

Janusz Smagacz

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

UWARUNKOWANIA I TENDENCJE ZMIAN TECHNIK UPRAWY ROLI*

Słowa kluczowe: rolnictwo zrównoważone, konserwująca uprawa roli, środowisko przyrodnicze

Wstęp

Podstawowym zadaniem uprawy roli jest stworzenie w glebie jak najkorzystniejszych warunków dla wzrostu i rozwoju roślin uprawnych. Należy jednak zaznaczyć, że uprawiamy rolę, a nie glebę. Przez rolę rozumiemy bowiem wierzchnią warstwę gleby, na którą działają narzędzia i maszyny uprawowe. Jest to zatem warstwa uprawna, przy czym jej miąższość określają narzędzia najgłębiej działające. Z takiego zdefiniowania roli jasno wynika, że nie odpowiada ona określonemu poziomowi genetycznemu gleby, może pokrywać się z jej poziomem próchnicznym lub też może ona być większa bądź mniejsza (8). Przez uprawę roli należy natomiast rozumieć „skoordynowane czynności agrotechniczne dążące do uzyskania największej sprawności, która jest warunkiem osiągnięcia najwyższych plonów przy współdziałaniu i umiejętnym wyzyskiwaniu czynników przyrodniczych – gleby i przebiegu pogody” (27). Podobną definicję podaje również *Słownik Agro-Bio-Techniczny* pod redakcją Nie wiadomskiego (19) w którym określono, że uprawa roli to „mechaniczne działanie na wierzchnią warstwę uprawną przy pomocy specjalnie skonstruowanych narzędzi i maszyn; celem uprawy jest nadanie roli możliwie najkorzystniejszych właściwości (fizycznych, biologicznych i chemicznych) produkcyjnych”.

W przeszłości, tj. do momentu wprowadzenia do rolnictwa przemysłowych środków produkcji (sztuczne nawozy mineralne, syntetyczne środki ochrony roślin, w tym głównie herbicydy) uprawa roli była elementem agrotechniki o podstawowym znaczeniu dla wielkości i stabilności uzyskiwanych plonów roślin. Jej znaczenie sprowadzało się do:

- udostępniania składników pokarmowych dla roślin, głównie azotu, w wyniku lepszego napowietrzenia gleby i szybszej mineralizacji resztek poźniwnych i glebowej substancji organicznej (próchnicy),

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

- ograniczenia zachwaszczenia, ponieważ był to jedyny i skuteczny sposób ich redukcji w produkcji polowej,
- stworzenia warunków do uzyskania szybkich i równomiernych wschodów, co zwiększało konkurencyjność ładu w stosunku do chwastów.

Podstawowym zabiegiem uprawowym była orka wykonywana pługiem odkładnicowym, natomiast inne narzędzia uzupełniały tylko braki w jego działaniu, dlatego był to płużny system uprawy roli. Dla naszych warunków został opracowany przez Świętochowskiego tzw. „Polski system uprawy roli” złożony z pięciu zespołów uprawek, tj. późniowych, przedzimowych jesiennych (pod oziminy), przedzimowych wiosennych (pod rośliny jare), przedzimowych oraz pielęgnowczych (27).

W ostatnich latach zadania uprawy roli uległy pewnemu przewartościowaniu i polegają głównie na:

- gromadzeniu wody w glebie i ograniczeniu bezproduktywnych jej strat,
- ograniczeniu strat glebowej materii organicznej – wzrost sekwestracji węgla organicznego w glebie,
- zwiększeniu biologicznej aktywności gleby,
- ograniczeniu nasilenia erozji wodnej i wietrznej,
- poprawie struktury i zmniejszeniu zlewności oraz skłonności gleby do zaskorupiania,
- ograniczeniu spływów i wymycia składników nawozowych,
- zmniejszeniu kosztów uprawy, czasu pracy oraz zużycia energii.

Obecnie w rolnictwie wyróżniamy zasadniczo trzy systemy uprawy roli:

- tradycyjny – płużny (uprawa pełna), gdzie podstawowym narzędziem uprawowym jest pług; ilość wykonywanych zabiegów uprawowych wynosi od 2 do 5, głębokość spulchnienia sięga 25-30 cm z odwracaniem roli; brak ochrony powierzchni gleby,
- bezorkowy – bezpłużny, pług zastępowany jest tu innymi narzędziami uprawowymi, np. przez bronę talerzową, kultywator ścierniskowy, spulchniacz obrotowy; w tym systemie wykonywane są zwykle 1-2 zabiegi uprawowe, głębokość pracy narzędzi sięga 5-20 cm bez odwracania roli, a minimum 30% powierzchni gleby pokryte jest resztkami roślinnymi (uprawa konserwująca bezorkowa),
- uprawa zerowa, po której następuje siew bezpośredni – siew w rolę nieuprawioną, tj. od zbioru przedplonu do wysiewu rośliny następczej nie wykonuje się żadnych zabiegów uprawowych, a ponad 70% powierzchni gleby pokryte jest resztkami roślinnymi.

Przesłanki do wprowadzania modyfikacji w uprawie roli

Tradycyjny – płużny system uprawy roli – obecnie dominuje w rolnictwie naszego kraju. Wg danych GUS (7) powierzchnia stosowania uprawy orkowej wynosi blisko 9 mln ha, co stanowi około 91% powierzchni wszystkich upraw. Niewątpliwą zaletą płużnej techniki uprawy roli jest dokładne przykrycie nawozów naturalnych

i organicznych oraz równomierne rozmieszczenie w warstwie ornej gleby składników nawozowych. Korzystne oddziaływanie orki polega również na głębokim przykryciu osypanych nasion chwastów i uprawianych roślin, dobrym napowietrzeniu gleby oraz likwidacji głębokich kolein powstających podczas zbioru rośliny przedplonowej w niekorzystnych warunkach wilgotnościowych. Jednakże taki system przygotowania pola pod zasiew może prowadzić do wielu negatywnych zmian środowiska glebowego, dlatego od pewnego czasu można zauważyć tendencję do ciągłego zmniejszania liczby zabiegów uprawowych, a w szczególności orki. Duża głębokość i intensywność spulchniania przyspiesza proces mineralizacji próchnicy (2), a jej straty po dwudziestoletniej intensywnej uprawie mogą niekiedy sięgać nawet 50% (11). Ubytek substancji organicznej wywiera negatywny wpływ na strukturę gleby, pojemność wodną i biologiczną aktywność. Wzrasta również podatność na erozję wodną i wietrzną, szczególnie na dużych polach pozbawionych zadrzewień śródpolnych lub w dużych odległościach od obszarów leśnych (6, 12). Następuje też przesuszenie warstwy ornej, zmniejsza się nośność gleby, a stosowanie ciężkich ciągników do prac uprawowych i transportowych często powoduje nadmierne jej zagęszczenie, w tym również warstwy podornej (1, 20). Gleba po orce wymaga doprawienia, co zwiększa koszty uprawy, zużycie energii i czasu pracy oraz stwarza problemy z dotrzymaniem właściwych terminów agrotechnicznych.

Dodatkowo znaczna degradacja środowiska glebowego spowodowana przez intensywną uprawę roli wymusza wręcz poszukiwanie nowych technik uprawy sprzyjających ochronie gleby i bioróżnorodności oraz odtwarzających naturalne biocenozy na obszarach o intensywnej produkcji rolnej. Jednym z podstawowych założeń takiego sposobu gospodarowania jest ochrona środowiska przyrodniczego oraz zapewnienie różnorodności biologicznej w agrocenozach. W ostatnim dziesięcioleciu w krajach UE w ramach koncepcji rozwoju rolnictwa zrównoważonego propaguje się w coraz większym zakresie różne techniki bezpłużnej uprawy roli, często określane mianem uprawy zachowawczej lub konserwującej (3). Taki system uprawy roli ogranicza w znacznym stopniu erozję i zagęszczenie gleby, nadmierną mineralizację substancji organicznej, wymywanie składników pokarmowych. Jednak pewnym zagrożeniem może tu być chemiczna ochrona upraw przed chorobami, szkodnikami i chwastami z wykorzystaniem substancji aktywnych wytworzonych przez przemysł chemiczny (22).

Uprawa zachowawcza – konserwująca (ang. *conservation tillage*) jest koncepcją produkcji rolniczej, której głównym celem jest zachowanie naturalnych zasobów przyrody przy równoczesnym osiąganiu dużych plonów. Uprawa ta bazuje na wspieraniu naturalnych procesów biologicznych w glebie. Wszelkiego rodzaju zabiegi uprawowe są zredukowane do niezbędnego minimum. Środki produkcji pochodzenia organicznego lub syntetycznego są w tym systemie uprawy w ten sposób stosowane, aby nie naruszać procesów odtwarzających życie biologiczne i naturalnej struktury gleby. Uprawę konserwującą, według Friedricha i in. (4), określają trzy podstawowe cechy:

- długotrwała, znacznie ograniczona intensywność uprawy roli,
- całoroczne przykrycie powierzchni gleby mulczem z resztek poźniwnych lub roślin okrywowych (międzyplonów),
- znacznie zróżnicowane zmianowanie uwzględniające stosowanie roślin bobowatych i międzyplonów.

Podstawową zaletą uprawy konserwującej jest nieodwracanie wierzchniej warstwy roli, co w praktyce oznacza nie stosowanie w uprawie pługa. W zależności od intensywności i głębokości uprawy na powierzchni gleby lub w warstwie uprawnej pozostawione są resztki pozbiorowe rośliny przedplonowej lub międzyplonu (12). Uprawa zerowa, po której następuje siew bezpośredni, jest ekstremalnym sposobem uprawy konserwującej, przy którym uprawa roli ogranicza się do spulchnienia bruzdki siewnej. W trakcie siewu następuje wysianie nasion na dno rowka siewnego w nieuprawnioną rolę.

W ujęciu amerykańskim uprawa zachowawcza to system uprawy roli, który w porównaniu do konwencjonalnej, płużnej uprawy pozostawia na powierzchni gleby przynajmniej 30 % resztek poźniwnych. W Niemczech natomiast uprawa zachowawcza (konserwująca) jest definiowana jako uprawa, której intensywność oddziaływania na glebę jest mniejsza od uprawy konwencjonalnej (system uprawy płużnej), zaś większa od uprawy zerowej (3). Europejskie Stowarzyszenie Rolnictwa Konserwującego określa ten system uprawy jako sposób zagospodarowania gleby zmniejszający destabilizację w jej strukturze i bioróżnorodności. System ten ogranicza w znacznym stopniu degradację gleby i straty wody. Obecnie, ze względu na duże koszty uprawy konwencjonalnej stosuje się w coraz większym zakresie różne systemy uprawy bezpłużnej- bezorkowej, które wpływają korzystnie na środowisko glebowe. Bezpłużna-konserwująca uprawa roli ogranicza erozję wodną i wietrzną, stymuluje różnorodność biologiczną, stabilizuje agregaty glebowe oraz podwyższa zawartość substancji organicznej i makroelementów w górnych warstwach gleby (28).

Dane szacunkowe wskazują, że na świecie taki system uprawy jest stosowany na około 160 mln hektarów (10). W krajach Unii Europejskiej uprawa bezpłużna jest w największym stopniu praktykowana na obszarze Francji, Niemiec, Hiszpanii i Anglii, jednak nie są to znaczące powierzchnie. W niektórych krajach Ameryki Południowej natomiast uprawa konserwująca obejmuje blisko połowę obsiewanych gruntów (tab. 1).

Tabela 1

Powierzchnia uprawy zachowawczej wg kontynentów

Kontynent	Powierzchnia (mln ha)	Udział w powierzchni uprawy konserwującej (%)	Udział w ogólnej powierzchni pod zasiewami (%)
Ameryka Południowa	66,4	42,3	60,0
Ameryka Północna	54,0	34,4	24,0
Australia i Nowa Zelandia	17,9	11,4	35,9
Azja	10,3	6,6	3,0
Rosja i Ukraina	5,2	3,3	3,3
Europa	2,0	1,3	2,8
Afryka	1,2	0,8	0,9
Świat - razem	157,0	100	10,9

Źródło: Kassam i in., 2015 (10).

Wydaje się, że takie przygotowanie pola pod zasiew powinno być w większym stopniu upowszechnione zarówno na obszarze Polski, jak i w całej Europie. Przedstawione fakty sugerują zatem potrzebę ciągłego zmniejszania ilości i intensywności wykonywanych zabiegów uprawowych, a nawet całkowitego ich wyeliminowania. Upraszczając uprawę można bowiem poprawić stabilność struktury, zwiększyć infiltrację wody i usprawnić jej przewietrzanie przez wytworzenie stabilnego układu dużych porów. Proponowane zmiany w systemie uprawy roli mogą w znacznym stopniu ograniczyć erozję wodną i wietrzną, zwiększać zawartość próchnicy i zmniejszyć koszty prac polowych (24, 29).

Produkcja roślinna z zastosowaniem dawek nawożenia mineralnego, ustalonych na podstawie analizy zasobności gleby i spodziewanego plonu roślin, stosowanego w odpowiednim nawozie, w odpowiednim miejscu i odpowiednim czasie (System Wspomagania Decyzji 4R) i zastosowaniem chemicznych środków ochrony roślin wg zasad Integrowanej Produkcji (IP) oraz stosowanie ciężkich zestawów uprawowo-siewnych dodatkowo modyfikują funkcje i zadania uprawy roli. Aktualnie znaczenie uprawy roli, jako zbiegu udostępniającego składniki pokarmowe dla roślin oraz odpowiedzialnego za ograniczenie zachwaszczenia nie jest już priorytetem i większą uwagę zwraca się na ochronę środowiska przyrodniczego – ochronę gleby, wody i klimatu. Istotną przesłanką skłaniającą do wprowadzenia modyfikacji w uprawie roli jest również aspekt organizacyjny. Wykonanie, jeśli jest to możliwe, wszystkich zabiegów uprawowych i agrotechnicznych jak uprawa roli, podanie nawozów mineralnych (posypowo lub wgłębnie), siew nasion podczas jednego, maksymalnie dwóch przejazdów roboczych umożliwi dotrzymanie optymalnych terminów agrotechnicznych, co jednocześnie poprawia wskaźniki ekonomiczne, np. jednostkowe zużycie paliwa, czasu pracy i korzystnie wpływa na uzyskiwany dochód z gospodarstwa.

Ciekawym rozwiązaniem jest tzw. pasowa uprawa roli, która polega na spulchnieniu pasa gleby wzdłuż przyszłych rzędów rośliny uprawnej. Po pasowym spulchnieniu (nawet do 30 cm) wykonuje się nawożenie i siew nasion. Wszystkie te zabiegi można przeprowadzić w trakcie jednego przejazdu zestawem składającym się z maszyny spulchniającej glebę, siewnika i aplikatora umożliwiającego rzędowe (zlokalizowane) stosowanie nawozu. Pierwotnie ten system uprawy wykorzystywany był pod rośliny uprawiane w szerokich rzędach (np. kukurydza, burak cukrowy, słonecznik) 45 i 75 cm i siewem przy użyciu siewników punktowych. W późniejszym okresie pojawiła się wersja, w której uprawiane pasy są od siebie oddalone o 30-35 cm, a siew odbywa się za pomocą nabudowanego siewnika rzędowego. Mogą one być używane do pasowej uprawy zbóż, rzepaku, roślin bobowatych (strączkowych) a nawet międzyplonów. Ważniejsze zalety uprawy pasowej to:

- gleba nie jest uprawiana na całej powierzchni pola,
- zachowana zostaje właściwa jej struktura,
- przeciwdziałanie ugniataniu (zagęszczeniu) gleby wskutek przejazdu maszyn i narzędzi uprawowych – lepsza nośność gleby,
- zminimalizowanie bezproduktywnych strat wody – mniejsze parowanie z gleby,
- gromadzenie (sekwestracja) węgla organicznego,
- małe zagrożenie erozją wodną i wietrzną,
- zoptymalizowane nawożenie i efektywniejsze wykorzystanie składników pokarmowych przez rośliny uprawne (nawożenie wgłębne),
- zdecydowanie mniejsze nakłady energetyczne (zużycie paliwa) i czasu pracy w porównaniu z uprawą tradycyjną.

Oddziaływanie na środowisko

Jednym z podstawowych założeń rolnictwa zrównoważonego (zachowawczego) jest ochrona środowiska przyrodniczego i zapewnienie bioróżnorodności w agrocenozach. Konserwująca uprawa roli (system bezorkowy, uprawa zerowa, po której następuje siew bezpośredni, uprawa pasowa, tzw. *strip-till*) charakteryzująca się pozostawieniem resztek roślinnych na powierzchni pola modyfikuje właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby. W odniesieniu do fizycznych właściwości panuje opinia, iż uproszczona uprawa roli, jak również siew bezpośredni prowadzą do zwiększenia zagęszczenia gleby, co rzeczywiście ma miejsce w pierwszych latach stosowania takiego sposobu przygotowania pola pod zasiew. Jednakże w dłuższym okresie czasowym, w wyniku zmniejszenia częstotliwości przejazdów maszyn i narzędzi uprawowych, wzrostu zawartości glebowej materii organicznej (próchnicy), powstaniu trwałej struktury gruzełkowej i zwiększeniu życia biologicznego, zwiększa się retencja wodna, poprawia nośność gleby, zaś wyraźnemu zmniejszeniu ulegają erozyjne straty składników mineralnych i próchnicy. Wyniki tych badań zostały przedstawione między innymi w wcześniejszych opracowaniach własnych (24-26) oraz innych autorów (1, 2, 20, 28).

Tabela 2

Porowatość ogólna gleby ($\text{cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^3$) pod kukurydzą w zależności od sposobu uprawy roli i nawożenia (warstwy gleby 5-10 cm i 15-20 cm, średnie z lat 2008-2010)

Uprawa roli	Wiosna			Jesień		
	nawożenie					
	1 NK ^{a/}	2/3 NK ^{a/}	średnio	1 NK	2/3 NK	średnio
warstwa gleby 5-10 cm						
Płużna	39,0	38,8	38,9	40,9	42,2	41,6
Konserwująca 1 ^{b/}	40,9	40,0	40,5	40,2	40,1	40,2
Konserwująca 2 ^{b/}	42,4	41,4	41,9	40,7	41,2	41,0
Konserwująca 3 ^{b/}	40,8	39,8	40,3	40,5	41,2	40,9
Konserwująca 4 ^{b/}	41,3	38,4	39,9	40,5	38,7	39,6
Średnio	40,9	39,7	-	40,6	40,7	-
NIR _{0,05}	uprawy – 1,9; nawożenia – 0,8; interakcji – r.n. ^{c/}			uprawy – r.n.; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.		
warstwa gleby 15-20 cm						
Płużna	36,7	36,9	36,8	37,1	38,0	37,6
Konserwująca 1	37,3	38,4	37,9	35,7	36,1	35,9
Konserwująca 2	37,3	37,7	37,5	36,6	35,9	36,3
Konserwująca 3	40,1	38,6	39,4	37,2	37,3	37,3
Konserwująca 4	37,2	37,8	37,5	39,7	37,9	38,8
Średnio	37,7	37,9	-	37,3	37,0	-
NIR _{0,05}	uprawy – 1,5; nawożenia – r.n.; interakcji r.n.;			uprawy – 1,6; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.		

^{a/} 1 NK – nawożenie optymalne: 150 kg N·ha⁻¹ i 110 kg K·ha⁻¹; 2/3 NK – obniżone o 30%: 100 kg N·ha⁻¹ i 73 kg K·ha⁻¹

^{b/} Konserwująca 1 – międzyplon ścierniskowy (gorczyca biała) pozostawiony do wiosny; konserwujący 2 – słoma po zbiorze przedplonu wymieszana kultywátorem podorywkowym; konserwująca 3 – międzyplon ozimy (wyka ozima) pozostawiony do wiosny; konserwująca 4 – międzyplon ozimy (żyto zwyczajne) pozostawiony do wiosny

^{c/} r.n. – różnica nieistotna

Źródło: Kuc, 2014 (15).

Jednym z czynników decydujących o właściwościach fizycznych gleby jest jej struktura. Agregacja cząstek glebowych ma zasadniczy wpływ na żyzność i urodzajność gleb, reguluje stosunki powietrzno-wodne oraz przeciwdziała erozji (15, 28). O jakości struktury gleby decyduje też między innymi odporność agregatów glebowych na procesy zbrylania i rozpylania (15, 16). Dodatkowo małe jest jeszcze rozeznanie dotyczące intensywności nawożenia, w szczególności azotem, na zmiany właściwości fizycznych gleby. Uzyskane przez Kuc'a (15) oraz Kuc'a i in. (16) wyniki badań wskazują, że w początkowym okresie wzrostu kukurydzy najkorzystniejszą strukturą charakteryzowała się gleba uprawiana systemem orkowym. Jednakże pod

koniec okresu wegetacji wyższe wartości średniej ważonej średnicy agregatu oraz wskaźnika struktury gleby stwierdzono w warunkach uprawy konserwującej. Pośród przyjętych różnych wariantów uprawy konserwującej, uprawa żyta w międzyplonie ozimym najbardziej sprzyjała agregacji cząstek glebowych, o czym świadczą wyniki wskaźnika struktury gleby i średniej ważonej średnicy agregatu. Zmniejszone nawożenie azotem i potasem przyczyniło się natomiast do zmniejszenia rozpylenia gleby i wzrostu wskaźnika struktury jedynie w początkowym okresie wegetacji kukurydzy (tabela 2 i 3).

Tabela 3

Wybrane właściwości fizyczne gleby pod kukurydzą w zależności od sposobu uprawy roli i nawożenia (warstwa gleby 0-10 cm, średnie z lat 2008-2010)

Uprawa roli	Wiosna			Jesień		
	Nawożenie					
	1 NK	2/3 NK	średnio	1 NK	2/3 NK	średnio
wskaźnik zbrzylenia gleby						
Płużna	0,04	0,04	0,04	0,29	0,36	0,33
Konserwująca 1 ^{b/}	0,03	0,07	0,05	0,35	0,33	0,34
Konserwująca 2 ^{b/}	0,03	0,07	0,05	0,35	0,35	0,35
Konserwująca 3 ^{b/}	0,06	0,05	0,06	0,36	0,33	0,35
Konserwująca 4 ^{b/}	0,10	0,06	0,08	0,30	0,31	0,31
Średnio	0,05	0,06	-	0,33	0,34	-
NIR _{0,05}	uprawy – r.n. ^{c/} ; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.			uprawy – r.n.; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.		
wskaźnik rozpylenia gleby						
Płużna	0,39	0,38	0,39	0,29	0,36	0,33
Konserwująca 1	0,45	0,38	0,42	0,35	0,33	0,34
Konserwująca 2	0,40	0,43	0,42	0,35	0,35	0,35
Konserwująca 3	0,44	0,36	0,40	0,36	0,33	0,35
Konserwująca 4	0,45	0,45	0,45	0,30	0,31	0,31
Średnio	0,43	0,40	-	0,33	0,34	-
NIR _{0,05}	uprawy – r.n.; nawożenia – 0,03; interakcji – 0,06			uprawy – r.n.; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.		
wskaźnik struktury gleby						
Płużna	0,85	0,86	0,86	0,88	0,52	0,70
Konserwująca 1	0,65	0,76	0,71	0,82	0,81	0,82
Konserwująca 2	0,68	0,60	0,64	1,00	1,00	1,00
Konserwująca 3	0,69	0,88	0,79	0,85	0,93	0,89
Konserwująca 4	0,58	0,68	0,63	1,15	1,24	1,20
Średnio	0,69	0,76	-	0,94	0,90	-

Tabela 3 cd.

NIR _{0,05}	uprawy – 0,13; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.			uprawy – r.n.; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.		
	średnia ważona średnica agregatu (mm)					
Płużna	1,35	1,35	1,35	1,35	1,14	1,25
Konserwująca 1	1,15	1,31	1,23	1,37	1,34	1,36
Konserwująca 2	1,11	1,21	1,16	1,40	1,52	1,46
Konserwująca 3	1,31	1,32	1,32	1,41	1,34	1,38
Konserwująca 4	1,30	1,30	1,30	1,85	1,55	1,70
Średnio	1,24	1,30	-	1,48	1,38	-
NIR _{0,05}	uprawy – 0,10; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.			uprawy – 0,12; nawożenia – r.n.; interakcji – r.n.		

*/ objaśnienia w tabeli 2

Źródło: Kuc i in., 2015 (16).

Uprawa konserwująca, a w szczególności siew bezpośredni, charakteryzuje się w porównaniu do tradycyjnej uprawy płużnej korzystnym oddziaływaniem na środowisko przyrodnicze. Sprzyja ono między innymi akumulacji glebowej materii organicznej i życiu biologicznemu – zwiększa się bowiem różnorodność organizmów glebowych. Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że liczebność i biomasa dżdżownic w glebie zależała istotnie od systemu uprawy, jak również od terminu przeprowadzonych oznaczeń. W obu terminach obserwacji siew bezpośredni przyczynił się do rozwoju znacznie liczniejszej populacji dżdżownic w porównaniu do populacji oznaczonej w glebie po orce. Niezależnie od uprawy, liczebność i biomasa dżdżownic była odpowiednio kilkakrotnie większa jesienią niż wiosną (tab. 4).

Tabela 4

Wpływ 33-letniej uprawy płużnej i siewu bezpośredniego na zagęszczenie i biomasa dżdżownic w glebie w okresie wiosny i jesieni

Uprawa roli	Dżdżownice	
	liczba (szt. · m ⁻²)	biomasa (g · m ⁻²)
wiosna		
Płużna	19,0 ^{a*}	19,6 ^a
Siew bezpośredni	53,5 ^b	44,1 ^b
Średnio	36,3	31,9
jesień		
Płużna	53,0 ^a	49,4 ^a
Siew bezpośredni	183,0 ^b	96,1 ^b
Średnio	118,0	72,8

/* wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Lenart i Sławiński, 2010 (17).

Z innych badań przeprowadzonych przez Gajdę (5) wynika, że uprawa konserwująca (technika bezorkowa, uprawa zerowa) sprzyja wzrostowi żyzności gleby wyrażonej między innymi poprzez ogólną liczbę bakterii, promieniowców i grzybów oraz zawartość C w ich biomacie. Częściowe wyniki tych prac zostały opublikowane w wcześniejszych opracowaniach (25, 26).

Innymi, nie mniej ważnymi wskaźnikami charakteryzującymi jakość i urodzajność gleb, są aktywność respiracyjna drobnoustrojów, aktywność dehydrogenaz i zawartość N w biomacie mikroorganizmów. Tempo utleniania związków organicznych do dwutlenku węgla przez drobnoustroje glebowe jest kluczowym procesem w obiegu węgla. Oszacowano, że około 90% wydzielającego się z gleby CO₂ jest pochodzenia drobnoustrojowego, co wskazuje na ogromną rolę mikroorganizmów w metabolizmie glebowym. Uogólniając można stwierdzić, że najwyższą aktywnością respiracyjną drobnoustrojów charakteryzowały się gleby pod uprawą konserwującą, zarówno bezorkową, jak i zerową (tab. 5).

Tabela 5

Wpływ różnych systemów uprawy roli na aktywność respiracyjną drobnoustrojów

Uprawa roli	Miejscowość											
	Rogów				Laskowice				Baborówko			
	2003	2010	przyrost		2003	2010	przyrost		2003	2010	przyrost	
	(μg C-CO ₂ ·g ⁻¹ s.m. gleby 10 d ⁻¹)		(%)		(μg C-CO ₂ ·g ⁻¹ s.m. gleby 10 d ⁻¹)		(%)		(μg C-CO ₂ ·g ⁻¹ s.m. gleby 10 d ⁻¹)		(%)	
Pluźna	176,1 ^{a*}	225,3 ^a	49,2	21,8	94,7 ^a	145,5 ^a	50,8	34,9	118,4 ^a	152,5 ^a	34,1	22,4
Bezorkowa	246,6 ^b	278,8 ^b	32,2	11,5	145,0 ^b	174,6 ^b	29,6	16,9	164,3 ^b	188,2 ^b	23,9	12,7
Zerowa	253,9 ^b	272,5 ^b	18,6	6,8	156,4 ^b	189,4 ^b	33,0	17,4	162,2 ^b	179,5 ^b	17,3	9,6

^{a*} wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Gajda, 2015 (5).

Brak orki powoduje, że materiał roślinny dostający się do gleby gromadzi się głównie w górnej jej warstwie, co sprzyja wzmoczonej aktywności drobnoustrojów w procesach rozkładu materii organicznej, a w konsekwencji zwiększa tempo uwalniania CO₂ z gleby. Podobne zależności zanotowano również w przypadku oceny aktywności dehydrogenaz. Badania wskazały, że wysoka ich aktywność w glebie uprawianej bezorkowo i w systemie zerowym była wynikiem nagromadzenia się większej ilości C_{org} i N w glebie w tych systemach w porównaniu z glebą uprawianą pluźnią. Ponadto większa pula C_{org} w glebach pod uprawą konserwującą stymulowała w wyższym stopniu rozwój mikroorganizmów, co miało istotny wpływ na wzrost aktywności dehydrogenaz oraz wzrost zawartości N w biomacie (tab. 6 i 7).

Tabela 6

Wpływ różnych systemów uprawy roli na aktywność dehydrogenaz

Uprawa roli	Miejscowość											
	Rogów				Laskowice				Baborówko			
	2003	2010	przyrost		2003	2010	przyrost		2003	2010	przyrost/ubytek	
	(µg TPF·g ⁻¹ s.m. gleby 24 h ⁻¹)			(%)	(µg TPF·g ⁻¹ s.m. gleby 24 h ⁻¹)			(%)	(µg TPF·g ⁻¹ s.m. gleby 24 h ⁻¹)			(%)
Płużna	81,1 ^{aa}	101,4 ^a	20,3	20,0	62,5 ^a	65,6 ^a	3,1	4,7	92,2 ^a	81,2 ^a	-11,0	-13,5
Bezorkowa	102,8 ^b	139,4 ^b	36,6	26,3	64,9 ^a	92,3 ^b	27,4	29,7	93,3 ^a	115,9 ^b	22,6	19,5
Zerowa	94,3 ^b	170,2 ^c	75,9	44,6	64,0 ^a	84,2 ^b	24,0	24,0	102,3 ^a	127,9 ^b	25,6	20,0

^{aa} wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Gajda, 2015 (5).

Tabela 7

Wpływ różnych systemów uprawy roli na zawartość N w biomase drobnoustrojów

Uprawa roli	Miejscowość											
	Rogów				Laskowice				Baborówko			
	2003	2010	przyrost		2003	2010	przyrost		2003	2010	przyrost	
	(µg N·g ⁻¹ s.m. gleby 10 d ⁻¹)			(%)	(µg N·g ⁻¹ s.m. gleby 10 d ⁻¹)			(%)	(µg N·g ⁻¹ s.m. gleby 10 d ⁻¹)			(%)
Płużna	11,5 ^{aa}	18,5 ^a	7,0	37,8	4,8 ^a	6,6 ^a	1,8	27,3	5,2 ^a	7,5 ^a	2,3	30,7
Bezorkowa	12,8 ^b	46,3 ^b	33,5	72,4	5,8 ^a	10,2 ^b	4,4	43,1	5,8 ^a	25,2 ^b	19,4	77,0
Zerowa	11,6 ^a	48,8 ^b	37,2	76,2	6,6 ^a	14,2 ^c	7,6	53,5	6,6 ^a	27,2 ^b	20,6	75,7

^{aa} wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Gajda, 2015 (5).

Tabela 8

Wpływ 33-letniej uprawy płużnej i siewu bezpośredniego na wybrane chemiczne właściwości gleby

Warstwa gleby	Uprawa	C _{org.}	N _{org.}	C : N	P	K	Mg
		g·kg ⁻¹					
0-10	płużna	10,7 ^{aa}	1,17 ^a	9,1 ^a	87,1 ^a	234 ^a	78,1 ^a
	siew bezpośredni	14,7 ^b	1,53 ^b	9,6 ^a	130,8 ^b	325 ^b	103,2 ^b
10-20	płużna	10,1 ^a	1,12 ^a	9,0 ^a	81,4 ^a	153 ^a	77,9 ^a
	siew bezpośredni	11,7 ^b	1,31 ^b	8,9 ^a	99,3 ^b	157 ^b	88,8 ^a

^{aa} wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Lenart i Sławiński, 2010 (17).

Tabela 9

Odczyn (pH_{IMKCl}) gleby po 33 latach stosowania uprawy płużnej i siewu bezpośredniego

Warstwa gleby (cm)	Bez wapnowania		Z wapnowaniem	
	uprawa płużna	siew bezpośredni	uprawa płużna	siew bezpośredni
0 – 10	5,40 ^{aa}	5,43 ^a	5,90 ^a	5,91 ^a
10 – 20	5,70 ^a	5,76 ^a	5,79 ^a	6,29 ^a

^{aa} wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Lenart i Sławiński, 2010 (17).

Tabela 10

Wpływ różnych sposobów przedsięwzięcia przygotowania pola pod kukurydzę na wybrane chemiczne właściwości gleby (Grabów, jesień 2012)

Następstwo roślin / sposób uprawy roli	Warstwa gleby (cm)	pH _{KCl}	Zawartość makroelementów (mg·kg ⁻¹)			Zawartość próchnicy (g·kg ⁻¹)	Azot ogólny (g·kg ⁻¹)
			P	K	Mg		
Monokultura – siew bezpośredni	0-10	6,06 ^a	84,6 ^c	168 ^c	33,5 ^c	8,3 ^b	0,74 ^b
	10-20	6,12 ^a	78,9 ^b	120 ^b	25,5 ^b	7,5 ^a	0,64 ^a
	20-30	6,31 ^b	75,4 ^a	82,2 ^a	19,7 ^a	7,0 ^a	0,59 ^a
	średnia	6,16	79,6	123	26,3	7,6	0,66
Monokultura – pełna uprawa roli	0-10	6,63 ^a	109 ^a	56,4 ^a	22,6 ^a	7,3 ^a	0,61 ^a
	10-20	6,83 ^b	109 ^a	52,3 ^a	23,3 ^a	7,7 ^a	0,62 ^a
	20-30	6,97 ^b	114 ^b	73,9 ^b	24,9 ^b	7,8 ^a	0,61 ^a
	średnia	6,81	111	60,9	23,6	7,6	0,61
Zmianowanie – pełna uprawa roli	0-10	5,58 ^a	79,4 ^a	60,6 ^a	20,8 ^a	7,2 ^a	0,60 ^a
	10-20	6,06 ^b	84,6 ^b	58,9 ^a	21,5 ^a	7,5 ^a	0,64 ^b
	20-30	6,12 ^b	78,9 ^a	61,4 ^a	25,5 ^b	8,3 ^b	0,64 ^b
	średnia	5,92	81,0	60,3	22,6	7,7	0,63

^a wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Księżak i in., 2018 (14).

W warunkach uprawy konserwującej (siew bezpośredni, system bezorkowy) stwierdzono w powierzchniowej warstwie gleby istotnie większe zawartości węgla organicznego (próchnicy) oraz azotu ogólnego w porównaniu z uprawą płużną. Podobne zależności zanotowano również w przypadku zasobności gleby w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu, natomiast odczyn (pH gleby) na ogół nie zależał istotnie od systemu uprawy roli. Zależności te przedstawiono w wcześniejszych opracowaniach własnych (25, 26). Wyniki te dobrze korespondują z wynikami badań uzyskanymi również przez Lenarta i Sławińskiego (17) - tab. 8 i 9 oraz Księżaka i in. (14) - tab. 10.

Plonowanie roślin

Zdaniem wielu autorów uprawa bezorkowa, a w szczególności uprawa zerowa, po której następuje siew bezpośredni, prowadzi do wzrostu zagęszczenia gleby zasadniczo w pierwszym okresie po wprowadzeniu takich modyfikacji w przedsięwzięciu przygotowaniu pola pod zasiew, co może ograniczać między innymi pobieranie składników pokarmowych, rozwój systemu korzeniowego i produkcję biomasy nadziemnej roślin uprawnych. Na podstawie dotychczas uzyskanych wyników badań można wnioskować, że uproszczona uprawa roli (trwale stosowana) nie wpłynęła

negatywnie na produkcję biomasy oraz pobranie składników pokarmowych, w tym azotu. W fazie dojrzałości pełnej łączny plon suchej masy ziarna i słomy jęczmienia jarego był istotnie wyższy niż w uprawie płuźnej. Siew bezpośredni przyczynił się natomiast do obniżenia wytworzonej biomasy nadziemnej tego gatunku. Odnotowano też tendencje negatywnego oddziaływania przerywania siewu bezpośredniego uprawą płuźną bądź uproszczoną w odniesieniu do uprawy zerowej stosowanej corocznie. W badaniach tych stwierdzono też wyższe wartości indeksu odżywienia azotem roślin jęczmienia jarego w fazie strzelania w źdźbło w tradycyjnej – płuźnej uprawie roli, w fazie kłoszenia natomiast w uprawie uproszczonej. Porównywane systemy uprawy roli nie wpływały istotnie na indeks zbioru oraz indeks pobrania azotu, co przedstawiono w tabeli 11 i 12.

Tabela 11

Indeks odżywienia azotem (NNI), indeks zbioru oraz indeks pobrania azotu w różnych systemach uprawy roli
(jęczmień jary, średnie z lat 2011-2013)

Uprawa roli	Indeks odżywienia azotem		Indeks zbioru (%)	Indeks pobrania azotu (%)
	GS 31	GS 61		
Płuźna - trwale stosowana	0,71	0,60	54,6	74,8
Uproszczona - trwale stosowana	0,65	0,76	54,6	71,9
Siew bezpośredni stosowany przemiennie z uprawą uproszczoną	0,68	0,64	55,9	75,8
Siew bezpośredni (2 lata) przerywany rokiem uprawy uproszczonej	0,66	0,58	56,5	78,6
Siew bezpośredni (3 lata) przerywany rokiem uprawy płuźnej	0,67	0,57	55,9	79,7
Siew bezpośredni (5 lat) przerywany rokiem uprawy płuźnej	0,63	0,64	55,7	78,1
Siew bezpośredni - trwale stosowany	0,70	0,61	55,6	76,6
NIR _{0,05}	0,04	0,05	r.n. ^{*/}	r.n.

^{*/} r.n. – różnica nieistotna

Źródło: Małecka i in., 2014 (18).

Tabela 12

Biomasa jęczmienia jarego (t s.m. · ha⁻¹) w różnych systemach uprawy roli
(średnie z lat 2011-2013)

Uprawa roli	Faza rozwojowa				
	GS 31	GS 61	GS 89		
			ziarno	słoma	razem
Płuźna - trwale stosowana	1,98	5,27	4,07	3,39	7,46
Uproszczona - trwale stosowana	1,99	5,22	4,44	3,69	8,13
Siew bezpośredni stosowany przemiennie z uprawą uproszczoną	1,85	4,85	4,03	3,17	7,20
Siew bezpośredni (2 lata) przerywany rokiem uprawy uproszczonej	1,78	4,74	3,65	2,81	6,46
Siew bezpośredni (3 lata) przerywany rokiem uprawy płuźnej	1,76	4,66	3,86	3,05	6,91
Siew bezpośredni (5 lat) przerywany rokiem uprawy płuźnej	1,87	4,85	3,89	3,10	6,99
Siew bezpośredni - trwale stosowany	1,73	4,76	4,10	3,28	7,38
NIR _{0,05}	0,11	0,36	0,31	0,30	0,59

Źródło: Małecka i in., 2014 (18).

Przeprowadzone w różnych warunkach siedliskowych badania dotyczące reakcji roślin, w tym pszenicy ozimej i jęczmienia jarego, na uproszczenia w uprawie roli wskazują wyraźnie, iż większe spadki plonu występują w gorszych warunkach siedliskowych (gleby lekkie) i w niekorzystnych stanowiskach (uprawa po złych przedplonach). Po dobrym przedplonie, jak również w sprzyjających warunkach siedliskowych i agrotechnicznych, reakcja roślin na zastosowane uproszczenia w uprawie roli jest słaba lub w ogóle nie występuje, co udokumentowano w wcześniejszych badaniach własnych (25). W badaniach przeprowadzonych przez innych autorów stwierdzono, że uproszczone (bezpłuzne) systemy uprawy roli spowodowały obniżenie plonów porównywanych odmian pszenicy ozimej w stosunku do uprawy konwencjonalnej – płuznej. W badaniach tych wykazano też współdziałanie odmiany ze sposobem uprawy roli. W warunkach uprawy płuznej odmiana Muszelka plonowała lepiej od pozostałych odmian, natomiast produktywność odmiany pszenicy Ostka Strzelecka była najlepsza w warunkach bezpłuznej uprawy roli, gdzie poźniwie zastosowano bronę talerzową (tab. 13).

Tabela 13

Plony pszenicy ozimej ($t \cdot ha^{-1}$) w zależności od sposobu uprawy roli (średnia z lat 2011-2013)

Odmiana	Sposób uprawy roli			Średnio
	płuzny	uproszczony 1 ^{*/}	uproszczony 2 ^{*/}	
Muszelka	5,84	5,02	5,05	5,30
Ostka Strzelecka	5,50	4,73	5,49	5,24
Kohelia	5,48	4,84	4,87	5,06
Satyna	5,06	4,90	4,73	4,90
Średnio	5,47	4,87	5,04	-
NIR _{0,05} dla: sposobu uprawy – 0,35; odmiany – 0,32; odmiany x sposób uprawy – 0,45				

^{*/} uproszczony 1 – kultywator z redlicami typu gęsiostopka, a następnie agregat uprawowy (kultywator + wał);

uproszczony 2 – brona talerzowa, a następnie agregat uprawowy (kultywator + wał)

Źródło: Weber i Kieloch, 2014 (30).

Wyniki dotychczasowych badań z burakiem cukrowym wskazują, że tradycyjna – płuzna uprawa roli może być zastępowana płytką (15 cm) lub głęboką (30 cm) uprawą uproszczoną, a nawet siewem bezpośrednim. Interesującym rozwiązaniem może być również zastosowanie uprawy pasowej (strip-till) jako innowacyjnej alternatywy dla produkcji buraka w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Przeprowadzone badania wskazują bowiem, że zastąpienie głębokiej orki przez głębokie gruberowanie, a płytkiej uprawy bezpłuznej uprawą pasową nie miało wpływu na plon korzeni i cukru. Jednocześnie stwierdzono, że biologiczna zawartość cukru nie zależała w istotny sposób od zastosowanej techniki uprawy roli (tab. 14). Zastąpienie głębokiej orki przedzimowej uprawą bezpłuzną, zwłaszcza spłyconą do 15 cm lub uprawą pasową, pozwoliło ograniczyć zużycie paliwa w uprawie buraka cukrowego o 8,5-10,0 $l \cdot ha^{-1}$, tj. o około 40-44% (9).

Tabela 14

Plon korzeni i cukru oraz polaryzacja buraka cukrowego (średnio za lata 2012-2014)

Uprawa roli / głębokość uprawy	Plon korzeni (t·ha ⁻¹)		Polaryzacja (%)		Plon cukru (t·ha ⁻¹)	
	doświadczenie					
	I	II	I	II	I	II
Płużna /30 cm	88,6 ^{a*}	-	16,8 ^a	-	12,7 ^a	-
Bezpłużna /30 cm	87,3 ^a	-	16,9 ^a	-	12,8 ^a	-
Bezpłużna /15 cm	81,5 ^b	83,2 ^a	16,8 ^a	17,6 ^a	11,9 ^b	13,1 ^a
Strip-till /15 cm	-	82,9 ^a	-	17,5 ^a	-	12,9 ^a

* wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Jaskulska i in., 2017 (9).

Interesujących wyników dostarczyły również badania Piechoty i in. (21) dotyczące produktywności kukurydzy, którą uprawiano różnymi technikami uprawy z zastosowaniem dogłębowej aplikacji nawozów organicznych (różne warianty stosowania gnojowicy) na tle pełnego nawożenia mineralnego w porównaniu do obiektu bez nawożenia (kontrola). Wynika z nich jednoznacznie, że plony ziarna kukurydzy uzyskane techniką uprawy pasowej z jednoczesnym rzędowym nawożeniem gnojowicą nie ustępowały plonom uzyskanym w uprawie pasowej, gdzie stosowano jedynie pełne nawożenie mineralne. Plony te były jednocześnie tylko o 0,31 t·ha⁻¹, tj. 4% mniejsze od plonu ziarna uzyskanego techniką orkową (tab. 15). Nowa, innowacyjna metoda łącznego stosowania nawożenia organicznego i pasowej uprawy roli może być dobrym rozwiązaniem w gospodarstwach trzodowych uprawiających kukurydzę lub w gospodarstwach zlokalizowanych blisko chlewni mających bezpośredni dostęp do gnojowicy.

Tabela 15

Plon ziarna i słomy kukurydzy (t·ha⁻¹) w zależności od sposobu uprawy roli i nawożenia (średnio za lata 2010-2012)

Uprawa roli	Nawożenie							Średnia
	K ^{1/}	Min	G	GEM	GN	GM	W	
plon ziarna								
Pasowa	5,75	7,68	7,73	8,20	8,09	8,06	7,03	7,50
Uproszczona	5,61	7,84	7,89	7,62	7,38	6,92	7,46	7,25
Płużna	6,02	8,46	8,14	8,00	8,42	8,19	7,43	7,81
Średnio	5,80	8,00	7,92	7,94	7,96	7,73	7,31	-
NIR _{0,05}	uprawa roli – 0,23; nawożenie – 0,36; interakcja uprawa roli x nawożenie – 0,61							
plon słomy								
Pasowa	6,31	7,91	8,47	7,75	8,33	9,12	6,88	7,83
Uproszczona	6,38	8,29	7,41	7,72	7,65	7,28	7,28	7,43
Płużna	6,71	8,40	7,87	8,31	7,86	7,26	7,95	7,77
Średnio	6,47	8,20	7,92	7,93	7,95	7,88	7,37	-
NIR _{0,05}	uprawa roli – 0,34; nawożenie – 0,52; interakcja uprawa roli x nawożenie – 0,90							

^{1/} K – kontrola bez nawożenia; Min – nawożenie mineralne; G – gnojowica; GEM – gnojowica + preparat EM; GN – gnojowica napowietrzana; GM – gnojowica po fermentacji metanowej; W – wywar gorzelniany

Źródło: Piechota i in., 2014 (21).

Badania Księżaka i in. (14) wskazują natomiast, że oprócz techniki uprawy roli istotny wpływ na plonowanie kukurydzy ma również region uprawy (uwarunkowania siedliskowe) i przebieg warunków pogodowych w trakcie okresu wegetacyjnego. Plon ziarna uzyskany w Baborówku (woj. Wielkopolskie) był o około 33% większy w porównaniu z plonem uzyskanym w Grabowie (woj. Mazowieckie). Jednocześnie udowodniono istotnie mniejsze plony ziarna kukurydzy uprawianej w monokulturze w warunkach siewu bezpośredniego w porównaniu z kukurydzą wysiewaną w zmianowaniu bądź w monokulturze, gdzie stosowano pełną uprawę roli, zarówno dla Baborówka, jak i dla Grabowa, a różnice te wyniosły odpowiednio 14 i 26% (tab. 16).

Tabela 16

Plon ziarna i słomy kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$) w zależności od przedsięwziętego sposobu przygotowania pola pod zasiew

Następstwo roślin/ sposób uprawy roli	RZD Grabów							
	2010		2011		2012		średnio	
	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma
Monokultura – uprawa zerowa	5,07 ^{a*}	5,15 ^a	6,84 ^a	7,11 ^a	5,32 ^a	5,25 ^a	5,74 ^a	5,84 ^a
Monokultura – uprawa pełna	5,02 ^a	4,96 ^a	9,54 ^b	9,65 ^b	5,92 ^b	6,56 ^b	6,83 ^b	7,06 ^b
Zmianowanie – uprawa pełna	5,46 ^b	5,21 ^a	10,92 ^c	10,82 ^c	7,05 ^c	8,72 ^c	7,81 ^c	8,25 ^c
Średnio	5,18	5,11	9,10	9,19	6,10	6,84	6,79	7,05
	RZD Baborówko							
Monokultura – uprawa zerowa	9,20 ^a	8,50 ^b	9,42 ^a	8,79 ^a	8,74 ^a	7,43 ^a	9,12 ^a	8,24 ^a
Monokultura – uprawa pełna	9,39 ^a	8,64 ^b	11,71 ^b	9,77 ^b	10,95 ^b	9,56 ^b	10,68 ^b	9,32 ^b
Zmianowanie – uprawa pełna	9,42 ^a	8,21 ^a	12,49 ^c	9,90 ^c	11,05 ^b	9,89 ^c	10,65 ^b	9,33 ^b
Średnio	9,34	8,45	11,21	9,49	10,25	8,96	10,15	8,96

^{a*} wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Księżak i in., 2018 (14).

Badania przeprowadzone w wcześniejszym okresie (lata 2007-2009) wskazują również na lepsze plonowanie zbóż (wyrażone w jednostkach zbożowych) w monokulturze, aniżeli w zmianowaniu (13). Zadecydowały o tym przede wszystkim mniejsze plony ziarna jęczmienia jarego wysiewanego w zmianowaniu: jęczmień jary – pszenica ozima – kukurydza (wszystkie rośliny uprawiane systemem płuznym) w porównaniu z plonowaniem kukurydzy uprawianej zarówno systemem płuznym (monokultura i zmianowanie), jak i w warunkach siewu bezpośredniego, gdzie kukurydzę uprawiano jedynie w monokulturze. Dodatkowo stwierdzono istotny wpływ siedliska (lokalizacji doświadczeń) na poziom uzyskiwanych plonów, gdyż i w tym przypadku wydajność roślin (jednostki zbożowe) okazała się lepsza w SD Baborówko w porównaniu z ich wydajnością uzyskaną w RZD Grabów, zarówno w uprawie tradycyjnej (płuznej), jak i w warunkach siewu bezpośredniego (tab. 17).

Tabela 17
Plonowanie roślin w jednostkach zbożowych w zależności od sposobu uprawy w latach 2007-2009

Następstwo roślin / sposób uprawy roli	RZD Grabów				SD Baborówko			
	2007	2008	2009	suma	2007	2008	2009	suma
Monokultura – uprawa zerowa	75,10	73,30	83,80	232,2	97,70	88,90	95,80	282,3
Monokultura – uprawa pełna	70,50	69,10	91,90	231,5	101,00	98,10	98,40	289,9
Zmianowanie – uprawa pełna	61,80	61,20	94,70	217,7	75,06	71,83	74,83	221,7
NIR _($\alpha=0,05$)	4,62	3,93	3,61	-	4,93	5,23	3,96	-

Źródło: Książak i in., 2010 (13).

Rutkowska i in. (23) wskazują natomiast, że wydajność kukurydzy uprawianej różnymi technikami uprawy roli (pełna uprawa płuzna w porównaniu z systemem bezorkowym) była podobna, natomiast zaznaczył się istotny wpływ lat badań (przebieg pogody w okresie wegetacyjnym) i lokalizacji doświadczeń (warunki siedliskowe). Szczególnie uwidocznili się to w doświadczeniu zlokalizowanym w miejscowości Żelazna, gdzie plony ziarna tego gatunku były 4-krotnie mniejsze (niezależnie od systemu uprawy roli) w roku 2015 w porównaniu do roku 2014 ze względu na znacznie niższe opady atmosferyczne (szczególnie w sierpniu) oraz wysokie temperatury powietrza. W tym samym okresie w doświadczeniu usytuowanym w Czesławicach plon kukurydzy był tylko o 13% mniejszy w uprawie tradycyjnej (płuznej) i 18% mniejszy w uprawie bezorkowej (tab. 18). Przeprowadzone badania wskazują również na zróżnicowanie emisji N_2O w zależności od systemu uprawy roli. Wynika z nich jednoznacznie, że bezorkowa uprawa roli charakteryzuje się istotnie mniejszą emisją podtlenku azotu do atmosfery praktycznie we wszystkich badanych tu siedliskach (lokalizacjach), co jest zjawiskiem korzystnym z uwagi na fakt oddziaływania rolnictwa na środowisko przyrodnicze (tab. 19).

Tabela 18
Plonowanie kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$) w zależności od systemu uprawy roli, lokalizacji i lat

Uprawa roli	Żelazna		Baborówko		Grabów		Czesławice	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Płuzna	11,45 ^a	2,90 ^a	8,55 ^a	6,69 ^a	8,62 ^a	4,98 ^a	15,6 ^a	13,6 ^a
Bezorkowa	11,94 ^a	2,97 ^a	8,41 ^a	6,61 ^a	8,23 ^a	4,61 ^a	17,3 ^a	14,1 ^a
NIR _($\alpha=0,05$) lata	1,12		0,73		0,81		1,22	

Źródło: Rutkowska i in., 2017 (23).

Tabela 19
Emisje N_2O ($\mu g N-N_2O m^2/h$) z gleby w zależności od systemu uprawy roli

Rok	Uprawa roli	Żelazna	Baborówko	Grabów	Czesławice	Średnio
2014	płuzna	10,69 ^b	11,13 ^b	14,36 ^b	12,06 ^b	12,06 ^b
	bezorkowa	8,66 ^a	9,26 ^a	8,30 ^a	10,54 ^a	9,19 ^a
2015	płuzna	10,43 ^b	9,48 ^a	12,51 ^b	10,78 ^b	10,80 ^b
	bezorkowa	9,18 ^a	9,60 ^a	7,50 ^a	9,22 ^a	8,87 ^a

Źródło: Rutkowska i in., 2017 (23).

Podsumowanie

Istnieje pilna potrzeba wdrożenia do szerokiej praktyki rolniczej uzyskanych dotychczas wyników badań naukowych oraz prac badawczo-rozwojowych nad produkcyjno-ekonomicznymi, energetycznymi oraz środowiskowymi konsekwencjami uproszczeń w uprawie roli. Proponowane rozwiązania charakteryzują się bowiem wieloma zaletami. Ograniczenie ilości i głębokości (intensywności) wykonywania zabiegów uprawowych może przyczynić się do eliminowania procesów degradacji gleby, sprzyjać nagromadzeniu się próchnicy i poprawiać jej biologiczną aktywność. Pozostawienie resztek poźniwnych na powierzchni gleby prowadzi do zmniejszenia spływów powierzchniowych i parowania wody z gleby, a z tym bezpośrednio wiąże się zwiększenie retencji wodnej gleby. Poza tym zmniejszenie intensywności uprawy powoduje spowolnienie rozkładu materii organicznej oraz zmniejszenie wydzielania CO_2 i N_2O do atmosfery.

Wyniki prac badawczych wskazują też na korzyści finansowe zastosowania uproszczeń w uprawie roli. Zmniejszą się bowiem nakłady energetyczne na produkcję roślinną między innymi poprzez mniejsze zużycie paliwa oraz nakładów pracy ludzkiej, natomiast uzyskiwany poziom plonów jest porównywalny z produktywnością roślin uprawianych techniką klasyczną – płuzna uprawa roli z pełnym wykonaniem uprawek poźniwnych i przedsięwnych.

Należy również zaznaczyć, że gospodarstwa rolne bazujące na posiadanym aktualnie sprzęcie nie mogą wprowadzać drastycznych zmian w poźniwnym i przedsięwnym przygotowaniu pola pod zasiew, ponieważ mogą one prowadzić do znacznego wzrostu zachwaszczenia pól uprawnych, głównie chwastami wieloletnimi. Wskazana jest tu także odpowiednia wiedza fachowa samych rolników, ponieważ wszelkie zaniedbania dotyczące stosowania uproszczeń w uprawie roli prowadzą do drastycznej obniżki plonów i pogorszenia się ekonomicznej opłacalności produkcji. Dodatkowo znaczne rozdrobnienie gospodarstw w niektórych rejonach naszego kraju oraz zła kondycja finansowa wielu z nich ogranicza w znacznym stopniu możliwość zastosowania nowych rozwiązań w uprawie roli i roślin.

Wnioski praktyczne dotyczące stosowania konserwujących technik uprawy roli (uprawa bezorkowa, uprawa zerowa, uprawa pasowa) można zrekapitulować w następujący sposób:

1. Wybór techniki uprawy roli powinien być dostosowany do warunków konkretnego gospodarstwa, tj. przyjętego modelu (systemu) produkcji, płodozmianu, wielkości gospodarstwa oraz jego możliwości finansowych (zakup nowego sprzętu, zamówienie wykonania usługi, leasing).
2. Dla wielu rolników ważnym jest, by dostarczany na rynek sprzęt był relatywnie tani, prosty w obsłudze oraz skuteczny w działaniu.
3. Wprowadzanie innowacyjnych różnych rozwiązań w produkcji rolniczej to element postępu w gospodarstwie i wzrostu jego konkurencyjności na rynku.

4. Wszelkie działania rolnika muszą być uzasadnione ekonomicznie, akceptowalne społecznie i sprzyjać ochronie środowiska przyrodniczego.
5. Istotna jest tu kwestia szybkiego transferu wiedzy z nauki do praktyki rolniczej, głównie poprzez ODR oraz szkolnictwo zawodowe i wyższe, dotyczącego innowacyjnych rozwiązań w agrotechnice roślin uprawnych.

Literatura

1. Biskupski A., Pabin J., Kukuła S., Włodek S., Kaus A.: Wpływ ugniatającego oddziaływania elementów jezdnych na właściwości fizyczne gleby oraz plonowanie jęczmienia jarego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **460**: 405-412.
2. Davidson E. A., Acerman I.L.: Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry, 1993, **20**:161-193.
3. Dzienia S., Zimny L., Weber R.: Najnowsze kierunki w uprawie roli i technice siewu. Fragm. Agron., 2006, **2**: 227-241.
4. Friedrich Th., Kienzle J., Eppelein J., Basch G.: Schonende Bodenbearbeitung, Verlag DLG; Konservierende Bodenbearbeitung, 2008, 55-77.
5. Gajda A. M.: Mikrobiologiczne i biochemiczne wskaźniki jakości gleb pod pszenicą ozimą w zależności od systemu uprawy roli. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2015, **46**: 1-165.
6. Garcia-Torres L.: Konservierende Bodenbearbeitung in Europa: Umweltrelevante, ökonomische und EU politische Perspektiven. Deutsche Gesellschaft für Konservierende Bodenbearbeitung, Berlin, 1999, 5-23.
7. GUS. Charakterystyka gospodarstw rolnych. Powszechny Spis Rolny 2010, Warszawa 2012.
8. Jabłoński B.: Ogólna uprawa roli i roślin. PWRiL, Warszawa, 1980.
9. Jaskulska I., Najdowski Ł., Gałęzewski L., Kotwica K., Lamparski R., Piekarczyk M., Wasilewski P.: Wpływ cało powierzchniowej uprawy bezplużnej i strip-till na zużycie paliwa, plony oraz jakość korzeni buraka cukrowego. Fragm. Agron., 2017, **3**: 58-65.
10. Kassam A., Friedrich T., Derpsch R., Kienzle J.: Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. Field Actions Science Reports (www.factsreports.org) 2015, **8**: 1-11.
11. Kinsella J.: The effect of various tillage systems in soil compaction. Farming for a Better Environment, A White Paper, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, 1995, 15-17.
12. Köller K., Linke Ch.: Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug, 2001, 5-176.
13. Księżak J.: Assessment of maize yields as affected by seedbed preparation method. Pol. J. Agronom., 2010, **2**: 33-40.
14. Księżak J., Bojarszczyk J., Staniak M.: Comparison of maize yield and soil chemical properties under maize (*Zea mays* L.) grown in monoculture and crop rotation. J. Elem., 2018, **23(2)**: 531-543. DOI:10.5601/jelem.2017.22.3.1453.
15. Kuc P.: Wpływ konserwującej uprawy kukurydzy oraz zróżnicowanego nawożenia mineralnego na wybrane właściwości fizyczne gleby. Fragm. Agron., 2014, **1**: 32-43.
16. Kuc P., Tendziągolska E., Wacławowicz R.: Wpływ konserwującej uprawy stosowanej pod kukurydzę na strukturę gleby. Fragm. Agron., 2015, **4**: 32-42.
17. Lenart S., Sławiński P.: Wybrane właściwości gleby oraz występowanie dżdżownic w warunkach siewu bezpośredniego i plużnej uprawy roli. Fragm. Agron., 2010, **4**: 86-93.
18. Małecka I., Bleharczyk A., Sawinska Z., Piechota T.: Wpływ systemów uprawy roli na produkcję biomasy nadziemnej jęczmienia jarego oraz pobranie makroskładników. Fragm. Agron., 2014, **4**: 65-74.
19. Niewiadomski W.: Słownik Agro-Bio-Techniczny, PTNA Lublin, 1992.
20. Pabin J., Kukuła S., Włodek S., Biskupski A., Kaus A.: Wpływ głęboszowania i ugniataania gleby przejazdami ciągników na jej właściwości fizyczne i plony korzeni buraka cukrowego, Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **460**: 395-403.

21. Piechota T., Kowalski M., Sawinska Z., Majchrzak L.: Ocena przydatności pasowej uprawy roli do doglebowej aplikacji płynnych nawozów organicznych w uprawie kukurydzy. *Fragm. Agron.*, 2014, **1**: 74-82.
 22. Pruszyński S.: Ochrona upraw w rolnictwie zrównoważonym. *Probl. Inż. Rol.*, 2006, **2**: 71-80.
 23. Rutkowska B., Szulc W., Szara E., Skowrońska M., Jadczyzyn T.: Soil N₂O emission under conventional and reduced tillage methods and maize cultivation. *Plant Soil Environ.*, 2017, **63(8)**: 342-347. DOI: 10.17221/291/2017-PSE.
 24. Smagacz J.: Produkcyjno-ekonomiczne i środowiskowe skutki różnych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2012, **29(3)**: 121-134.
 25. Smagacz J.: Uprawa roli jako element zrównoważenia środowiskowego produkcji roślinnej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **43(17)**: 89-101.
 26. Smagacz J.: Konsekwencje organizacyjne i środowiskowe różnych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2016, **47(1)**: 139-153.
 27. Świętochowski B., Jabłoński B.: Uprawa roli, PWRiL, Warszawa 1964.
 28. Weber R.: Wpływ uprawy zachowawczej na ochronę środowiska. *Post. Nauk Rol.*, 2002, **1**: 57-67.
 29. Weber R.: Przydatność uprawy konserwującej w rolnictwie zrównoważonym. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2010, **25**: 1-72.
 30. Weber R., Kieloch R.: Wpływ bezpługowych sposobów uprawy roli na zmienność plonowania wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 2014, **4**: 65-74.
-

Adres do korespondencji:

*dr hab. Janusz Smagacz, prof. nadzw.
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel.: 81 47 86 804
e-mail: smagacz@iung.pulawy.pl*