

NUTRIENT MANAGEMENT AND SOIL ORGANIC MATTER BALANCE IN THE ORGANIC CROP PRODUCTION SYSTEM EVALUATED BY NDICEA MODEL

Summary

Evaluation of selected elements of nutrient and soil organic matter management in the organic system done by NDICEA model was aim of the research. Data from a special field experiment established in 1994 at the Experimental Station in Osiny in which different crop production systems are compared were used in this research. The input data covered period between 2003 and 2007 year. Nitrogen leaching and denitrification, NPK balance, changes of humus content, balance of soil organic matter, changes of mineral nitrogen content in a soil profile, relationship between available and uptaken nitrogen were evaluated by NDICA model. Real measurements that were compared with the results of model simulation included: mineral nitrogen content in a soil profile (0-90 cm) and humus content. Nitrogen balance in the organic system in 2003-2007 calculated by NDICEA model amounted to $33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Nitrogen leaching on an average amounted to $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, however there were some points of a crop rotation with high up to 100 kg ha^{-1} losses of nitrogen due to leaching. Nitrogen losses due to denitrification were simulated on the level of $17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Soil organic matter balance for the whole crop rotation was slightly negative and amounted to $-14.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$.

GOSPODARKA SKŁADNIKAMI POKARMOWYMI ORAZ BILANS GLEBOWEJ MATERII ORGANICZNEJ W SYSTEMIE EKOLOGICZNYM OCENIONE MODELEM NDICEA

Streszczenie

Celem pracy była ocena modelem NDICEA różnych elementów gospodarki składnikami pokarmowymi oraz bilansu glebowej materii organicznej w systemie ekologicznym. Do symulacji wykorzystano dane z obiektu doświadczalnego zlokalizowanego w Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Osinach (woj. lubelskie), na którym porównywane są różne systemy produkcji roślinnej. Dane wejściowe do modelu obejmowały charakterystykę stosowanej agrotechniki oraz warunków glebowych i meteorologicznych. Prezentowane wyniki dotyczą lat 2003-2007. Model NDICEA pozwolił ocenić straty azotu spowodowane wymywaniem oraz denitryfikacją, bilans NPK, dynamikę zmian zawartości próchnicy glebowej, bilans glebowej materii organicznej, zmiany zawartości azotu mineralnego w profilu glebowym, relację pomiędzy azotem dostępnym oraz azotem pobranym. Rzeczywiste pomiary porównane z wynikami symulacji obejmowały: zawartość azotu mineralnego w profilu glebowym (0-90 cm) oraz zawartość próchnicy. Symulacja modelem NDICEA pokazała, iż system ekologiczny charakteryzował się zrównoważonym i bezpiecznym dla środowiska saldem bilansu azotu wynoszącym, średnio za 5 lat $33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Średni poziom wymycia N oszacowany modelem był niewielki i wyniósł $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, jednak w pewnych miejscach zmianowania odnotowano znaczne dochodzące do 100 kg ha^{-1} straty azotu spowodowane wymyciem. Straty spowodowane denitryfikacją zostały oszacowane na poziomie $17 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Bilans glebowej materii organicznej dla całego zmianowania był nieznacznie negatywny i wynosił $-14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach szczególnie dużo uwagi poświęca się gospodarce azotem w kontekście zagrożeń związanych z jego rozproszeniem w środowisku [1, 4, 5], a także zagadnieniu bilansu glebowej materii organicznej w związku z poszukiwaniem skutecznych sposobów łagodzenia skutków zwiększającej się emisji gazów cieplarnianych [11]. Oszacowanie ilości azotu niewykorzystanego przez rośliny umożliwia określenie potencjalnych zagrożeń oraz ocenę efektywności produkcji roślinnej [2, 8]. Istnieje szereg różnych metod określających kierunki transformacji materii organicznej oraz azotu i innych makroelementów w produkcji rolniczej. Jedną z najbardziej popularnych jest metoda bilansowa [12], stosowana w zależności od potrzeb np. na poziomie pola czy gospodarstwa. Pomimo wielu metod oceny bilansu azotu nadal istnieje problem w oszacowaniu elementów związanych z symbiotycznym wiązaniem azotu, zwłaszcza w stanowiskach po uprawie roślin motylkowatych

wysiewanych w mieszankach z trawami i zazwyczaj użytkowanych przez kilka lat [1, 9].

Celem pracy była ocena różnych elementów gospodarki składnikami pokarmowymi oraz bilansu glebowej materii organicznej w systemie ekologicznym z wykorzystaniem modelu NDICEA.

2. Metodyka badań

Wykorzystany w opracowaniu model NDICEA (wer. 5.4.4) [2, 3] pozwolił ocenić następujące elementy gospodarki składnikami pokarmowymi oraz materia organiczną:

- zawartość azotu mineralnego w profilu glebowym;
- ilość azotu dostępnego i pobranego;
- straty azotu spowodowane wymywaniem oraz denitryfikacją;
- bilans NPK;
- zawartość próchnicy i bilans glebowej materii organicznej.

Rzeczywiste pomiary porównane z wynikami symulacji obejmowały: zawartość azotu mineralnego w profilu glebowym (0-90 cm) oraz zawartość próchnicy.

Azot mineralny oznaczano w wyciągu 1% K_2SO_4 metodą kolorymetrii przepływową, natomiast zawartość próchnicy określono pośrednio metodą Tiurina (oznaczając zawartość węgla organicznego).

Do symulacji modelem NDICEA wykorzystano:

- dane o produktywności roślin (plonowanie oraz zawartość NPK w plonie głównym i ubocznym dla większości gatunków roślin uprawnych);
- dane agrotechniczne (zmianowanie roślin, terminy siewu i zbioru, dawki i terminy aplikacji nawozów);
- charakterystykę warunków glebowych;
- dane meteorologiczne (temperatura, opad, ewapotranspiracja).

Dane te pochodziły z ekologicznego systemu produkcji roślinnej, będącego częścią obiektu doświadczalnego na którym od roku 1994 porównywane są różne systemy produkcji rolniczej (ekologiczny, integrowany i konwencjonalny). Obiekt ten zlokalizowany jest w Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Osinach (woj. lubelskie) na glebie płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego. Doświadczenie prowadzone jest w jednym powtórzeniu, polami wszystkich roślin równocześnie (pow. każdego pola - 1 ha). System ekologiczny, oparty jest na 5-polowym płodozmianie (ziemniak – pszenica jara + wsiewka - koniczyny z trawami (I rok) - koniczyny z trawami (II rok) - pszenica ozima + poplon). W systemie tym nie stosuje się syntetycznych nawozów mineralnych oraz chemicznych środków ochrony roślin. Uzupełniająco stosowano nawozy potasowe w ilości

ok. $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ dopuszczonych w rolnictwie ekologicznym. Raz w rotacji pod ziemniak stosowany jest kompost.

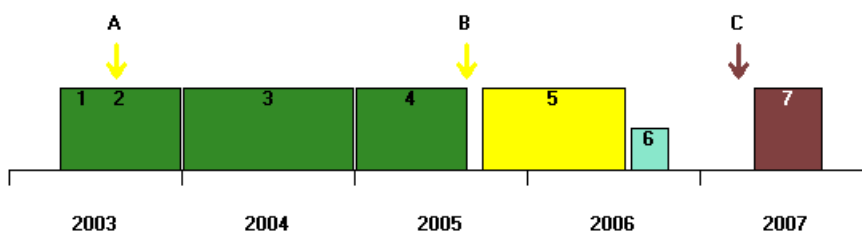
Prezentowane wyniki pochodzą z lat 2003-2007, i obejmują dwa z pięciu pól płodozmianowych w systemie ekologicznym. Dla każdego z wybranych pól wyniki odnoszą się do pełnej 5-letniej rotacji zmianowania. Jedyne bilans NPK przedstawiono średnio dla wszystkich 5 pól.

3. Wyniki i dyskusja

Zgodnie z przyjętym założeniem, w części wynikowej pracy, szczegółowe dane wygenerowane przez model NDICEA zaprezentowano dla dwóch pól w systemie ekologicznym, dla których stwierdzano najwyższy poziom zawartości azotu mineralnego w warstwie 0-90 cm w badanym okresie.

Pole nr 2

Przebieg zawartości N_{\min} wygenerowany przez model NDICEA dla pola nr 2 (rys. 1 i 2) wskazuje na wyraźny wzrost zawartości azotu pod koniec 2005, a także w 2006 r. Wzrost pod koniec 2005 r. związany jest z intensywnym procesem mineralizacji substancji organicznej po zaoraniu mieszanki koniczyn z trawami. Pomimo wzrostu zawartości N_{\min} w tym okresie nie odnotowano zarówno w rzeczywistych pomiarach jak i z symulacji modelem NDICEA (rys. 4) wysokiego poziomu wymycia tego składnika, prawdopodobnie ze względu na deficyt wilgoci w tym okresie.



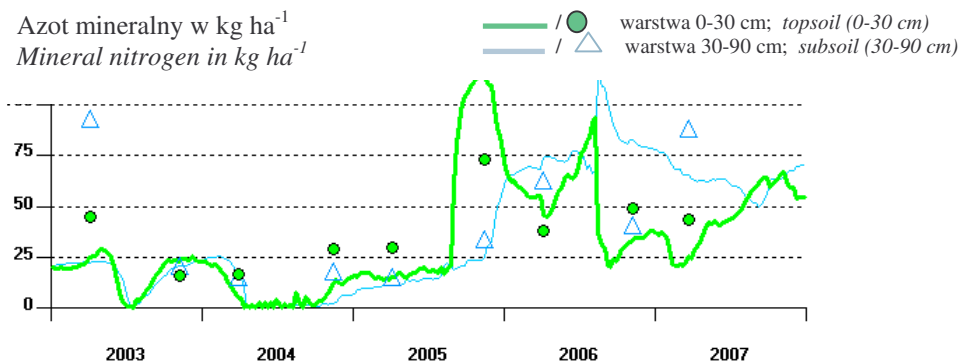
* elementy zmianowania: (1) jęczmień jary z wsiewką koniczyn z trawami (2); (3) I rok użytkowania koniczyn z trawami; (4) II rok użytkowania koniczyn z trawami; (5) pszenica ozima; (6) międzyzplon; (7) ziemniak

* elements of crop rotation: (1) spring barley with grass-clover mixture (2); (3) 1st year of grass-clover mixture; (4) 2nd year of grass-clover mixture; (5) winter wheat; (6) intercrop; (7) potato

A, B - nawożenie potasem; C - nawożenie kompostem / A, B - potassium fertilization; C - compost application

Rys. 1. Plan zasiewów na polu nr 2 *

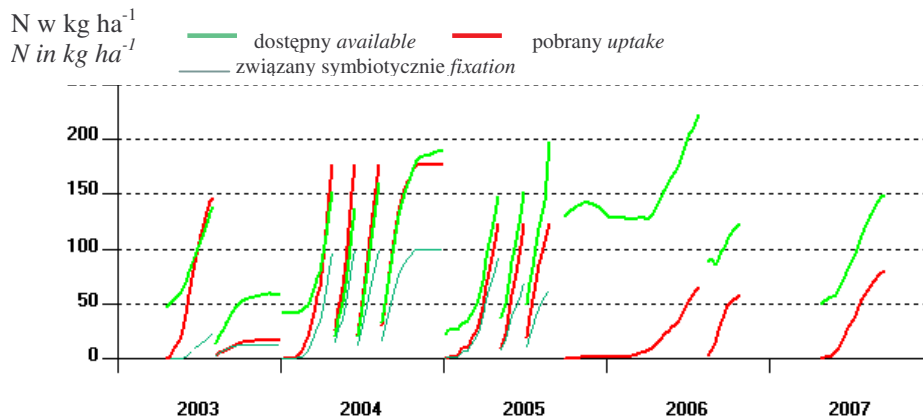
Fig. 1. Cropping pattern for the field no 2 *



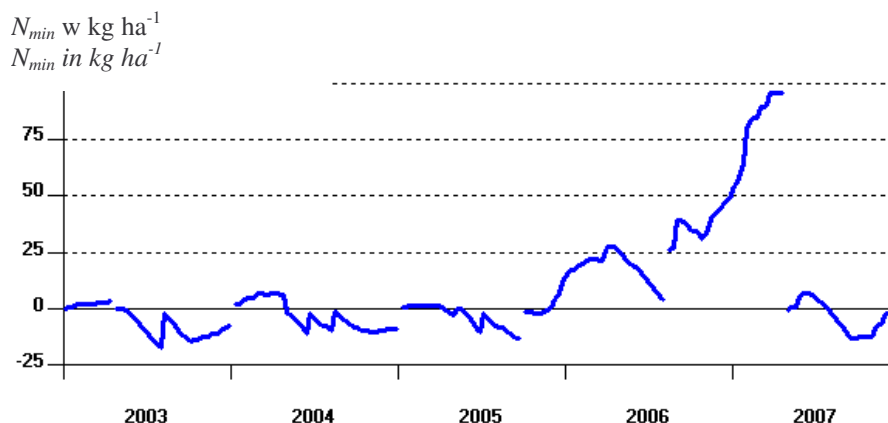
*(linia ciągła - wyniki z modelu NDICEA, punkty - rzeczywiste wyniki z pomiarów)
*(continuous lines - NDICEA model, points - real measurements)

Rys. 2. Zawartość N_{\min} w profilu glebowym *

Fig. 2. N_{\min} concentration in a soil profile *



Rys. 3. Azot dostępny, pobrany oraz związany symbiotycznie (wartości skumulowane)
 Fig. 3. Nitrogen available, uptaken and symbiotically fixed (cumulative values)



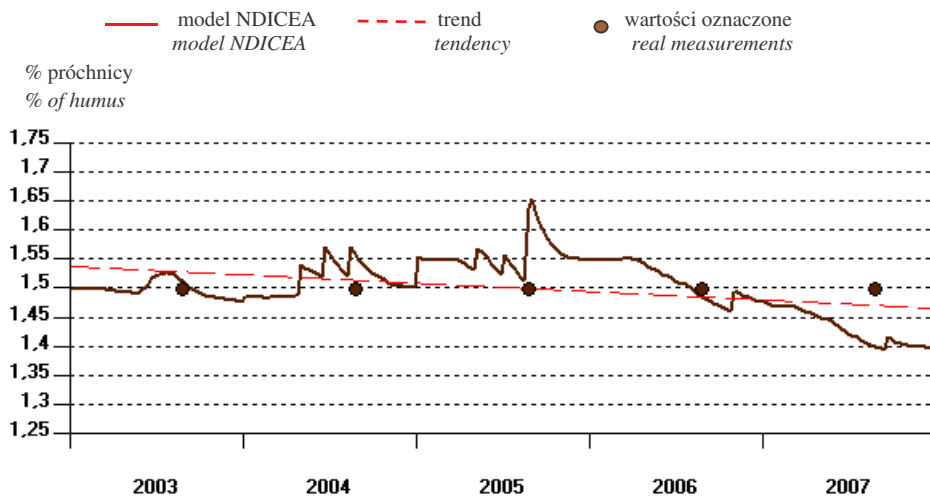
Rys. 4. Skumulowane wartości wymycia azotu w kg ha^{-1}
 Fig. 4. Cumulative nitrogen leaching in kg ha^{-1}

Warto zwrócić uwagę na bardzo interesujący przebieg zmian zawartości N_{\min} w 2006 r., a zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym 2006/2007. Bardzo nietypowy przebieg warunków pogodowych w sezonie 2006 (bardzo upalny czerwiec i lipiec z dużym deficytem opadów) spowodował, że akumulacja suchej masy i w konsekwencji końcowy plon ziarna i słomy uprawianej na tym polu pszenicy ozimej był niski. Jednocześnie bardzo dobry przedplon (mieszanka koniczyn z trawami) pozostawił pszenicy ozimej stanowisko z dużą pulą potencjalnie łatwego do pobrania azotu. Symulacja modelem NDICEA procesów pobrania i dostępności azotu dla pszenicy ozimej oraz dla poplonu potwierdziła istnienie dużej niewykorzystanej nadwyżki dostępnego azotu (rys. 3). Uprawa poplonu po pszenicy ozimej mogła częściowo zmniejszyć wielkość tej nadwyżki, jednak po jego przyoraniu, model NDICEA wskazał na możliwe, bardzo duże wymycie azotu na poziomie ok. 90-100 kg ha^{-1} (rys. 4). Dodatkowymi czynnikami sprzyjającymi zwiększonemu wymyciu mogły być duże opady na poziomie 240 mm (sierpień 2006 r.) oraz łagodna, deszczowa jesień i zima 2006/2007. Wyniki oznaczeń N_{\min} w profilu glebowym wykonane wiosną 2007 r. na wspomnianym polu (rys. 2) potwierdziły rezultaty symulacji modelem NDICEA.

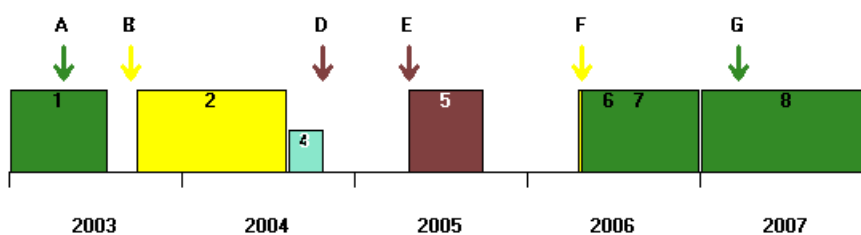
W literaturze przedmiotu zwraca się uwagę, że powszechnie stosowana w rolnictwie ekologicznym uprawa zbóż ozimych po roślinach motylkowatych drobnonasiennych lub ich mieszkach z trawami może prowadzić do dużych strat azotu spowodowanych

wymywaniem [5]. Podkreśla się zarazem, że straty te można ograniczyć poprzez zmianę terminu przyorania mieszanki lub zmniejszenie intensywności przedsięwzięcia uprawy roli. Wskazuje się, że wysiew w miejsce zbóż innych roślin charakteryzujących się większymi wymaganiami pokarmowymi w stosunku do azotu w początkowym okresie wzrostu, może te straty ograniczać. Fragestein [5] twierdzi, iż w zależności od warunków glebowo-klimatycznych zboża ozime należy zastępować roślinami jarymi (ziemniak, owies, kukurydza lub warzywa) z jednoczesnym przesunięciem terminu przyorania mieszanki koniczyny z trawami na okres późnojesienny lub wczesnowiosenny. Bilans glebowej materii organicznej dla pola nr 2, oceniony modelem NDICEA był ujemny i wyniósł -35 kg ha^{-1} . Wynik ten mógł być konsekwencją mniejszych plonów koniczyn z trawami spowodowanych niedostatkami opadów w 2005 r. Dodatkowym czynnikiem mógł być też niekorzystny przebieg pogody w okresie jesienno-zimowym 2006/2007, który sprzyjał zwiększonej mineralizacji substancji organicznej.

Przebieg zmian zawartości próchnicy, tj. wyraźny jej spadek w okresie od połowy 2006 r. i w sezonie 2007 symulowany modelem NDICEA (rys. 5) potwierdza zauważalny wpływ czynnika pogodowego na tempo mineralizacji glebowej substancji organicznej i tłumaczy jej ujemny bilans. Należy jednak zauważyć, że rzeczywiste oznaczenia

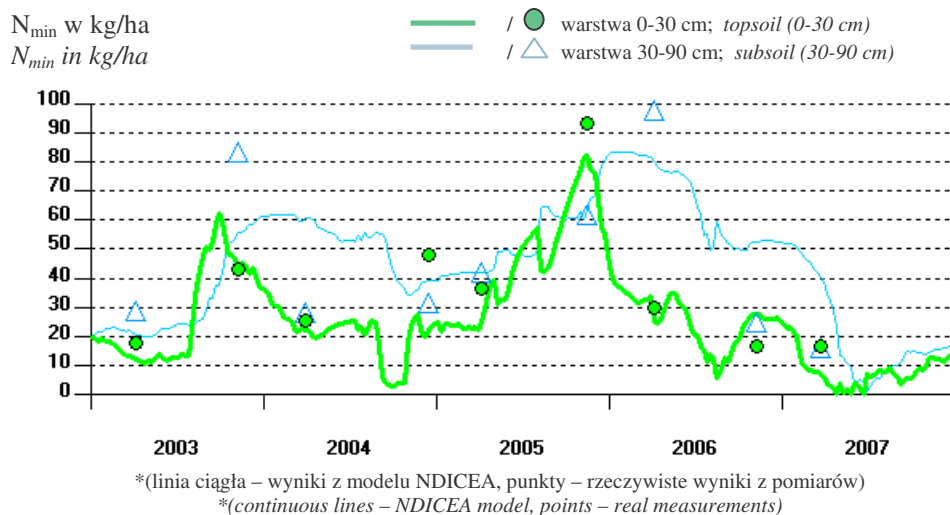


Rys. 5. Zawartość próchnicy glebowej
Fig. 5. Humus content in soil



* elementy zmianowania: (1) II rok użytkowania koniczyn z trawami; (2) pszenica ozima; (3 i 4) międzyplon; (5) ziemniak; (6) pszenica jara z wsiewką koniczyn z trawami (7); (8) I rok użytkowania koniczyn z trawami;
* elements of crop rotation: (1) 2nd year of grass-clover mixture; (2) winter wheat; (3 and 4) intercrop; (5) potato; (6) spring wheat with grass-clover mixture (7); (9) 1st year of grass-clover mixture;
A, B, C, E, F, G - nawożenie potasem; D – nawożenie kompostem / A, B, C, E, F, G – potassium fertilization; D – compost application

Rys. 6. Plan zasiewów na polu nr 5*
Fig. 6. Cropping pattern for the field no 5*



* (linia ciągła – wyniki z modelu NDICEA, punkty – rzeczywiste wyniki z pomiarów)
* (continuous lines – NDICEA model, points – real measurements)

Rys. 7. Zawartość N_{min} w profilu glebowym*
Fig. 7. N_{min} concentration in a soil profile*

zawartości próchnicy glebowej, nie potwierdziły tej tendencji, co świadczyć może o stabilności tej części glebowej materii organicznej w systemie ekologicznym (rys. 5).

Pole nr 5

Wartości wygenerowane przez model NDICEA dla pola nr 5 pokazały największy wzrost koncentracji N_{min} w glebie

po uprawie ziemniaka (rys. 6 i 7). Wyniki symulacji modelem znalazły potwierdzenie w rzeczywistych pomiarach zawartości azotu przede wszystkim dla warstwy 0-30 cm. Taki układ warunków mógł sprzyjać zwiększonemu wymyciu azotu. Potwierdzeniem tego przypuszczenia jest wykres przedstawiający skumulowane wartości wymycia azotu wygenerowany przez model NDICEA (rys. 8). Z wykresu wynika, iż już w końcowym

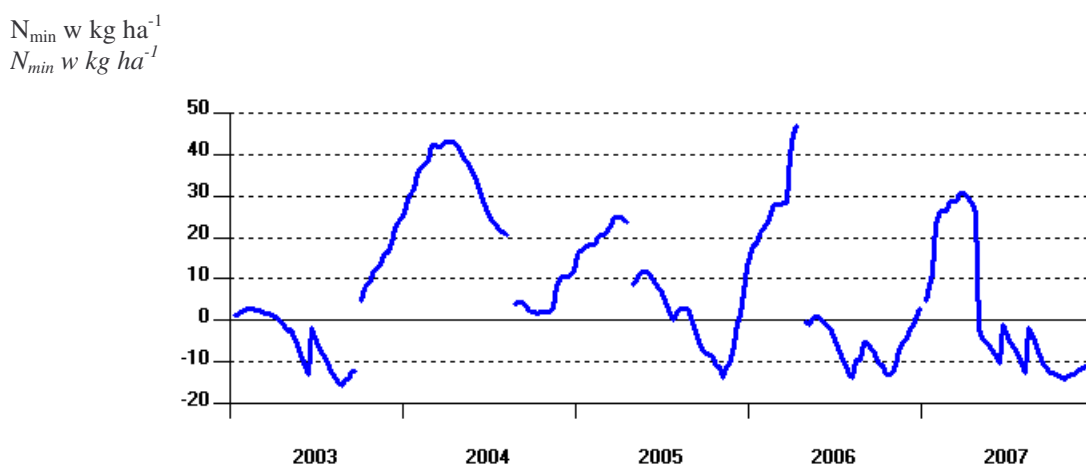
okresie wegetacji ziemniaka bardzo wyraźnie zwiększa się poziom wymycia azotu, dochodzący wczesną wiosną następnego roku do poziomu ok. 50 kg N ha⁻¹. Potwierdzeniem tej hipotezy może być także duża rozbieżność między pulą azotu dostępnego a ilością azotu pobranego przez ziemniaka (rys. 9). Wskazuje to, że rośliny okopowe są ważnym elementem zmianowania w aspekcie określania miejsc o największym potencjale wymycia azotu w systemie ekologicznym. Potwierdzeniem tego są wyniki innych badań prowadzonych na tym obiekcie [6, 7] wskazujące, iż największy spadek azotu mineralnego - na poziomie ok. 30 kg ha⁻¹ - odnotowano wiosną w stosunku do oznaczeń w terminie jesiennym właśnie w stanowisku po ziemniaku.

Ogólna ocena ekologicznego systemu produkcji modelem NDICEA przeprowadzona w latach 2003-2007 w kontekście strat azotu wskazuje, że średni poziom wymycia tego składnika wynosił 8 kg N ha⁻¹. Wskazuje to na niewielkie zagrożenie dla środowiska w skali całego zmianowania, jednak szczegółowa analiza pokazuje, że w stanowiskach: po uprawie ziemniaka oraz po przyoraniu mieszanki koniczyn z trawami mogą pojawić się nadwyżki

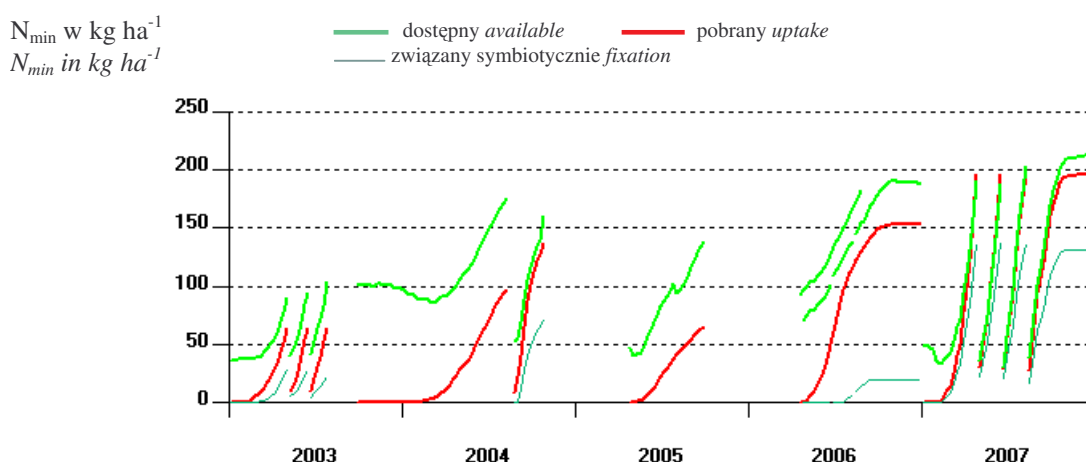
azotu mineralnego prowadzące do jego strat drogą wymywania. Należy zauważyć, iż wyniki symulacji strat azotu na poszczególnych polach oraz ich lokalizacja w zmianowaniu dobrze korespondowały z danymi monitoringu N_{min} w przesączach glebowych prowadzonego w ramach innych badań na tym samym obiekcie [6, 7]. Wielkość strat azotu spowodowanych denitryfikacją średnio dla całego zmianowania została oszacowana na poziomie 17 kg N ha⁻¹rok⁻¹.

Bilans glebowej materii organicznej dla pola nr 5 oceniony modelem NDICEA był nieznacznie ujemny i wynosił -12,3 kg ha⁻¹, czyli ok. 3 razy mniej niż na polu nr 2. Mogło to wiązać się z niewielkim nasileniem czynników sprzyjających zwiększonej mineralizacji substancji organicznej, które szczegółowo opisano w przypadku pola nr 2.

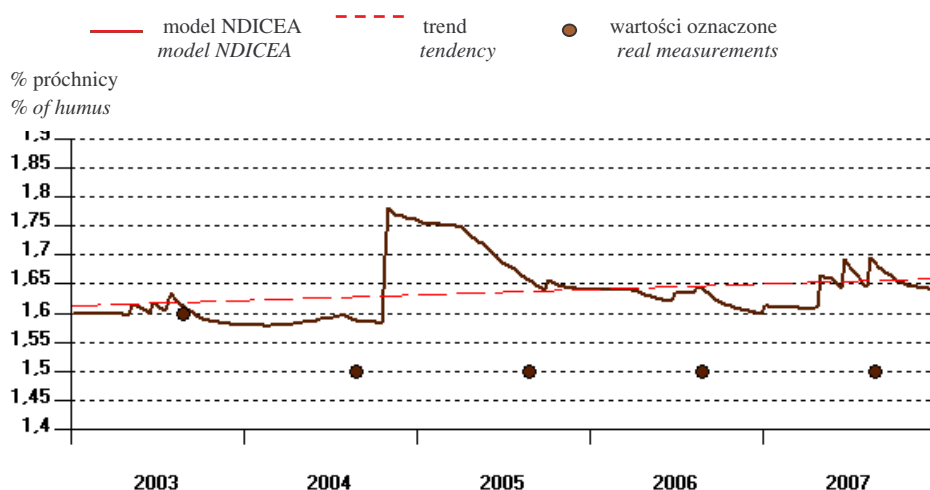
Przebieg zawartości próchnicy glebowej oceniony modelem NDICEA oraz oznaczenia własne (rys. 10) nie wykazały znaczących zmian w okresie 2003-2007. Należy zauważyć, iż wynik bilansu glebowej materii organicznej uzyskany dla pola nr 5 był bardzo zbliżony do średniej dla całego zmianowania, która wynosiła 14,5 kg ha⁻¹.



Rys. 8. Skumulowane wartości wymycia azotu w kg ha⁻¹
Fig. 8. Cumulative nitrogen leaching in kg ha⁻¹



Rys. 9. Azot dostępny, pobrany oraz związany symbiotycznie (wartości skumulowane)
Fig. 9. Nitrogen available, uptaken and symbiotically fixed (cumulative values)



Rys. 10. Zawartość próchnicy glebowej
 Fig. 10. Humus content in soil

Tab. 1. Bilans NPK i jego elementy w ekologicznym systemie produkcji w latach 2003-2007 (kg ha^{-1})
 Table 1. NPK balance and its elements in the organic crop production system in 2003-2007 (kg ha^{-1})

Wyszczególnienie Specification	N	P	K
Nawozy i materiał siewny Fertilisers and seed material	21	14	63
Biologiczne wiązanie azotu Nitrogen fixation	122		
Opad atmosferyczny Deposition	25		
Razem wniesienie Total input	168	14	63
Razem wyniesienie z plonami Total output	135	20	39
Bilans Balance	33	-6	24
Denitryfikacja Denitrification	17		
Wymywanie Leaching	8		

Saldo bilansu azotu w latach 2003-2007 wyliczone modelem NDICEA dla wszystkich pól w systemie ekologicznym kształtowało się na poziomie $33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ (tab. 1). O dodatnim wyniku salda azotu w całym zmianowaniu zdecydowała uprawa okopowych nawożonych kompostem i dwuletnia uprawa mieszanki koniczyn z trawami. Pomimo stosunkowo małych plonów roślin pastewnych spowodowanych niedostatkami opadów w latach 2003, 2005 i 2006 wzbogacenie gleby w azot w efekcie symbiotycznego jego wiązania zabezpieczyło potrzeby pokarmowe roślin następczych.

Saldo bilansu fosforu w systemie ekologicznym w symulacji modelem NDICEA było ujemne i wynosiło $-6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ (tab. 1). Wynik ten nie znalazł odzwierciedlenia w oznaczonej zasobności gleby w przyswajalny fosfor, która w tym systemie była stosunkowo duża i wynosiła w analizowanym okresie średnio 40 mg P kg^{-1} gleby. Ponadto oceniony w innych badaniach stan zaopatrzenia wybranych roślin w fosfor także nie wskazał deficytowych wartości [14]. Czynnikiem decydującym o tej rozbieżności mogła być wysoka aktywność biologiczna gleby, a zwłaszcza najistotniejsza w przypadku fosforu, wysoka aktywność mikroorganizmów wytwarzających fosfaty: kwaśną i zasadową. Wysoka aktywność tych mikroorganizmów została potwierdzona przez Martyniuka i in. [10] w badaniach prowadzonych również na tym samym obiekcie.

Saldo bilansu potasu w badanym okresie w systemie ekologicznym ocenione modelem NDICEA było dodatnie i

wynosiło $24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ (tab. 1). Pozytywny wynik salda bilansu dla tego składnika był konsekwencją stosowanych od 2002 roku dopuszczonych w rolnictwie ekologicznym nawozów potasowych (Patentkali, siarczan potasu) w dawce około 70 kg K ha^{-1} . Do tego czasu bilans potasu w systemie ekologicznym był znacząco ujemny i przekraczał $-100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ [13].

4. Podsumowanie

1. Symulacja modelem NDICEA przebiegu zawartości N_{\min} wykazała duże zbieżności z rzeczywistymi pomiarami dla wierzchniej warstwy profilu glebowego – 0-30 cm, wskazując jednocześnie duże rozbieżności w warstwie 30-90 cm.
2. Straty azotu poprzez wymywanie dla całego zmianowania w systemie ekologicznym oszacowane przy pomocy modelu NDICEA były niewielkie i wyniosły średnio $8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Mimo tego wykazano, iż w stanowiskach: po uprawie ziemniaka oraz po przyoraniu mieszanki koniczyn z trawami istnieje duże zagrożenie stratami azotu spowodowane jego wymywaniem.
3. Wielkość strat azotu spowodowanych denitryfikacją średnio dla całego zmianowania została oszacowana na poziomie $17 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.

4. Symulacja modelem NDICEA pokazała, iż system ekologiczny charakteryzował się zrównoważonym i bezpiecznym dla środowiska saldem bilansu azotu wynoszącym $33 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, średnio za okres 2003-2007.
5. Saldo bilansu potasu ocenione modelem NDICEA było dodatnie i wynosiło $24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, natomiast saldo bilansu fosforu było ujemne i kształtowało się na poziomie $-6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.
6. Bilans glebowej materii organicznej dla całego zmianowania oceniony modelem NDICEA był nieznacznie ujemny i wynosił $-14,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

5. Literatura

- [1] Asdal A., Bakken A. K.: Nutrient balances and yields during conversion to organic farming in two crop rotation systems. Designing and testing crop rotations for organic farming. Danish Research Center for Organic Farming. 125-132, 1999.
- [2] Burgt G.J.H.M. van der, Oomen G.J.M., Habets A.S.J. and Rossing W.A.H.: The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 275-294, 2006.
- [3] Burgt G.J. van der., Oomen G.J.M. and Rossing W.A.H.: The NDICEA model as a learning tool: experiences in 2005. Paper presented at Joint Organic Congress, Odense, Denmark, May 30-31, 2006.
- [4] Duer I., Fotyma M. (red.): Polski Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. Wyd. IUNG, Puławy, 2001.
- [5] Fragstein P.: Nutrient management in organing farming. Fundamentals of Organic Agriculture. Proc. of the 11 IFOAM Int. Scien. Conf., Copenhagen, 11-15 August, 1, 62-72, 1996.
- [6] Jończyk K.: Ocena wykorzystania i strat azotu w ekologicznym i konwencjonalnym systemie produkcji roślinnej. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia, tom 2, PIMR, s. 77-83, Poznań, 2005.
- [7] Jończyk K., Stalenga J.: Wykorzystanie różnych metod do oceny bilansu azotu w ekologicznym i konwencjonalnym systemie produkcji roślinnej. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Vol. 51 (2): 68-73, 2006.
- [8] Koopmans Chris J. and Burgt G.J.H.M. van der: NDICEA as a user friendly model tool for crop rotation planning in organic farming. Poster presented at Researching Sustainable Systems - International Scientific Conference on Organic Agriculture, Adelaide, Australia, September 21-23, 2005.
- [9] Köpke U.: Nutrient Management in Organic Farming Systems: the Case of Nitrogen. Intern. Workshop on Nitrate Leaching, 11-15.10.1993, Copenhagen, Denmark. In Biological Agriculture and Horticulture (BAH), Vol 11/1995, s.15-29, 1995.
- [10] Martyniuk S., Gajda A., Kuś J.: Microbiological and biochemical properties of soils under cereals grown in the ecological, conventional and integrated system. Acta Agrophysica, 52:185-192, 2001.
- [11] Niggli U., Schmid H., and Fliessbach A.: Organic Farming and Climate Change. Int. Trade Centre (ITC) Press, Geneva, Switzerland, 2008.
- [12] OECD National Soil Surface Nutrient Balances: explanatory notes to interpret the data sheets. OECD Secretariat Paris, February 1999.
- [13] Stalenga J., Jończyk K., Kuś J.: Bilans składników pokarmowych w ekologicznym i konwencjonalnym systemie produkcji roślinnej. Annales UMCS, Sec. E, 59,1, 383-389, 2004.
- [14] Stalenga J.: Applicability of different indices to evaluate nutrient status of winter wheat in the organic system. Journal of Plant Nutrition 30: 351-365, 2007.