

Wpłynęło 06.11.2014 r.
Zrecenzowano 10.02.2015 r.
Zaakceptowano 17.02.2015 r.

Rolnictwo a środowisko naturalne

Jan PAWLAK^{ABDEF}

*Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie,
Zakład Analiz Ekonomicznych i Energetycznych*

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Streszczenie

Na podstawie przeglądu literatury krajowej i zagranicznej dokonano analizy współzależności między rolnictwem a środowiskiem naturalnym. Omówiono wpływ mechanizacji rolnictwa na gospodarkę wodną i stan gleby oraz powiązania między rozwiązaniami technicznymi, stosowanymi w produkcji roślinnej i zwierzęcej, a gospodarką energetyczną oraz emisją gazów cieplarnianych i amoniaku. Zwrócono uwagę na znaczenie systemów wspomaganie decyzji w racjonalizacji zarządzania w produkcji rolniczej i całym łańcuchu żywnościowym, w tym między innymi w wyborze optymalnych rozwiązań w produkcji i energetycznym wykorzystaniu biomasy. Wyniki analizy współzależności między mechanizacją rolnictwa a stanem gleby, zasobnością i jakością wody oraz emisją szkodliwych gazów powinny być uwzględnione podczas budowy modelu, który mógłby stanowić podstawę wyboru systemu produkcji rolniczej, uzasadnionego z ekonomicznego, energetycznego, społecznego i ekologicznego punktu widzenia.

Słowa kluczowe: rolnictwo, mechanizacja, system produkcji, wpływ, środowisko naturalne

Wstęp

Biologiczny charakter rolnictwa powoduje, że jest ono silnie uzależnione od stanu środowiska naturalnego. Jednym z czynników wpływających, a niekiedy decydujących o plonowaniu roślin uprawnych, jest pogoda. Niekorzystne warunki pogodowe w okresie zimowym, a także podczas kwitnienia czy zbioru roślin, susze, gradobicia oraz ulewne deszcze i będące ich następstwem powodzie, są przyczyną zmniejszenia lub wręcz utraty plonów. Poważne straty w rolnictwie powodują choroby roślin i zwierząt oraz szkodniki. Coraz bardziej odczuwalne w Polsce są szkody powodowane w rolnictwie przez zwiększającą się dynamicznie populację dzików i bobrów. Z drugiej strony rolnictwo oddziałuje w rozmaity sposób na środowisko naturalne. Stosowane w produkcji rolniczej silniki spalinowe emitują do atmosfery, podczas pracy, szkodliwe związki chemiczne, w tym gazy cieplarniane. Źródłem

gazów cieplarnianych są też produkcja zwierzęca i gospodarstwa domowe. Nieobojętne dla środowiska naturalnego są również stosowane w rolnictwie nawozy i środki ochrony roślin, a także odchody zwierzęce, powodujące zanieczyszczenie wód powierzchniowych i gruntowych. Ciężkie maszyny i pojazdy stosowane w produkcji rolniczej powodują zagęszczanie gleby, a tym samym pogarszanie warunków wegetacji roślin. Nie można też nie wspomnieć o tym, że produkcja używanych w rolnictwie środków produkcji wiąże się z nakładami energii, co pozostaje w związku z oddziaływaniem na środowisko naturalne. W świetle powyższych faktów konieczne jest zapewnienie zrównoważonego rozwoju rolnictwa, z uwzględnieniem aspektów społecznych, ekonomicznych, energetycznych i ekologicznych.

Celem niniejszej pracy jest próba identyfikacji zadań, których realizacja sprzyja spełnieniu wymogów zrównoważonego rozwoju w rolnictwie oraz – na podstawie przeglądu literatury przedmiotu – opracowanie założeń do uproszczonego modelu, opisującego wpływ mechanizacji rolnictwa na środowisko naturalne.

Doskonalenie mechanizacji w aspekcie ograniczenia jej oddziaływania na środowisko naturalne powinno być ściśle powiązane z szeroko rozumianą technologią produkcji roślinnej i zwierzęcej, uwzględniającą stosowane systemy produkcji i wymagania odnośnie do jakości produktów oraz powiązania z innymi elementami, wchodzącymi w zakres inżynierii rolniczej [WÓJCICKI 2013a, b]. W niniejszej pracy zakres tego oddziaływania ograniczono do wpływu na gospodarkę wodną i energetyczną, stan gleby oraz emisję gazów cieplarnianych, amoniaku i odorów do atmosfery.

Czynniki wpływające na warunki produkcji rolniczej z zachowaniem poszanowania środowiska

Efektywna produkcja wysokowartościowej, zdrowej żywności jest możliwa, jeśli zapewnione będą korzystne warunki wegetacji roślin i utrzymanie zwierząt gospodarskich z zachowaniem zasad poszanowania środowiska naturalnego. Warunki te określa:

- w produkcji roślinnej stan:
 - powietrza;
 - gleby;
 - stosunków wodnych [DUER i in. 2004];
- w produkcji zwierzęcej:
 - dobrostan [Dyrektywa 98/58/WE; 1999/74/WE; 2007/43/WE; 2008/119/WE];
 - stan budynków inwentarskich;
- w produkcji rolniczej jako całości:
 - stosowana technologia produkcji;
 - gospodarka energetyczna.

W spełnieniu warunków znaczącą rolę odgrywa racjonalna mechanizacja procesów produkcyjnych w rolnictwie. Chodzi o taki dobór i taką formę eksploatacji sprzętu rolniczego, które w przypadku:

- oddziaływania na glebę i gospodarkę wodną gwarantowałyby ograniczenie jej zagęszczania, a w przypadku prac uprawowych – zapewniały właściwą strukturę,

- a tym samym korzystny stosunek między powietrzem a wodą, z ograniczeniem wyparowania tej ostatniej z gleby;
- produkcji zwierzęcej – zapewnią harmonię między układem przestrzennym budynków inwentarskich z ich technicznym wyposażeniem, z zachowaniem korzystnego mikroklimatu w pomieszczeniach, a dobrostanem utrzymywanych w nich zwierząt gospodarskich;
 - technologii produkcji – zapewnią terminowe wykonanie czynności, z zachowaniem wymogów agro- i zootechnicznych, oraz wysoką jakość produktów, a w przypadku surowców żywnościowych – informacje dla konsumentów o całym procesie wytwarzania;
 - gospodarki energetycznej – umożliwią uzyskanie wysokiej efektywności bezpośrednich i skumulowanych nakładów energii oraz wybór jej nośników najbardziej przyjaznych środowisku naturalnemu.

Mechanizacja rolnictwa a gospodarka wodna

Efektywność gospodarki wodnej w gospodarstwach rolnych wyraża się stosunkiem wartości uzyskanej produkcji do zużycia wody, związanego z tą produkcją. Warunkiem uzyskania wysokiego poziomu tej efektywności jest oszczędne zużycie wody oraz zapobieganie jej zanieczyszczeniom. W produkcji roślinnej, w przypadku braku nawadniania, źródłem wody są opady atmosferyczne. Na ich poziom rolnik nie ma wpływu, ma natomiast wpływ na jakość magazynowania wody w glebie. Do polepszenia magazynowania wody przyczyniają się: zapewnienie optymalnej zawartości związków organicznych w glebie oraz racjonalna agrotechnika. Związki organiczne w glebie sprzyjają zachowaniu dobrej struktury zarówno gleb lekkich, jak i ciężkich, umożliwiają też lepsze magazynowanie wody¹⁾ i większości składników zawartych w nawozach mineralnych, zmniejszając tym samym ich wypłukiwanie prowadzące do zanieczyszczeń wód gruntowych i powierzchniowych. Zanieczyszczeniu wody zapobiega też maksymalnie wydłużone utrzymanie okrywy roślinnej na polach, zapewniającej w miarę ciągłe pobieranie składników nawozowych, a tym samym ograniczające ich wypłukiwanie z gleby. Stosowanie w tym celu poplonów daje możliwość uzyskania paszy w gospodarstwach prowadzących produkcję zwierzęcą, a w gospodarstwach nieprowadzących takiej produkcji – wykorzystanie uzyskanej masy roślinnej jako nawozu zielonego albo wsadu do produkcji biogazu [BURCZYK 2013].

Wpływ na stan gospodarki wodnej mają zabiegi agrotechniczne. Zarówno nadmierne zagęszczenie, jak i rozpylenie gleby powodują zwiększenie wyparowania wody z gleby. Grunty nawadniane stanowią w Polsce niewielki procent (w przypadku gruntów ornych – zaledwie 0,4% ich powierzchni). Stosując nawodnienia, rolnik może wpływać na stan gospodarki wodnej, m.in. w zakresie poboru wody [PROVENZANO i in. 2014], dlatego efektywność gospodarki wodnej zależy w tym przypadku nie tylko od jakości magazynowania wody, ale też od wyboru systemu nawadniania oraz rodzaju stosowanych urządzeń nawadniających. Najbardziej odpowiednie są urządzenia nawadniające podające wodę punktowo do strefy korzeni roślin, w dawkach odpowiednich do rzeczywistych potrzeb. Oszczędnej gospodarce

¹⁾ Ma to szczególne znaczenie na glebach lekkich, na których w przypadku większości roślin uprawnych badania wykazały największe niedobory wody [KOWALCZYK i in. 2014].

wodą sprzyja dobór maszyn i narzędzi zapewniających utrzymanie gleby w dobrej strukturze i zapewnienie właściwej ich eksploatacji. Dobór i utrzymanie w dobrym stanie technicznym oraz właściwe sterowanie urządzeniami zaopatrującymi w wodę jest warunkiem oszczędnej gospodarki wodnej w produkcji zwierzęcej i gospodarstwach domowych rolników.

Mechanizacja rolnictwa a stan gleby

Coraz cięższe maszyny i pojazdy, stosowane we współczesnym rolnictwie, powodują ugniatanie gleby, co pogarsza jej strukturę, a co za tym idzie – warunki wegetacji roślin uprawnych. Niekorzystne z punktu widzenia produkcji roślinnej jest zarówno nadmierne zagęszczenie, jak i rozpylenie gleby. W obu przypadkach następuje pogorszenie stanu gospodarki wodnej oraz zachwianie proporcji między powietrzem a wodą w glebie. Zmniejszeniu niekorzystnego oddziaływania środków mechanizacji na glebę sprzyja stosowanie agregatów wieloczynnościowych, dzięki którym ogranicza się liczbę przejazdów roboczych, zachowanie optymalnego napompowania kół jezdnych, stosowanie kół bliźniaczych, a także wykonywanie prac polowych w czasie, gdy stan wilgotności gleby jest odpowiedni do rodzaju wykonywanej pracy.

Zachowaniu korzystnej struktury gleby sprzyja utrzymanie w niej optymalnej zawartości związków organicznych. Substancja organiczna w glebie przyczynia się też do zwiększenia jej kompleksu sorpcyjnego, powodując zmniejszenie strat składników nawozowych i skumulowanej w nich energii. Dlatego problematyce odnawiania glebowej substancji organicznej poświęca się coraz więcej uwagi. Badania prowadzone przez naukowców z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie wykazały istnienie dodatniej korelacji między obsadą zwierząt a wartościami wskaźników: odnawialności glebowej substancji organicznej (GSO) oraz mechanizacji [KOCIRA 2013]. Nie stwierdzono natomiast wyraźnej zależności między odnawialnością GSO a nakładami energetycznymi [KOCIRA, KOŁTUN 2013]. W miarę zwiększania stopnia odnawialności GSO zmniejsza się jednak efektywność pracy w gospodarstwach rolnych ($\text{zł}\cdot\text{rbh}^{-1}$). Gospodarstwa osiągające najwyższy stopień odnawialności GSO mają szczególne trudności z gromadzeniem funduszy inwestycyjnych na modernizację swojego wyposażenia [SAWA, KOCIRA 2013]. Wyniki tych badań wskazują na konieczność podjęcia dyskusji nad zasadami dopłat obszarowych, które obecnie preferują gospodarstwa o ekstensywnej produkcji i niskim stopniu odnawialności GSO.

Działania sprzyjające zachowaniu dobrej struktury gleby są korzystne z punktu widzenia gospodarki energią. Uprawa minimum, zastosowanie agregatów wieloczynnościowych oraz wykonywanie prac w optymalnych terminach, w warunkach korzystnego stanu gleby, powoduje zmniejszenie bezpośrednich i pośrednich nakładów energii. Częste stosowanie orki, zwłaszcza na terenach zagrożonych erozją, powoduje straty substancji organicznej i zmniejszenie populacji pożytecznej mikrofauny, a także pogorszenie stosunków wodnych w glebie. Należy dążyć, aby nowe technologie cechowała wysoka efektywność ekonomiczna, korzystna z punktu widzenia producentów rolnych, z zachowaniem zasad poszanowania środowiska naturalnego. Wybór technologii produkcji i środków mechanizacji powinien być dostosowany do miejscowych warunków naturalnych [GUCCIONE, SCHIFANI 2001]. Utrzymanie optymalnego poziomu glebowej substancji organicznej z zachowaniem

przestrzennie zróżnicowanego dawkowania nawozów i innych środków chemicznych, odpowiednich do rzeczywistych potrzeb (rolnictwo precyzyjne), umożliwiają zwiększenie efektywności skumulowanych nakładów energii.

Mechanizacja rolnictwa a gospodarka energetyczna

Racjonalizacji nakładów energii w rolnictwie z uwzględnieniem poszanowania środowiska naturalnego sprzyjają:

- wybór energooszczędnych technologii produkcji;
- substytucja tradycyjnych nośników energii pochodzącymi z zasobów odnawialnych;
- optymalizacja eksploatacji zasobów środków technicznych, będących w dyspozycji.

Duży wpływ na nakłady energetyczne i emisję gazów cieplarnianych, a także na fizyczne i chemiczne właściwości gleby mają sposoby wykonywania zabiegów uprawy roli, nawożenia, siewu i ochrony roślin. Zastosowanie uprawy zachowawczej, polegającej na płytkiej uprawie z zastosowaniem agregatów wieloczynnościowych oraz spulchniacza obrotowego, opracowanego w Mazowieckim Ośrodku Badawczym ITP, zamiast tradycyjnej uprawy z zastosowaniem orki, powoduje obniżenie zużycia paliwa na prace polowe w pięcioletnim zmianowaniu: pszenica – buraki cukrowe – kukurydza – żyto – rzepak ozimy z 240,1 do 105,7 l·ha⁻¹, a nakładów energii na jednostkę powierzchni – z 1197 do 575 MJ·ha⁻¹ [GOLKA, PTASZYŃSKI 2014]. Według SØRENSENA i in. [2014], zastosowanie uprawy minimum powoduje zmniejszenie nakładów energii w produkcji roślinnej w warunkach czteroletniego zmianowania (jęczmień jary – jęczmień ozimy – pszenica ozima – rzepak ozimy) o 26%, a w przypadku zastosowania systemu bezuprawowego (no tillage system) – 41%.

Zaawansowany wiek większości środków mechanizacji rolnictwa, znajdujących się w posiadaniu rolników polskich, ma swoje odzwierciedlenie w stanie technicznym tych środków. Dokonujący się postęp techniczny przyczynił się, w przypadku konstrukcji silników, do zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa, a przypadku innych maszyn i narzędzi stosowanych w rolnictwie – do poprawy wydajności, komfortu i jakości pracy.

Sprzęt nowej generacji jest drogi i dlatego trudno dostępny lub wręcz niedostępny dla większości rolników. Jego nabywcami są głównie gospodarstwa o dużej skali produkcji, dysponujące odpowiednimi środkami finansowymi. Fakt ten należy uwzględnić przy ocenie skutków modernizacji wyposażenia rolnictwa w środki mechanizacji, także tych natury ekologicznej [PAWLAK 2013].

Odnawialnymi źródłami energii (OZE), które mogą być pozyskiwane i wykorzystywane w gospodarstwach rolnych, są przede wszystkim: biomasa, energia słoneczna oraz geotermia płytka. Odnawialnym źródłem energii, pozyskiwanym głównie (choć nie wyłącznie) w rolnictwie, jest biomasa. Surowcami do produkcji nośników energii z biomasy są: drewno i odpady drzewne, rośliny pochodzące z celowych upraw energetycznych, produkty uboczne i odpady rolnicze, ogrodnicze i przemysłu rolno-spożywczego, a także substancja organiczna z innych źródeł. Wykorzystanie na cele energetyczne nadwyżek i produktów ubocznych pochodzenia roślinnego i zwie-

rzęcego zapobiega marnotrawstwu surowców rolniczych i pomaga rozwiązać problem utylizacji odpadów.

W przypadku biomasy występuje konkurencja między wykorzystywaniem biomasy na cele energetyczne a produkcją żywności [PAWLAK 2014], która ma nie tylko postać bezpośrednią, gdy chodzi o uprawy energetyczne, ale i pośrednią – np. w przypadku spalania słomy, powodującego zmniejszenie masy substancji organicznej wracającej do gleby, a tym samym – zmniejszenie jej żyzności. Problem takiej konkurencji nie występuje w przypadku biogazu, o ile jest on wytwarzany z produktów ubocznych gospodarki rolnej, nienadających się do spożycia bądź niewykorzystywanych do innych celów. Nie jest też przyczyną zmniejszenia produkcji żywności wskutek obniżenia żyzności gleby, produktem ubocznym w produkcji biogazu jest bowiem uzyskany nawóz organiczny o polepszonej wartości w porównaniu z surowcami, z których powstał [ROMANIUK 2014].

Rolnictwo a emisja gazów cieplarnianych i amoniaku

Na poziom emisji gazów cieplarnianych w produkcji rolniczej wpływa sposób wykonywania prac polowych. Badania wykazały, że całkowita emisja dwutlenku węgla w przeliczeniu na jednostkę uzyskanej produkcji wyniosła w przypadku: uprawy tradycyjnej $915 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, uprawy minimum – $817 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, a systemu bezuprawowego – $855 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Większy poziom emisji na jednostkę produkcji w przypadku zastosowania systemu bezuprawowego, w porównaniu z uprawą minimum, był spowodowany obniżeniem plonowania roślin, średnio o 10%. Około 50–60% emisji gazów cieplarnianych jest powodowana mineralizacją substancji organicznej w glebie [SØRENSEN i in. 2014]. Dlatego uprawa roli powinna stwarzać warunki glebowe ograniczające mineralizację i utlenianie substancji organicznej.

W przypadku tradycyjnego systemu uprawy, z zastosowaniem orki, zmniejszenie jej głębokości umożliwia redukcję nakładów energii i kosztów, bez istotnego zwiększenia zanieczyszczeń wód. Badania wykazały, że jedynie maksymalne spłylenie orki (do 17 cm) powoduje niewielki wzrost ładunku azotu w postaci azotanowej w wodach gruntowych. Wzrost ten wynosi maksymalnie 3% [ŚMIETANKA, SZEPTYCKI 2014].

Poważnym źródłem emisji takich gazów cieplarnianych, jak metan, dwutlenek węgla i podtlenek azotu, oraz amoniaku, jest produkcja zwierzęca. Metan powstaje zwłaszcza podczas fermentacji jelitowej zwierząt, jest też emitowany z ich odchodów. Odchody zwierzęce emitują również podtlenek azotu. Dwutlenek węgla wydziela się podczas oddychania. Emisja tych gazów jest uzależniona m.in. od gatunku zwierząt, systemu ich utrzymania i sposobu magazynowania odchodów, które też są potencjalnym źródłem zanieczyszczeń wód powierzchniowych i gruntowych.

Badania przeprowadzone w Wielkopolsce, w tuczarni na głębokiej ściółce, wykazały, że średnia dobowo wartość wskaźnika emisji metanu, odniesionego do dużej jednostki przeliczeniowej (DJP), wynosiła $199,8 \text{ g} \cdot \text{DJP}^{-1}$ i mieściła się w górnym zakresie wartości prezentowanych w literaturze przedmiotu¹⁾. Średnia dobowo wartość

¹⁾ Dostępne we wspomnianej literaturze wyniki badań uzyskano głównie w budynkach z systemem beźściółkowym.

wskaźnika emisji amoniaku wynosiła $47,6 \text{ g-DJP}^{-1}$ i mieściła się w pobliżu dolnych granic zakresów, podawanych w dostępnej literaturze. Średnia dobowo emisja podtlenku azotu ($8,6 \text{ g-DJP}^{-1}$) była znacznie większa niż w tuczarniach z systemem bezściółkowym [MIELCAREK i in. 2014]. Wartość wskaźnika emisji odorów, uzyskana w trakcie wspomnianych badań, jest porównywalna z wynikami najnowszych badań zagranicznych, prowadzonych w obiektach z systemem bezściółkowym i wyraźnie mniejsza od wyników podawanych we wcześniej publikowanych pracach [RZEŹNIK i in. 2014].

Emisja amoniaku z pomieszczeń dla zwierząt jest od wielu lat przedmiotem badań prowadzonych na całym świecie [MENDES i in. 2014]. Utrzymanie zwierząt gospodarskich na głębokiej ściółce nie daje, przynajmniej w świetle wyników dotychczasowych badań, wyraźnych korzyści w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w porównaniu z bezściółkowym systemem utrzymania. Badania te powinny być kontynuowane. System ściółkowy natomiast jest zdecydowanie bardziej korzystny z punktu widzenia gospodarki energetycznej. W głębokiej ściółce zachodzą procesy o charakterze egzotermicznym. Powoduje to, że temperatura w budynku inwentarskim z głęboką ściółką jest wyższa niż w budynku z systemem bezściółkowym o takich samych pozostałych parametrach – w przypadku, gdy oba nie są dodatkowo ogrzewane w okresie zimowym. Dzięki temu większy procent energii zawartej w paszach (stanowiących dominujący składnik skumulowanych nakładów energii w produkcji zwierzęcej) jest przez zwierzęta wykorzystywany na przyrost masy ciała, produkcję mleka itp. Ma to swoje odzwierciedlenie w większej efektywności nakładów energii. Poprawa efektywności bezpośrednich i pośrednich nakładów energii powoduje zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w przeliczeniu na jednostkę produkcji. Na bilans cieplny w pomieszczeniach dla zwierząt gospodarskich ma też wpływ struktura fizyczna podłoża słomianego. Badania przeprowadzone w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego wykazały, że zastosowanie jako ściółki w indyczniku słomy żytniej pociętej na odcinki 5–8 cm powodowało, że temperatura podłoża była o $2,3\text{--}6,2^\circ\text{C}$ wyższa w porównaniu ze ściółką ze słomy żytniej długiej. Nie stwierdzono natomiast statystycznie istotnego wpływu struktury fizycznej podłoża słomianego na całkowitą emisję amoniaku, choć odnotowano wyraźne zróżnicowanie dynamiki tej emisji [SŁOBODZIAN-KSENICZ 2014]. Ściółkowy system utrzymania zwierząt jest korzystny z punktu widzenia gospodarki energetycznej w pomieszczeniach inwentarskich, powoduje jednak wyższe koszty eksploatacji i nakłady robocizny, związane z usuwaniem i magazynowaniem nawozów mineralnych, w porównaniu z systemem bezściółkowym [ROMANIUK, WARDAL 2013]. Porównanie takie, ograniczające się do jednego zabiegu produkcyjnego, nie uwzględnia jednak korzyści, m.in. z tytułu poprawy efektywności nakładów pasz. Potrzebne jest bardziej kompleksowe podejście do problematyki wyboru systemu utrzymania zwierząt, uwzględniające wszystkie zależności w ocenie efektywności każdego z porównywanych systemów.

Poszanowaniu środowiska naturalnego sprzyja zastępowanie tradycyjnych nośników energii pochodzącymi z zasobów odnawialnych. W przypadku biomasy, będącej najszerzej stosowanym odnawialnym źródłem energii w Polsce, występuje konkurencja między wykorzystywaniem biomasy na cele energetyczne a produkcją żywności [PAWLAK 2014]. W przypadku stosowania biomasy pochodzenia leśnego

może wystąpić efekt negatywny z punktu widzenia bilansu gazów cieplarnianych. Wyręb drzew powoduje zmniejszenie pochłaniania dwutlenku węgla z atmosfery, natomiast wydłużenie utrzymania okrywy roślinnej na polach – zwiększenie pochłaniania dwutlenku węgla z atmosfery.

Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne wymaga dodatkowych nakładów związanych z: wykonywaniem zabiegów produkcyjnych z zastosowaniem środków mechanizacji rolnictwa, nawożeniem, nawadnianiem i ochroną roślin oraz magazynowaniem i przetwarzaniem. Efektem tych nakładów jest m.in. emisja gazów i pyłów do atmosfery. W ciągu 16 lat użytkowania plantacji ślazuwca pensylwańskiego emisja z jednego ha wyniosła: ponad 3,6 t CO₂, 8,1 t SO₂, 14,7 t NO_x, 2,5 t pyłów oraz 9,5 t lotnych związków organicznych [HRYNIEWICZ, GRZYBEK 2013].

Rola systemów doradczych

Wysokie ceny, niepewna opłacalność, duże wymagania odnośnie do umiejętności obsługi sprzętu nowych generacji powoduje, że nawet w krajach wysoko rozwiniętych najbardziej zaawansowane technologie nie są powszechnie wdrażane. Aby ułatwić rolnikom korzystanie z walorów nowoczesnego sprzętu, pomagającego w realizacji zadań produkcyjnych, opracowywane są powiązane z Internetem programy, uwzględniające obecne i przyszłościowe technologie. Systemy wspomaganie decyzji, ułatwiające organizację pracy w gospodarstwach o różnym kierunku produkcji, umożliwiają uzyskanie poprawy efektywności czynników produkcji w gospodarstwach o różnej specjalności, np. sadowniczej [AMPATZIDIS i in. 2014] czy kwiaciarskiej [OOSTER VAN'T i in. 2014].

W krajach rozwiniętych rosną wymagania konsumentów żywności. Oczekują oni pełnej informacji o wszystkich etapach produkcji w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym, a także o operacjach związanych z obrotem produktami spożywczymi. Informacja taka ma gwarantować wysoką jakość żywności oraz jest warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego. Stanowi też poważne wyzwanie dla inżynierii rolniczej, która powinna zapewnić rejestrację i magazynowanie danych o stosowanych procesach produkcyjnych, a także konieczność nowego spojrzenia na całość łańcucha zaopatrywania w żywność [DABBENE i in. 2014]. Sprawą bardzo ważną jest racjonalne zarządzanie w poszczególnych ogniwach tego łańcucha. Przegląd i krytyczna analiza stanu wiedzy w tym zakresie, dokonana przez TSOLAKISA i in. [2014] wykazały, że zarządzanie łańcuchem zaopatrywania w żywność jest szybko ewoluującą dziedziną badań, w ramach której pojawia się wiele nowych, wymagających rozwiązania zadań.

Opracowany w Finlandii program Cropinfra wspomaga organizację prac maszynowych w gospodarstwach rolnych, zwłaszcza w tych stosujących zasady rolnictwa precyzyjnego. Dzięki czujnikom montowanym na maszynach rolniczych Cropinfra zapewnia rejestrację danych o wykonywanych czynnościach produkcyjnych. Umożliwia też dostęp do prognoz pogody i informacji o zagrożeniach chorobami roślin [PESONEN i in. 2014]. Inny program (GAOS) jest przeznaczony do optymalizacji tras ruchu maszyn rolniczych po polu i wyznaczania ścieżek przejazdowych. Jest on powiązany z globalnym systemem nawigacji satelitarnej i umożliwia eliminację zbędnych nawrotów oraz wykorzystanie pełnej szerokości roboczej maszyn, przyczynia-

jąc się do zmniejszenia czasu wykonywania czynności i nakładów energii. Obecna wersja programu jest jednak dość trudna dla odbiorców – rolników i wymaga uproszczenia [BRUIN DE i in. 2014].

We Włoszech opracowano skomputeryzowany program doradczy, ułatwiający optymalny wybór rośliny energetycznej, najbardziej odpowiedniej w danych warunkach glebowych i klimatycznych, oraz dobór liczby i parametrów środków mechanizacji, niezbędnych na plantacjach tych roślin, a także planowanie aplikacji nawozów i środków ochrony roślin i organizację wykonania prac [BUSATO, BERRUTO 2014]. Duże znaczenie ma wybór systemu produkcji i dystrybucji biopaliw. Porównanie dwóch wariantów zastosowania biomasy do produkcji energii cieplnej: a) polegającego na produkcji paliwa w postaci peletów, które są sprzedawane konsumentom w celu ogrzewania budynków za pomocą domowych pieców na pelety; b) polegające na budowie obiektu produkującego energię elektryczną, przekazywaną do sieci oraz energię ciepłą, przekazywaną do odbiorców indywidualnych za pomocą odpowiedniej sieci grzewczej, wykazało, że pierwszy z wymienionych systemów zapewnia wyższą wydajność, stwarza jednak większe ryzyko dla potencjalnych inwestorów. Model zastosowany w celu dokonania wspomnianego porównania może spełniać rolę systemu wspomagania decyzji dla potencjalnych inwestorów, angażujących się w produkcję energii z biomasy [RENTIZELAS i in. 2014].

Podsumowanie

Analiza wykorzystanej literatury wykazała istnienie wpływu stosowanej technologii i wykorzystywanych środków technicznych w produkcji roślinnej i zwierzęcej na stan środowiska naturalnego, w tym takich jego elementów, jak powietrze, woda i gleba. Oddziaływanie rolnictwa na środowisko naturalne jest ściśle powiązane z gospodarką energetyczną. Działania racjonalizujące gospodarkę energią sprzyjają poszanowaniu środowiska.

Działania racjonalizujące gospodarkę wodną oraz przyczyniające się do zachowania gleby w dobrej strukturze sprzyjają poprawie efektywności nakładów energetycznych, z jednej strony powodują bowiem zmniejszenie bezpośrednich i pośrednich nakładów energii, a z drugiej – umożliwiają uzyskanie wysokiej produkcji rolniczej. Efektywność nakładów energetycznych zależy też od systemu utrzymania zwierząt gospodarskich.

Zastosowanie energooszczędnych systemów produkcji roślinnej i zwierzęcej oraz właściwy dobór i racjonalna eksploatacja środków technicznych jest warunkiem uzyskania wysokiej efektywności nakładów produkcyjnych oraz zapewnia korzyści natury ekonomicznej, ekologicznej i społecznej, będące istotą rolnictwa zrównoważonego.

Podczas wyboru rozwiązań przyjaznych środowisku naturalnemu, a jednocześnie uzasadnionych ekonomicznie i społecznie, konieczne jest uwzględnienie wszystkich współzależności o istotnym znaczeniu, co powinno być wykorzystane do opracowania modelu, który mógłby stanowić podstawę wyboru systemu produkcji rolniczej, uzasadnionego z ekonomicznego, energetycznego, społecznego i ekologicznego punktu widzenia.

Bibliografia

AMPATZIDIS Y.G., VOUGIOUKAS S.G. 2014., WHITING M.D., ZHANG Q. 2014. Applying the machine repair model to improve efficiency of harvesting fruit. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 25–33.

BRUIN DE S., LERINK P., LA RIVIERE I.J., VANMEULEBROUK B. 2014. Systematic planning and cultivation of agricultural fields using a geo-spatial arable field optimization service: Opportunities and obstacles. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 15–24.

BURCZYK H. 2013. Przydatność poplonu ozimego oraz kukurydzy i sorgo w plonie wtórnym do produkcji biomasy do biogazowni. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 87–97.

BUSATO P., BERRUTO R. 2014. A web-based tool for biomass production systems. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 102–116.

DABBENE F., GAY P., TORTIA C. 2014. Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 65–80.

DUER I., FOTYMA M., MADEJ A. 2004. *Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej*. Wyd. III. Warszawa. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska. ISBN 83-88010-58-1 ss. 95.

Dyrektywa Rady 98/58/WE z dnia 20 lipca 1998 r., dotycząca zwierząt hodowlanych. *Dz.Urz. UE L 221/23*.

Dyrektywa Rady 1999/74/WE z dnia 19 lipca 1999 r. ustanawiająca minimalne normy dotyczące ochrony kur niosek. *Dz.Urz. UE L 203/53*.

Dyrektywa Rady 2007/43/WE z dnia 28 czerwca 2007 r. w sprawie ustanowienia minimalnych zasad dotyczących ochrony kurcząt utrzymywanych z przeznaczeniem na produkcję mięsa. *Dz.Urz. UE L 182/19*.

Dyrektywa Rady 2008/119/WE z dnia 18 grudnia 2008 r. ustanawiająca minimalne normy ochrony cieląt. *Dz.Urz. UE L 10/7*.

GOLKA W., PTASZYŃSKI S. 2014. Nakłady na uprawę roli w technologii zachowawczej i tradycyjnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 31–47.

GUCCIONE G., SCHIFANI G. 2001. Technological innovation, agricultural mechanization and the impact on the environment: sod seeding and minimum tillage. *A Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*. Vol. 12. Nr 3 s. 29–36.

HRYNIEWICZ M., GRZYBEK A. 2013. Emisje gazów powstałych podczas uprawy ślazuwca pensylwańskiego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 119–127.

KOCIRA S. 2013. Zrównoważenie procesu produkcji w wybranych gospodarstwach mlecznych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 133–140.

KOCIRA S., KOŁTUN M. 2013. Nakłady energetyczne w gospodarstwach ze zbilansowaną ilością substancji organicznej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 99–106.

KOWALCZYK A., KUŹNIAR A., ŁABĘDZKI L. 2014. Bieżąca ocena potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych z zastosowaniem automatycznego monitoringu metrologicznego i modelu matematycznego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 87–102.

MENDES L.B., EDUARD N., OGINK N.W., DOOREN VAN H.J.C., TINÓCO I.F. MOSQUERA J. 2014. Spatial variability of mixing ratios of ammonia and tracer gases in a naturally ventilated dairy cow barn. *Biosystems Engineering*. Vol. 129 s. 360–369.

- MIELCAREK P., RZEŹNIK W., RZEŹNIK I. 2014. Emisja gazów cieplarnianych i amoniaku z tuczarni na głębokiej ściółce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 83–90.
- OOSTER VAN'T A., BONTSEMA J., HENTEN VAN E.J., HEMMING S. 2014. Simulation of harvest operations in a static rose cultivation system. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 34–46.
- PAWŁAK J. 2013. Próba oceny skutków modernizacji parku ciągnikowego w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 29–38.
- PAWŁAK J. 2014. Przewidywane skutki wykorzystania biomasy rolniczej na cele energetyczne. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 43–55.
- PESONEN L.A., TEYE F. K-W., RONKAINEN A.K., KOISTINEN M.O. KAIVOSOJA J.J., SUOMI P.F., LINKOLEHTO R.O. 2014. Cropinfra – An Internet-based service infrastructure to support crop production in future farms. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 92–101.
- PROVENZANO G., RODRIGUEZ-SINOBAS L., ROLDÁN-CAÑAS J. 2014. Irrigated agriculture: Water resources management for a sustainable environment. *Biosystems Engineering*. Vol. 129 s. 1–3.
- RENTIZELAS A.A., TOLIS A.I., TATSIPOULOS I.P. 2014. Optimisation and investment analysis of two biomass-to-heat supply chain structures. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 81–91.
- ROMANIUK W. 2014. Rozwiązania instalacji biogazowych dla gospodarstw rodzinnych i farmerskich uwzględniające zagospodarowanie pozostałości pofermentacyjnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 93–105.
- ROMANIUK W., WARDAL W. 2013. Usuwanie i zagospodarowanie nawozu naturalnego w zrównoważonej produkcji zwierzęcej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 69–78.
- RZEŹNIK W., MIELCAREK P., RZEŹNIK I. 2014. Emisja odorów z tuczarni na głębokiej ściółce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 83–90.
- SAWA J., KOCIRA S. 2013. Efektywność pracy w gospodarstwach o zbilansowanej odnawialności substancji organicznej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 11–20.
- SŁOBODZIAN-KSENICZ O. 2014. Wpływ struktury fizycznej podłoża słomistego na emisję amoniaku z indycznika. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 79–91.
- SØRENSEN C.G., HALBERG N., OUDSHOORN F.W., PETERSEN B.M., DALGAARD R. 2014. Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 2–14.
- ŚMIETANKA M., SZEPTYCKI A. 2014. Modelowanie wpływu zmian głębokości orki na ładunek azotu w wodach powierzchniowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 43–56.
- TSOLAKIS N.K., KERAMYDAS C.A, TOKA A.K., AIDONIS D.A., IAKOVOU E.T. 2014. Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering*. Vol. 120 s. 47–64.
- WÓJCICKI Z. 2013a. Optymalizacyjne projektowanie modernizacji gospodarstw rolnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 5–11.
- WÓJCICKI Z. 2013b. Projektowanie nowych technologii produkcji roślinnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 33–46.

AGRICULTURE AND ENVIRONMENT

Summary

Based on a national and international literature review, an analysis was done of interdependence between agriculture and the environment. The topics discussed were the influence of agricultural mechanization on water management and soil condition as well as relationships between technical solutions, used in plant and livestock production and energy economy, greenhouse gases and ammonia emissions. Attention was turned to the importance of decision supporting systems used in rationalization of management in agricultural production and the whole food chain, including inter alia a choice of optimal solutions for the production and energetic usage of biomass. The results of interdependence analysis between agricultural mechanization and soil condition, resources and quality of water, as well as the emission of harmful gases should be taken into account during the construction of a model, which could serve as a basis for selecting an agricultural production system, valid from an economic, energy, social and ecological point of view.

Key words: agriculture, mechanization, production system, impact, environment

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Pawlak
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Oddział w Warszawie
ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa
tel. 22 542-11-67; e-mail: j.pawlak@itp.edu.pl