrony środowiska, jak i ekonomikę produkcji należy je w jak największym stopniu ograniczać. Istnieje zatem potrzeba kształtowania warunków prowadzenia produkcji w gospodarstwie rolnym w sposób zapewniający efektywne gospodarowanie składnikami nawozowymi, w czym pomocne mogą być bilanse składników nawozowych, wykonywane metodą „u bramy gospodarstwa”. Na ich podstawie, zwłaszcza bilansu azotu i fosforu, można wyciągnąć wiele praktycznych wniosków, służących zmniejszeniu presji produkcji rolnej na środowisko oraz poprawie

efektów ekonomicznych gospodarowania. To ostatnie wynika m.in. z faktu, że efektywniejsze wykorzystanie składników nawozowych przyczynia się do mniejszych wydatków na nawozy mineralne bądź pasze. W związku z tym celowe jest szerokie upowszechnienie bilansowania składników nawozowych, przede wszystkim wśród wykwalifikowanych rolników i doradców rolnych.

Przedmiotem naszych badań w ramach III konkursu strategicznego BIOSTRATEG jest budowa Zintegrowanego Serwisu informacyjno-predykcyjnego dla Gminy Puck poprzez opracowanie systemu komputerowego udostępniającego usługę „WaterPUCK”, która w sposób czytelny i praktyczny oceni wpływ gospodarstw rolnych i struktury użytkowania terenu na wody powierzchniowe i gruntowe na obszarze Gminy Puck, a w konsekwencji na jakość wód Zatoki Puckiej.

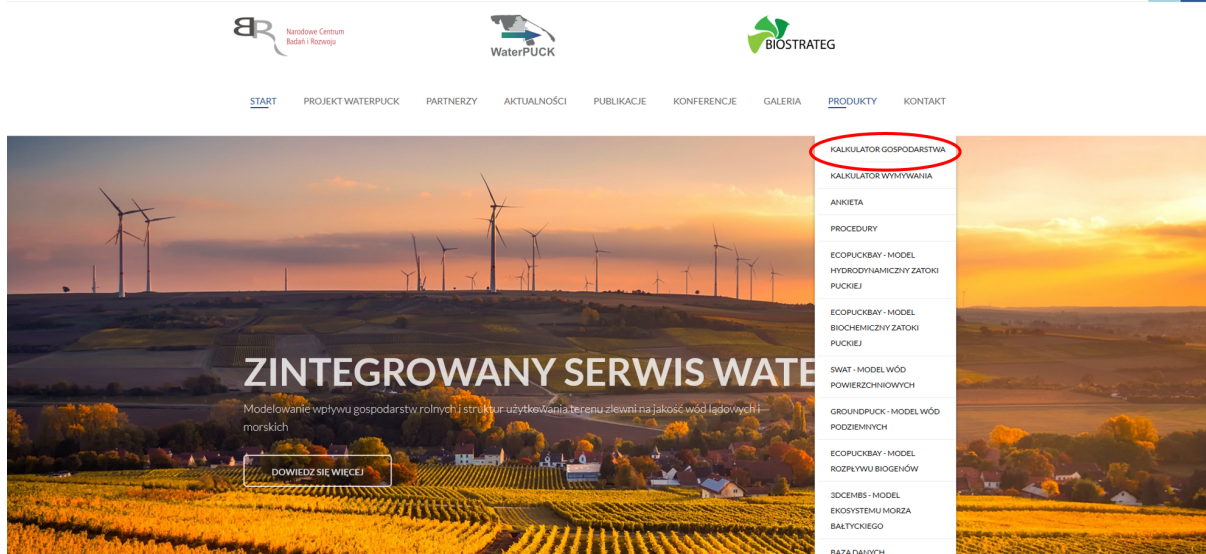
Budowa serwisu oparta będzie o badania *in situ*, dane środowiskowe (chemiczne, fizykochemiczne i hydrologiczne) oraz modelowanie numeryczne. Serwis WaterPUCK to zintegrowany system składający się z połączonych ze sobą komputerowych modeli, działający w sposób ciągły poprzez zasilanie go danymi meteorologicznymi składał się będzie z 4 głównych modułów – modeli systemu: i) kompleksowego modelu spływu wód powierzchniowych opartego na kodzie SWAT, ii) numerycznego modelu przepływu wód podziemnych opartego na kodzie Modflow, iii) trójwymiarowego numerycznego modelu ekosystemu Zatoki Puckiej opartego na kodzie POP oraz dodatkowo z kalkulatora gospodarstw rolnych w Gminie Puck jako interaktywna aplikacja.

W ramach projektu WaterPuck naukowcy z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie opracowali komputerowy program kalkulator gospodarstw rolnych w Gminie Puck CalcGosPuck dla wyznaczenia bilansu składników nawozowych w skali gospodarstwa (Dzierzbicka-Głowacka i in. 2019).

Kalkulator gospodarstw rolnych w Gminie Puck CalcGosPuck jest jedną z dwóch usług dla rolników prezentowanych w serwisie WaterPuck. Dostęp do kalkulatora można uzyskać za pośrednictwem głównej strony internetowej projektu www.waterpuck.pl poprzez zakładkę „Usługi” na pasku nawigacyjnym (patrz Rysunek 1).

Interaktywna aplikacja CalcGosPuck określała wskaźniki presji wywieranej na środowisko - a w szczególności na wody powierzchniowe i gruntowe, przez gospodarstwa rolne położone w gminie Puck, w zakresie dotyczącym rozpraszanych z nich (traconych w procesie produkcji rolnej) ładunków azotu, fosforu i potasu.

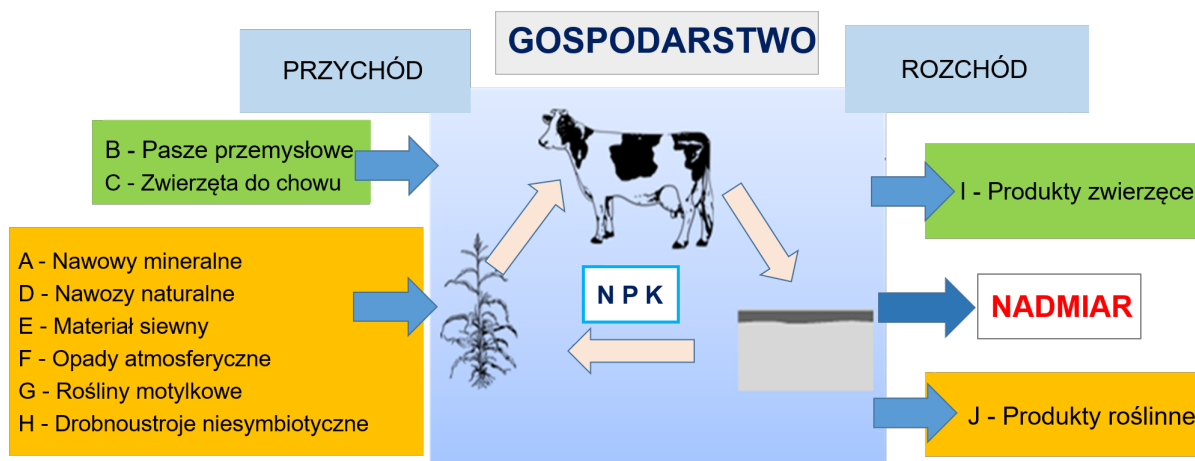
Zdefiniowane w kalkulatorze praktyki rolnicze mają największy wpływ ilość zanieczyszczeń jaka przedostaje się do wód powierzchniowych i gruntowych oraz z czysto hydrologicznego punktu widzenia na wielkość ewapotranspiracji. Należy podkreślić, że niepewność zawarta w danych podanych przez rolników jest nieznaczna – praktyki agrotechnicznych rolników w zasadzie zostały uchwycone w systemie operującym CalcGosPuck w skali Gminy Puck, uwzględniając różnego typu 31 gospodarstw.



Rysunek 1. Strona projektu WaterPuck i wyboru produktu Kalkulatora Gospodarstwa CalcGosPuck.

Ogólna koncepcja bilansu składników nawozowych w skali gospodarstwa

Bilanse składników nawozowych „u bramy gospodarstwa” są najczęściej obliczane w odniesieniu do azotu, fosforu i potasu. Zasada ich sporządzania jest taka sama, z tym że w przypadku azotu obejmują one więcej elementów (co wynika z większej liczby źródeł wnoszenia azotu do gospodarstwa, np. przez rośliny motylkowate).



Rysunek 2. Schemat bilansu składników nawozowych metodą „u bramy gospodarstwa”;

Procedura bilansowania składników nawozowych metodą „u wrót gospodarstwa” została szczegółowo opisana przez Stefana Pietrzaka (Pietrzak 2013). Sporządzanie bilansu składników nawozowych metodą „u wrót gospodarstwa” polega na wyznaczeniu strumieni ich przychodu i rozchodu w gospodarstwie rolnym (Rysunek 2).

Interaktywna aplikacja CalcGosPuck

Zgodnie z przyjętą koncepcją metody „u bramy gospodarstwa”, kalkulator dla gospodarstw CalcGosPuck został opracowany.

CalcGosPuck pracuje jako interaktywna aplikacja to wyznaczenia przychodu i rozchodu w gospodarstwie, a następnie nadmiaru i efektywności gospodarstwa.

Masa składników nawozowych wnoszonych do gospodarstwa (przychód) jest obliczana przez:

- A: Ilość składników wnoszonych w nawozach mineralnych
- B: Ilość składników nawozowych wniesionych z paszami przemysłowymi
- C: Ilość składników wnoszonych w zakupionych zwierzętach do chowu
- D: Ilość składników wnoszonych w nawozach naturalnych
- E: Ilość składników wnoszonych w innych zakupionych materiałach do produkcji rolnej
- F: Ilość składników wnoszonych w opadzie atmosferycznym (przyjęto dla województwa pomorskiego)
- G: Ilość azotu wnoszonego przez rośliny motylkowate
- H: Ilość azotu wnoszonego przez mikroorganizmy glebowe (w obliczeniach przyjęto 8 kg N/ha)

Obliczanie ilości składników nawozowych wynoszonych z gospodarstwa (rozchód) jest przez:

- I: Ilość składników wyniesiona w sprzedanych produktach rolnych – zwierzęcych
- J: Ilość składników wyniesiona w sprzedanych produktach rolnych – roślinnych

Obliczanie masy składników nawozowych wnoszonych do gospodarstwa przez:

A - Ilość składników wnoszonych w nawozach mineralnych

Ilość azotu, fosforu lub potasu wniesionych do gospodarstwa w nawozach mineralnych, oblicza się sumując iloczyny masy zakupionych nawozów przez odpowiadającą im zawartość N, P lub K w nawozie (wzór – tabela A). W przypadku braku w tabeli I potrzebnych do obliczeń danych dotyczących zawartości N, P i K w nawozach należy je pozyskiwać z innych źródeł, np. z literatury fachowej i etykiet na opakowaniach nawozów.

W kalkulatorze uwzględniono nawozy stosowane w Gminie Puck i te najczęściej używane są przez gospodarzy w Polsce.

B - Ilość składników wnoszonych z paszami przemysłowymi

Ilość składników nawozowych wniesionych z paszami przemysłowymi oblicza się, sumując iloczyny masy zakupionych pasz i odpowiadające im, zawartości azotu fosforu i potasu w paszy.

C - Ilość składników wnoszonych w zakupionych zwierzętach do chowu

Ilość azotu, fosforu lub potasu, które zostały wniesione do gospodarstwa w zakupionych zwierzętach do chowu, oblicza się, sumując iloczyny masy zakupionych zwierząt i odpowiadające im zawartości N, P lub K w organizmie zwierząt.

D - Ilość składników wnoszonych w nawozach naturalnych

Ilość azotu, fosforu lub potasu, które wniesiono do gospodarstwa w nawozach naturalnych, oblicza się, sumując iloczyny masy zakupionych nawozów i odpowiadającej im zawartości N, P lub K w nawozie.

E - Ilość składników wnoszonych w innych zakupionych materiałach do produkcji rolnej

Do innych zakupywanych przez gospodarstwa rolne produktów i surowców zawierających składniki nawozowe należą m.in.: pasze objętościowe (np. siano, kiszonki), pasze białkowe (np. soja, rzepak, otręby), pasze energetyczne (np. śruty zbożowe, wysłodki buraczane), materiał siewny, słoma. Ilość składników w nich wniesionych oblicza się, sumując iloczyny masy zakupionych produktów (surowców) i odpowiadającej im zawartości N, P i K.

F - Ilość składników wnoszonych w opadzie atmosferycznym

Masę składników nawozowych wnoszonych do gospodarstwa w opadzie atmosferycznym oblicza się, mnożąc powierzchnię użytków rolnych gospodarstwa przez ładunek N, P i K wnoszonych na hektar powierzchni w opadzie atmosferycznym.

G - Ilość azotu wnoszonego przez rośliny motylkowe

Bakterie symbiotyczne (brodawkowe) z rodzaju *Rhizobium* wiążą azot z atmosfery, współżyjąc z roślinami motylkowatymi. W procesie tym bakterie wiążące azot cząsteczkowy przetwarzają go w amoniak (NH_3) lub aminokwas – glutaminę i w tej formie przekazują komórkom roślinnym, z kolei rośliny zaopatrują bakterie w związki węgla i zapewniają bakteriom warunki do rozwoju. W biomasie roślin (części nadziemne i korzenie) znajduje się azot pobrany przez nie z gleby i związany symbiotycznie.

W mieszkankach roślin motylkowatych z trawami z części azotu pobranego przez motylkowate z atmosfery korzystają też trawy. Transfer następuje w środowisku glebowym oraz pośrednio przez wypasane zwierzęta, w wyniku pozostawiania przez nie odchodów. Ilość azotu cząsteczkowego wiązanego symbiotycznie przez rośliny motylkowate zależy od ich gatunku i plonu, a także od uwarunkowań glebowo-klimatycznych.

Ilość azotu zasymilowanego przez bakterie brodawkowe można oszacować jako sumę iloczynów powierzchni upraw roślin motylkowatych w gospodarstwie, plonu ich części nadziemnych (w zielonej masie) i wskaźnika symbiotycznego wiązania azotu.

H - Ilość azotu wnoszonego przez mikroorganizmy glebowe

Ilość azotu wiązanego przez drobnoustroje wolno żyjące w różnych glebach przyjęto 8 kg N/ha/year.

Publikacje na temat ilości azotu atmosferycznego wiązanego przez niesymbiotyczne drobnoustroje w glebach na terenie Środkowej Europy są nieliczne. W Polsce takie badania zrealizowano dotychczas na niewielką skalę. Przyjmuje się, że ilość azotu wiązanego niesymbiotycznie w glebach ornym w Polsce wynosi 8–25 kg N/ha rocznie, przy czym wartość dolna odnosi się do gleb lekkich, a górna – do gleb ciężkich [Mazur (red.) 1991 za Beresteckim 1984]. Według niektórych szacunków w gospodarstwach ekologicznych wolno żyjące organizmy glebowe wiążą azot w ilości do 100 kg N/ha/rok [Tyburski 1993]. W literaturze anglojęzycznej najczęściej wyraża się pogląd, że maksymalna ilość azotu wiązanego rocznie przez wolno żyjące bakterie wynosi około 20 kg N/ha [CSIRO 2006].

Masę azotu wnoszonego przez drobnoustroje niesymbiotyczne oblicza się, mnożąc powierzchnię użytków rolnych gospodarstwa przez wskaźnik charakteryzujący ilość azotu wnoszonego przez te drobnoustroje.

Obliczanie ilości składników nawozowych wynoszonych z gospodarstwa

I i J- Ilość składników wyniesiona w sprzedanych produktach rolnych

Ilość składników wynoszonych z gospodarstwa w sprzedanych produktach rolnych²⁾ oblicza się, sumując iloczyny masy sprzedanych produktów roślinnych i zwierzęcych przez odpowiadającą im zawartość składników nawozowych.

Do masy składników wynoszonych z gospodarstwa w sprzedanych produktach rolnych należy dodać ewentualną masę składników wynoszonych w wyniku zdarzeń losowych nieprzewidywalnych i niezależnych od woli człowieka). Mogą to być upadki zwierząt (padłe zwierzęta oddaje się do utylizacji), zniszczenie plonu przez pożar czy jego zmycie

²⁾ Zgodnie z załącznikiem I do Traktatu Ustanawiającego Wspólnotę Europejską (Dz.Urz. WE C 235 z 24.12.2002 r. produkty rolne to płody ziemi, produkty pochodzące z hodowli i rybołówstwa, jak również produkty pierwszego przetworzenia, które pozostają w bezpośrednim związku z tymi produktami.

przez wody powodziowe, gdy następuje wyniesienie składników nawozowych poza gospodarstwo. Ilości wyniesionych w ten sposób składników oblicza się, sumując iloczyny masy produktów utraconych w wyniku wypadków losowych i odpowiadające im zawartości N, P i K, jak w przypadku produktów sprzedanych.

K - Obliczanie nadmiaru azotu, fosforu i potasu oraz efektywności wykorzystania tych składników

Po oszacowaniu wszystkich składowych bilansu oblicza się całkowite nadmiary azotu, fosforu i potasu, nadmiary jednostkowe tych składników jako stosunek nadmiaru całkowitego do powierzchni użytków rolnych gospodarstwa oraz efektywność ich wykorzystania. Efektywność wykorzystania składników nawozowych jest to wyrażony w procentach stosunek ich ilości wyniesionej z gospodarstwa i ilości wniesionej do niego. Efektywność tę oblicza się w celu określenia, w jakim stopniu wprowadzone do gospodarstwa składniki nawozowe są zużywane bezpośrednio na cele produkcyjne.

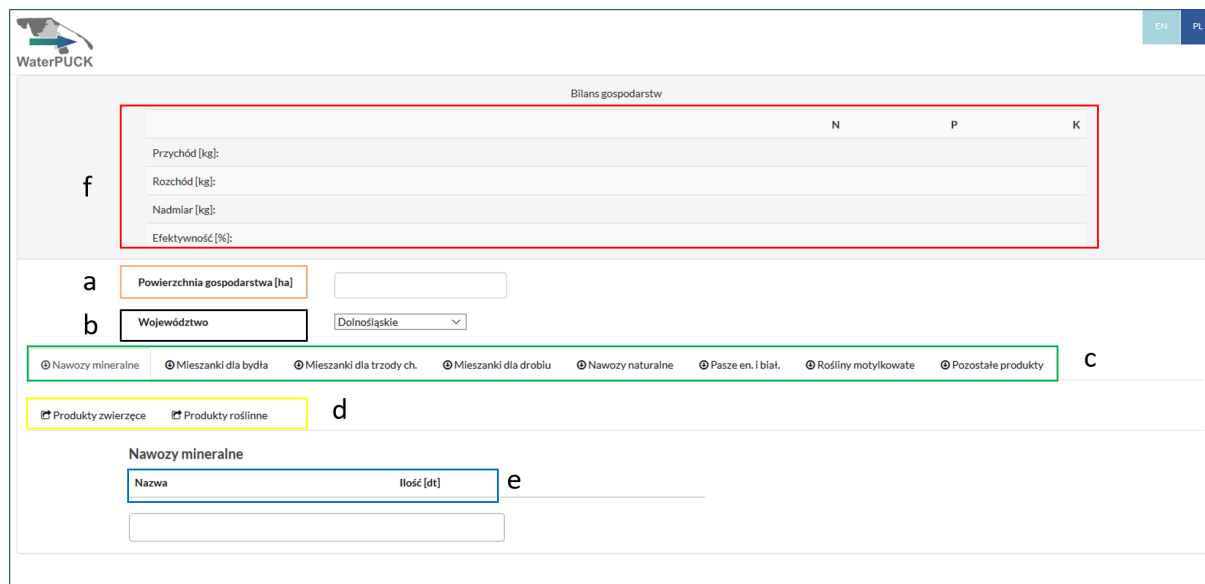
Zgodnie z metodą koncepcyjną „przy bramie gospodarstwa” opracowano kalkulator gospodarstw rolnych „CalcGosPuck”. Głównym założeniem projektowym napisanej witryny była prostota użycia oraz niezależność od rodzaju przeglądarki internetowej użytkownika. W celu implementacji prostego kalkulatora jako witryny internetowej wykorzystano lekką bibliotekę *jQuery*, która pozwala zrealizować wszystkie funkcje niezbędne do poprawnego działania kalkulatora tj. selektory, atrybuty oraz wystarczająco rozbudowana obsługa zdarzeń.

Kalkulator CalcGosPuck działa jako niezależna aplikacja przeznaczona do obliczania przychodu i rozchodu składników odżywczych, a następnie nadwyżki/deficytu i wydajności wykorzystania składników odżywczych w gospodarstwie. Użytkownik podaje wielkość gospodarstwa i wybiera wymagane województwo, produkty wejściowe i wyjściowe w celu zrównoważenia i podaje ich ilość. CalcGosPuck działa poprawnie (patrz strona internetowa www.waterpuck.pl in Service - rysunek 1).

Należy wprowadzić określone dane (ryc. 3) do kalkulatora CalcGosPuck w celu określenia przychodu, rozchodu, nadwyżki NPK (lub deficytu) i wydajności wykorzystania składników odżywczych w gospodarstwie:

- (i) obszar gospodarstwa (w hektarach) (ryc. 3 a);
- (ii) województwo, w której funkcjonuje gospodarstwo (ryc. 3 b);
- (iii) wybrane wskaźniki tego, co jest importowane do gospodarstwa (nawozy mineralne, skoncentrowana pasza (mieszana pasza dla bydła, mieszana pasza dla świń, mieszana karma dla drobiu), zakupione produkty zwierzęce, nawozy naturalne, inne zakupione produkty roślinne, rośliny motylkowe i mikroorganizmy glebowe) (ryc. 3 c);
- (iv) wybierz wskaźniki tego, co jest eksportowane z gospodarstwa (w sprzedawanych produktach zwierzęcych i roślinnych) (ryc. 3 d);
- (v) podać ilość każdego wybranego wskaźnika (ryc. 3 e).

Po wybraniu każdego parametru podstawowe dane są automatycznie ustawiane na wejściu (przychód, rozchód) i wyjściu (nadwyżka lub deficyt = wartość ze znakiem minus) i dane związane z wydajnością gospodarstwa są wyświetlane w górnym pasku (ryc. 3 f). Na rysunku 4 pokazano przykład działania kalkulatora CalcGosPuck.



Rysunek 3. Strona działania kalkulatora gospodarstw rolnych CalcGosPuck

Obliczeniom zostało poddane 31 ankietyzowanych gospodarstw rolnych gminy Puck, co stanowi ok. 3,6% wszystkich gospodarstw zlokalizowanych w tej gminie. Gospodarstwa te posiadają powierzchnię w granicach od 5 do 130 ha (średnio 45,82 ha) w tym powierzchnię gruntów ornych i użytków zielonych odpowiednio w przedziałach od 4,45 do 130 ha (średnio 30,79 ha) i od 0 do 53 ha (średnio 12,77 ha).

Zastosowanie kalkulatora (na przykładzie gospodarstwa oznaczonego Kodem 9) Krok 1: Wprowadź obszar AL [w ha]: 70; Krok 2: Wybierz województwo: Pomorskie; Krok 3: Wybierz dane wejściowe i ich kwoty: -w nawozy mineralne: mocznik = 100 dt, azotan amonu = 50 dt, -w paszy energetycznej i białkowej: placek rzepakowy dla zwierząt = 240 dt, suszona pulpa = 150 dt, mączka sojowa po ekstrakcji = 400 dt; - w innych produktach roślinnych i zwierzęcych: kukurydza (ziarno) = 120 dt, jałówki = 15 dt; Krok 4: Wybierz produkty wyjściowe i ich ilość: – produkty zwierzęce: mleko = 3500 dt, bydło mleczne = 35 dt obliczenia (ryc. 6F): Budżet: Nadmiar: N: 10 996,00 kg; P: 609,00 kg; K: 645,95 kg; Wydajność: N: 977,50 kg; P: 375,90 kg; K: 530,95 kg.

Wpływ środowiskowy badanych gospodarstw rolnych w gminie Puck (który można uznać za reprezentatywnych dla całej kolektywności w tej gminie) był głównie związany z ilością zużytych mineralnych nawozów azotowych i fosforowych w tych gospodarstwach, a także praktykami i warunkami ich stosowania. Średnie zużycie nawozów azotowych na hektar użytków rolnych na badanym obszarze było znacznie wyższe w porównaniu do ich średniego zużycia jednostkowego w Polsce, natomiast średnie zużycie nawozów P było nieco niższe niż średnia krajowa. W momencie stosowania tych nawozów wzięto pod uwagę zalecenia dotyczące zmniejszenia ich wpływu na środowisko. Ilość zakupionych nawozów N, P i K miała znaczący wpływ na wyniki bilansów składników pokarmowych oszacowane metodą „Przy bramie gospodarstwa”. Wyniki bilansów składników pokarmowych pokazały w szczególności, że średnia nadwyżka N, P i K wytworzona przez analizowane gospodarstwa wahała się w granicach 120,6 kg N, 5,0 kg P i 10,8 kg K · ha⁻¹ AL. Porównując nadwyżkę składników pokarmowych w gospodarstwach rolnych gminy Puck z podobnymi gospodarstwami i systemami gospodarstw, na przykład w krajach o rozwiniętym rolnictwie, takich jak Francja i Szwecja, średnią nadwyżkę N i P w obszarze badań można ocenić jako umiarkowaną, a średnią nadwyżkę K jako mieszczącą się w przedziale jego średnich wartości typowych dla gospodarstw w Polsce. Niezależnie od powyższego wyniki szacowanego bilansu NPK dobrze pokazały ich praktyczny wymiar. W tym względzie należy wskazać, że oszacowanie wartości N, P i K w bilansie składników odżywczych może prowadzić do wielu praktycznych wniosków, które pomogą zmniejszyć wpływ produkcji rolnej na środowisko i poprawić ekonomikę rolnictwa. Przykładem tego drugiego mogą być wyniki bardziej efektywnego wykorzystania składników odżywczych w gospodarstwie i niższe wydatki na nawozy i pasze. Dlatego wiedza na temat szacowania bilansów składników odżywczych powinna być szerzej rozpowszechniona, szczególnie wśród rolników i doradców rolnych.

Pomocną rolą w tym obszarze może być program opracowany w ramach projektu WaterPUCK o nazwie „Zintegrowany kalkulator rolny - CalcGosPuck”. CalcGosPuck działa jako niezależna aplikacja do obliczania emisji zanieczyszczeń z gospodarstw rolnych do środowiska, w tym powierzchni i wód gruntowych, ale może również służyć do obliczania dystrybucji składników odżywczych na obszarach rolniczych.

Podsumowanie

- ✓ Kalkulator CalcGosPuck jest adresowany do producentów rolnych oraz doradców rolniczych, jako narzędzie do sporządzania planów nawożenia w gospodarstwach rolnych dla gruntów ornych w zgodzie z zasadami zrównoważonej gospodarki składnikami mineralnymi.
- ✓ W gospodarstwach zrównoważonych nawożenie mineralne należy traktować, jako uzupełnienie nawożenia organicznego. Podstawą zrównoważonego nawożenia jest możliwie precyzyjne określenie ilości dostępnych w gospodarstwie nawozów naturalnych oraz ilości zawartych w nich składników pokarmowych.

- ✓ Integralną częścią CalGosPuck jest moduł umożliwiający symulowanie produkcji nawozów naturalnych na podstawie informacji o produkcji zwierzęcej w gospodarstwie. Obliczona ilość nawozów naturalnych powinna być rozdysponowana na poszczególne pola w gospodarstwie. Obliczona ilość nawozów naturalnych powinna być rozdysponowana na poszczególne pola w gospodarstwie tak by nie przekroczyć dopuszczalnej rocznej dawki 170 kg azotu.
- ✓ Inną funkcją, jaką spełnia program jest ocena wpływu nawożenia na środowisko przez kontrolę salda bilansu składników wyznaczane metodą „u bramy gospodarstwa”.
- ✓ Dodatnia wartość salda wskazuje, że dopływ składników pokarmowych (N, P, K) na danym polu przewyższa ich pobranie z plonami. Wartość ujemna oznacza, że pobranie przez rośliny jest większe od dopływu składników.
- ✓ CalGosPuck ma charakter systemu wspierania decyzji. Rolnik lub doradca może korygować wielkość dawek nawozów wyliczonych przez kalkulator, skutki wprowadzonych zmian uwidaczniają się w wielkości salda składników, zatem może je kontrolować.
- ✓ CalGosPuck jest narzędziem pomocnym do sporządzania planów nawożenia w gospodarstwach rolnych uczestniczących w programach rolnośrodowiskowych a także może być wykorzystywany do tych celów dla gospodarstw objętych dyrektywą azotanową (OSN).

LITERATURA

Dzierzbicka-Głowacka L., Pietrzak S., Dybowski D., Białoskórski M., Marcinkowski T., Rossa L., Urbaniak M., Majewska Z., Juszowska D., Nawalany P., Kamińska B., Selke B., Korthals P., Puszkarczuk T. 2019. Impact of agricultural farms on the environment of the Puck Commune: Integrated agriculture calculator – CalcGosPuck. PeerJ 7:e6478. <https://doi.org/10.7717/peerj.6478>