

Tomasz Żyłowski

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

EFEKTYWNOŚĆ ŚRODOWISKOWA I EKONOMICZNA ROLNICTWA KONSERWUJĄCEGO*

Słowa kluczowe: rolnictwo konserwujące, systemy uprawy, efektywność ekonomiczna, wpływ na środowisko

Wstęp

Paradygmat zrównoważonej intensyfikacji produkcji roślinnej (SCPI, ang. *Sustainable Crop Production Intensification*) zakłada efektywne i rentowne rolnictwo zwiększające produkcję, ale zachowujące a nawet polepszające zasoby naturalne, takie jak gleba i woda. SCPI oznacza rolnictwo dające szerokie korzyści społeczno-ekonomiczne i środowiskowe dla producentów i całej społeczności, również poprzez zwiększanie bioróżnorodności (37). Zrównoważone rolnictwo musi nie tylko, ograniczać emisję gazów cieplarnianych i zwiększać zawartość materii organicznej w glebie ale również adaptować się do zmian klimatu. Jednym z nurtów zrównoważonej intensyfikacji jest promowanie tzw. rolnictwa konserwującego, które stawia na pierwszym miejscu ochronę gleby, zakłada zwiększanie różnorodności gatunkowej w zmianowaniu, zintegrowaną ochronę przed szkodnikami, chorobami i chwastami oraz wydajną gospodarkę wodną. Celem pracy jest charakterystyka wskaźników efektywności ekonomicznej i środowiskowej systemów uprawy roli proponowanych w ramach rolnictwa konserwującego.

Definicja i rozwój rolnictwa konserwującego

Światowa Organizacja Żywności (FAO) sformułowała następującą definicję **rolnictwa konserwującego** (CA, ang. *conservation agriculture*) - to system produkcji rolnej, którego celem jest osiągnięcie zarówno wysokiej produkcji jak i wysokiej wydajności przy jednoczesnym poprawianiu bazy zasobów naturalnych, polegający na zastosowaniu trzech głównych zasad (3, 9):

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.7 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

1. Minimalna mechaniczna ingerencja w glebę, pozwalająca zwiększać poziom glebowej materii organicznej i poprawiająca stosunki wodne. Oznacza ona nieodwracanie gleby (niestosowanie orki).
2. Zachowanie stałej okrywy roślinnej (co najmniej 30% gruntu musi być okryte roślinnością tuż po siewie): międzyplony, poplony, mulczowanie. Rozważa się trzy kategorie: 30-60 %, 60-90%, >90% pokrywy roślinnej lub mulczu.
3. Stosowanie płodozmianu bogatego gatunkowo, redukującego rozwój chwastów, chorób i szkodników. Wprowadzenie do zmianowania roślin motylkowatych lub ich mieszanek z trawami.

Rolnictwo konserwujące obejmuje wiele praktyk rolniczych i zaleca ich łączne stosowanie. Poniżej przedstawimy podstawowe definicje (46) dotyczące sposobu uprawy roli, mylone nieraz z rolnictwem konserwującym, które jest podejściem szerszym.

W Polsce funkcjonuje pojęcie **uprawy konserwującej** - jest to uprawa bez użycia pługa talerzowego lub lemieszowego z pozostawianiem na co najmniej 30% powierzchni pola mulczu lub pozostałości przedplonu (tuż po siewie) (16). Podobny udział okrywy roślinnej zakłada definicja amerykańska (45). Definicja GUS osobno traktuje siew bezpośredni (system bez uprzedniego stosowania orki lub uprawy konserwującej). W ujęciu niemieckim uprawa konserwująca to uprawa roli, której intensywność jest mniejsza od uprawy konwencjonalnej, a większa od zerowej (39). Warto zauważyć, iż definicje uprawy konserwującej, obowiązujące w Polsce i innych krajach, nie są tożsame z tą podaną przez FAO, stąd też występują różnice w szacowanych arealach takiej uprawy.

Uprawa uproszczona RT (ang. *reduced till*), **uprawa bezpłuzna** (ang. *no-plough till*), **uprawa minimalna MT** (ang. *minimum till*) obejmują sposób uprawy mechanicznej, w której nie wykorzystuje się pługa (nie następuje odwracanie gleby). W systemach tych spulchniania gleby dokonuje się maszynami biernymi (kultywatorami, broną talerzową, itp.) lub czynnymi (rotacyjnymi, wahadłowymi, wibracyjnymi). Dotyczą więc uprawy roli, przy której wykonuje się minimalną liczbę zabiegów koniecznych do uprawy rośliny po przedplonie w danych warunkach glebowych i klimatycznych. **Uprawa zerowa NT** ang. (ang. *no-till*), **siew bezpośredni DD** (ang. *direct drilling*) – od zbioru przedplonu do wysiewu rośliny następczej rezygnuje się z mechanicznej ingerencji w glebę, na rzecz ochrony chemicznej. Siew wykonuje się specjalnymi agregatami, bezpośrednio w nieuprawioną rolę.

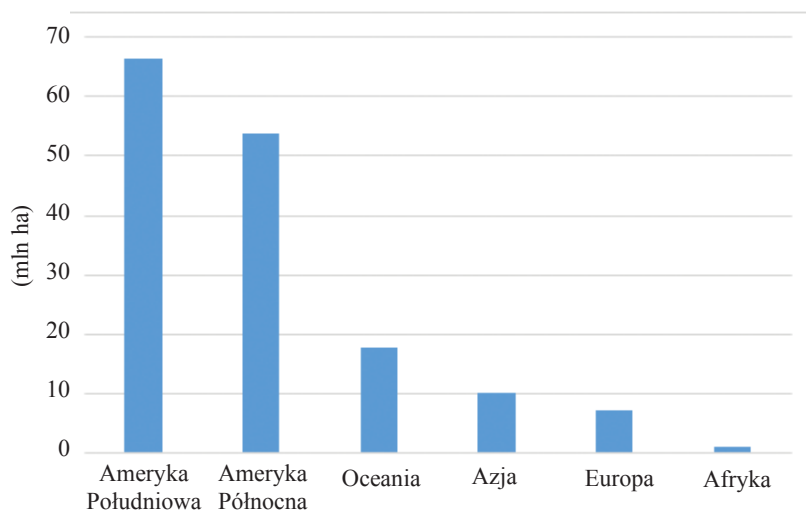
Uprawa pasowa (ang. *strip till*) – spulchnianie wąskiego pasa w rzędzie siewu. Ma łączyć zalety uprawy orkowej z bezorkową. Zwykle obejmuje uprawę roli w pasie siewu po zebraniu przedplonu (ma na celu oczyszczenie pola z resztek poźniwnych).

Uprawa redlinowa (ang. *ridge-till*) – sadzenie w redliny, przestrzeń pomiędzy nimi pozostaje nieuprawiona z pozostałościami po przedplonie.

Siew w mulcz (ang. *mulch-till*) – siew bezpośredni w rozdrobnione pozostałości roślinne, przemarznięty zielony nawóz itp. (46)

Plużna uprawa roli została po raz pierwszy szerzej zakwestionowana w latach 30-tych XX w. w USA, po skutkach suszy i silnej erozji wietrznej, określanych jako Dust Bowl (11). Powstała wtedy koncepcja ograniczenia uprawy i utrzymywania okrycia gleby, mająca na celu głównie jej gleby przed erozją. Próby uprawy bezorkowej (NT) podjęto na niewielką skalę w Stanach Zjednoczonych już w latach 40-tych XX wieku. Od lat 70-tych XX wieku testowano technologie NT i mulczowanie w Brazylii i Zachodniej Afryce osiągając areał ok. 2,8 mln ha (11).

Znaczący wzrost zainteresowania rolnictwem konserwującym nastąpił w latach 90-tych XX w. i można go powiązać z promocją tego typu rolnictwa przez FAO i CIRAD (fr. *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*). W latach 1996/97 areał światowy CA szacowano już na 38 mln ha i wynikał z popularności tego typu rolnictwa w głównie w Ameryce Południowej (Brazylia, Argentyna, Paragwaj) oraz Afryce (Zambia, Tanzania, Kenia); (11). Obecnie CA jest najszerzej rozpowszechnione w Ameryce Południowej i części Ameryki Północnej osiągając w niektórych regionach ok. 50% powierzchni wykorzystywanej rolniczo. Całkowita powierzchnia pod uprawą konserwującą jest szacowana obecnie na 157 mln ha stanowiąc ok. 11% ziemi uprawnej (Rys. 1); (8, 11). Natomiast w Europie rolnictwo konserwujące obejmuje tylko ok. 1% powierzchni upraw, a jego rozwój od 1999 roku jest wspierany przez ECAF (ang. *European Conservation Agriculture Federation*) (28). Według danych GUS z 2012 r. uprawa konserwująca (płytką orką) w Polsce zajmuje 8,8% powierzchni uprawnych (16). Konserwująca (zachowawcza) uprawa gleby obejmuje pasową lub strefową uprawę gleby, uprawę bronową, obredlanie. Natomiast siew bezpośredni zajmuje 2,6% powierzchni upraw, z tym że według definicji GUS siew bezpośredni wykonuje się bez uprzedniego stosowania orek lub uprawy konserwującej (zachowawczej).



Rysunek 1. Powierzchnie, na których stosowane są zasady rolnictwa konserwującego na poszczególnych kontynentach (Uwzględniono systemy gdzie: konserwująca uprawa roli - pasy węższe niż 15cm lub naruszająca mniej niż 25% powierzchni pola, występuje >30% pokrycia powierzchni rośliną/mulczem bezpośrednio po siewie, zmianowanie co najmniej 3 gatunkami)

Źródło: FAO..., 2016 (8)

Wskaźniki efektywności środowiskowej

Sekwestracja węgla w glebie

Uprawę konserwującą uważa się za potencjalnie efektywną technikę zwiększania sekwestracji węgla i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Zasoby węgla organicznego SOC (ang. *soil organic carbon*) do głębokości 1 m wahają się od 30 t ha⁻¹ w klimacie suchym do 800 t ha⁻¹ w glebach organicznych w klimacie zimnym. Dominująca średnia zawartość mieści się w przedziale 50-150 t ha⁻¹. Przekształcenie naturalnych ekosystemów w agroekosystemy powoduje straty od ok. 60% (klimat umiarkowany) do 75% (klimat tropikalny) zasobów węgla glebowego. Zmniejszanie się zawartości SOC powoduje pogorszenie jakości gleby, zmniejszenie produktywności biomasy, pogarszanie stosunków wodnych (26).

Wiele prac pokazuje korzystny wpływ CA na zmiany glebowej materii organicznej (zawartość węgla organicznego) (29, 35, 43). Globalnie, gleby wykorzystywane rolniczo, przez wprowadzenie CA mogą potencjalnie sekwestrować od 0,4-0,8 Gt C rok⁻¹, co oznacza wykorzystanie ich potencjału w 33,3-100% (29). Zmiana systemu uprawy z tradycyjnego do konserwującego jest rozważana jako korzystna strategia z potencjałem ograniczenia emisji CO₂ globalnie w zakresie 1,1-4,3 Gt CO₂eq rok⁻¹ (43). Jednakże istnieją opracowania podające bardziej ostrożne szacunki na poziomie

0,4-0,6 Gt CO₂eq rok⁻¹ (29, 35). Zwraca się jednak uwagę na fakt, że większość badań nad sekwestracją węgla w systemach tradycyjnym i konserwującym była prowadzona na dużych, dobrze zarządzanych farmach w USA, Kanadzie czy Australii (35).

Wzrost zawartości węgla organicznego w glebie w warunkach CA obserwuje się tylko w powierzchniowej warstwie gleby (0 do 5-10 cm), a nie w całym profilu glebowym. Analiza doświadczeń porównujących uprawę tradycyjną z NT która jest często elementem CA (profil glebowy >40cm) wskazała brak statystycznie istotnych różnic zawartości węgla w profilu glebowym 0-40 cm pomiędzy systemami uprawy w ciągu 5 lat od wprowadzenia NT. Zmiana z uprawy płuźnej do NT spowodowała za to znaczącą zmianę rozmieszczenia węgla w profilu glebowym. Na głębokości 0-10 cm zanotowano wzrost o 3,15±2,42 t ha⁻¹ a spadek o 3,3±1,61 t ha⁻¹ na głębokości 20 - 40 cm (29).

Inna meta-analiza pokazała, iż zawartość węgla glebowego w uprawie konserwującej w porównaniu do tradycyjnej, zwiększyła się w około 50% przypadków, lecz nie różniła się w 40% przypadkach (14). Inne doświadczenie prowadzone od 41 lat w północnej Francji pokazuje, że NT nie zwiększa zawartości glebowego węgla organicznego w porównaniu do metod płuźnych (6). Koncentracja węgla glebowego ma swoje naturalne ograniczenia (gleba nie akumuluje go w nieskończoność) i spada po osiągnięciu stanu równowagi, co może zajmować 25+ lub nawet 100+ lat w zależności od typu gleby i klimatu. Badania obejmują zazwyczaj kilka lub kilkanaście lat, a zmiany mogą następować po dłuższym okresie (29, 35).

Zmianowanie i pozostawianie resztek poźniwnych co jest istotnym elementem CA wpływa na zawartość węgla glebowego poprzez dostarczanie biomasy do gleby (części nadziemne + korzenie). Rośliny produkujące więcej biomasy w oczywisty sposób sekwestrują więcej CO₂ niż rośliny o mniejszej masie. W przybliżeniu można stwierdzić, iż masa resztek poźniwnych zbóż jest 3-krotnie większa niż masa roślin okopowych, zaś motylkowatych z trawami nawet 6-krotnie większa. Do roślin wzbogacających glebę w substancję organiczną zalicza się wieloletnie rośliny pastewne motylkowate i ich mieszanki z trawami oraz trawy. Korzystny wpływ mają także rośliny strączkowe oraz międzyplony przyorywane jako zielone nawozy. Do roślin zubożających glebę z węgla zalicza się rośliny okopowe, warzywa korzeniowe i kukurydzę. Pozostawiają one mało resztek poźniwnych, a technologia ich uprawy (szerokie międzyrzędzia) zwiększa rozkład próchnicy i nasila erozję. Zboża i rośliny oleiste uważa się za neutralne pod tym względem (19). Intensyfikacja produkcji w ramach CA polegająca na zwiększeniu liczby upraw w ciągu roku, zastosowaniu roślin okrywowych może zwiększyć zawartość węgla organicznego w glebie przy stosowaniu NT (32). Czynniki zwiększające plon wpływają na zwiększenie ilości resztek roślinnych i potencjalnie zawartość węgla. Jest to szczególnie istotnie w niskonakładowych i mało produktywnych systemach produkcji rolnej (31).

Emisje podtlenku azotu i metanu

Rolnictwo odpowiada globalnie za emisję $6,3 (\pm 2,9)$ Tg N_2O -N i jest jego głównym antropogenicznym źródłem (18). Jego emisja jest wynikiem naturalnych procesów zachodzących w glebie – nitrifikacji (warunki tlenowe) i denitrifikacji (warunki beztlenowe). Wielkość emisji jest zależna od czynników pogodowych (temperatura, opad), oraz właściwości gleby takich jak: gęstość objętościowa, zawartość węgla i agregacja – na które można wpływać poprzez sposób uprawy i stosowane środki produkcji. Na przykład gęstość objętościowa jest zazwyczaj większa przy NT niż przy uprawie płuźnej, więc przy tej samej wilgotności denitrifikacja nastąpi szybciej w NT. Resztki poźniwne i zmianowanie mogą wpływać na emisję N_2O przez zmiany dostępności azotanów NO_3^- w glebie. Redukcja N_2O do N_2 jest hamowana gdy koncentracje NO_3^- i dostępnego węgla są wysokie. Pozostawianie resztek poźniwnych i wysoka zawartość węgla blisko powierzchni gleby przy uprawie konserwującej, odgrywa główną rolę w tym procesie (32).

Emisja podtlenku azotu wzrasta wraz z aplikacją nawozów azotowych przez zwiększenie dostępności N w glebie. Ilość i jakość resztek roślinnych lub roślin okrywowych, w CA, także mogą wpływać na emisje. Rośliny motylkowate mogą powodować większą emisję N_2O niż resztki innych roślin. Jednakże bogate w azot resztki motylkowatych powodują mniejsze straty azotu na jednostkę powierzchni niż te pochodzące z nawozów mineralnych. Z drugiej strony słabej jakości resztki roślin zbożowych (stosunek C:N > 25) pozostawione na powierzchni pola zmniejszają emisję N_2O w porównaniu z uprawą tradycyjną. Wynik netto emisji N_2O po wprowadzeniu CA zależy do stosowanego płodozmianu oraz typu i ilości resztek roślinnych w porównaniu z uprawą tradycyjną (32).

Metan jest kolejnym gazem cieplarnianym, którego emisja może być związana z rolniczym wykorzystywaniem gleb. Jego powstawanie w procesie metanogenezy (fermentacji metanowej) zachodzi w warunkach beztlenowych. Emisje rolnicze z gleb związane są głównie z uprawą ryżu na gruntach zalewanych. Uprawa ryżu ma 15% wpływ na globalną emisję metanu. W przeciwieństwie do N_2O metan może być również pochłaniany przez mikroorganizmy glebowe w odpowiedniej temperaturze i wilgotności gleby. Nie stwierdzono znaczącego wpływu sposobu uprawy na emisje. W badaniach prowadzonych na Nizinie Hindustańskiej (położonej na terytorium Indii, Pakistanu, Bangladeszu i Nepalu) w okresie 20 lat przy zmianowaniu ryż-pszenica zanotowano nieznaczny spadek emisji CH_4 (ok. 3%) przy bardzo szerokim upowszechnieniu uprawy konserwującej. Pozostawianie resztek poźniwnych zwiększa emisję metanu, gdyż zwiększa ilość dostępnego węgla (15).

Właściwości fizyczne i biologiczne gleby

Wiele własności wpływających na jakość gleby jest zdeterminowanych przez jej fizyczne właściwości takie jak skład granulometryczny i rodzaj skały macierzystej. Jednakże mogą być one modyfikowane za pomocą zawartości próchnicy glebowej i aktywności biologicznej mikroorganizmów glebowych, na które wpływ mają praktyki uprawy (32, 44). Struktura i rodzaj agregatów glebowych są kluczowym czynnikiem wpływającym na ocenę zrównoważenia systemów produkcji rolnej. Wielkość, kształt i rozmieszczenie agregatów i porów glebowych, wpływają na ich zdolność do retencji i przekazywania substancji organicznych i nieorganicznych oraz wzrost i żywotność części nadziemnych i korzeni. Stabilność gleby jest wyrażana jako zdolność agregatów do zachowania stanu przy wpływie czynników stresujących. Uprawa zerowa ze stosowaniem mulczowania zwiększa wielkość agregatów glebowych (indeks MWD-ang. *mean weight diameter*); (34), a co za tym idzie stabilność gleby.

Uprawa płuzna zaburza strukturę gleby i prowadzi do szybszego rozpadu agregatów glebowych. Poza tym mulczowanie fizycznie chroni powierzchnię gleby przed erozją wodną i wietrzną. Podsumowanie badań dotyczących tej problematyki zamieszczono w Tab. 1 (32, 44).

Tabela 1

Właściwości i funkcje gleby związane z procesami biologicznymi, fizycznymi i chemicznymi.
Strzałki w górę wskazują wpływ dodatni, strzałki w dół wpływ ujemny

Właściwości gleby	NT w porównaniu do uprawy płuznej	Mulczowanie
biologiczne		
zawartość SOC w warstwie 0-30	↑	↑
biomasa mikroorganizmów	↑	↑
różnorodność mikroorganizmów	↑	↑
Grzyby	↑	↑
aktywność enzymatyczna	↑	↑
pożyteczne mikroorganizmy (<i>Pseudomomas</i> , <i>Actinomycetes</i> , <i>Fusarium</i>)	↑	↑
szkodliwe mikroorganizmy (<i>Pythium</i> , <i>Gaeumannomyces</i> , <i>Rhizoctonia</i>)	↑	↑
pożyteczne nicienie	bez zmian	↑
pasożytnicze nicienie	↓	bez zmian
dżdżownice	↑	↑
różnorodność stawonogów	↑	↑
fizyczne		
stabilność agregatów	↑	↑
gęstość objętościowa	↑	↓

Tabela 1 cd.

porowatość	↓	↑
makropory	↓ średnia wielkość ↑	↑
mezopory	↑	bez zmian
mikropory	↑	bez zmian
przewodność wodna	↓	↑
infiltracja	↑	↑
spływ powierzchniowy	↓	↓
parowanie	↓	↓
woda dostępna dla roślin	↑	↑
erozja	↓	↓
chemiczne		
azot całkowity	↑	
azot dostępny	↓ w krótkim okresie	zależnie od jakości mulczu
P, K, Ca, Mg	P, K ↑ w wierzchniej warstwie	K zależnie od typu przedplonu
pojemność wymiany kationów	brak efektu	↑ w wierzchniej warstwie
pH	najczęściej ↓	↓
straty substancji odżywczych	??	??

Źródło: Palm i in., 2014(32), Verhulst i in., 2010 (44)

Wpływ sposobu uprawy i mulczowania na gęstość objętościową gleby (ang. *bulk density*) jest ograniczony do warstwy płuźnej (44). Wydaje się, że uproszczenie uprawy powinno prowadzić do stopniowych zmian porowatości do czasu osiągnięcia nowego stanu równowagi. Jednakże początkowe różnice mogą być trudne do odróżnienia od naturalnej zmienności. W eksperymentach krótkoterminowych zazwyczaj nie stwierdza się istotnych różnic porowatości pomiędzy sposobami uprawy. W doświadczeniu z Nowej Zelandii po 10 latach trwania doświadczenia na glebie lessowej zanotowano wzrost gęstości objętościowej w przypadku stosowania NT w porównaniu do uprawy płuźnej. Jednocześnie nie stwierdzono spadku plonów. Inne badania pokazują zmniejszenie gęstości objętościowej przy stosowaniu NT w porównaniu z uprawą płuźną na głębokości 3-7 cm (44). Badania wieloletnie (>15 lat) pokazują zwiększenie gęstości objętościowej w warstwie płuźnej, przy zmniejszeniu w warstwie powierzchniowej (0-3cm). 15-letni eksperyment prowadzony w Chinach pokazuje zmiany gęstości objętościowej w różnych systemach uprawy. W pierwszych 6-ciu latach gęstość w warstwie 0-20 cm była mniejsza w systemie płuźnym a wzrastała w NT. W następnych 5-ciu latach była podobna. W kolejnych latach gęstość zaczynała być mniejsza w NT, przy czym poprawiała się struktura gleby, wzrosła zawartość materii organicznej i aktywność mikroorganizmów glebowych (27).

Pory glebowe w zależności od rozmiaru pełnią różne funkcje w napowietrzaniu, infiltracji, odwadnianiu i magazynowaniu wody i wpływają na wzrost roślin. Generalnie liczba mikro (<0,2 μm) i mezo (0,2-30 μm) porów jest większa w uprawie konserwującej (44). Obserwowany spadek porowatości ogólnej przy NT związany jest ze zmianami w rozmiarze i strukturze rozmieszczenia makroporów

(>30 μm). Zmiany morfologii porów glebowych odzwierciedlają zmiany w sposobie ich powstawania. Nieregularne i wydłużone pory o średnicy >1000 μm występują w większej liczbie przy uprawie płuźnej na głębokości 0-20 cm. Związane jest to z corocznym mieszaniem i napowietrzaniem poprzez orkę. W NT stwierdzono większą proporcję makroporów występujących horyzontalnie na głębokości 5-15 cm (>500 μm), co powiązano z większą aktywnością dżdżownic i rozkładem korzeni, przy braku zaburzeń mechanicznych (pług); (44).

Utrzymywanie biomasy glebowej oraz aktywności i różnorodności mikroflory glebowej jest fundamentalnym założeniem CA. Biomasa glebowa odpowiada za utrzymywanie oraz obieg składników odżywczych (C, N, P, Mg) i wody, czy stabilizację agregatów glebowych. Pozostawienie resztek poźniwnych czy mulczowanie zwiększa dostępność węgla i wielkość biomasy mikroorganizmów glebowych i ma większy wpływ na nie niż sposób uprawy. Znaczące zmiany zawartości C i N stwierdzono głównie na powierzchni gleby, na większych głębokościach (5-10 i 10-15) nie były znaczące (12). Uprawa zerowa wpływa także na podwyższenie liczebności grzybów promieniowców i bakterii oraz aktywności mikrobiologicznej gleb w górnych warstwach profilu glebowego. Na uwagę zasługuje wzrost populacji grzybów warunkujących endomikoryzę. Wykazano także, że infekcja mikoryzowa zwiększa pobieranie mikroelementów. W wyniku symbiozy roślin z tą grupą grzybów stwierdzono również lepszą przyswajalność trudno dostępnych związków fosforu oraz podwyższoną odporność roślin na choroby grzybowe. W pierwszych latach stosowania może wystąpić zwiększone porażenie roślin przez grzyby wywołujące choroby podstawy źdźbła, to jednak długoletnia uprawa zerowa w wyniku zwiększonej liczebności i różnorodności mikroorganizmów antagonistycznych ogranicza w znacznym stopniu występowanie chorób roślin (39). Zmianowanie może redukować liczbę patogenów przenoszonych przez pozostałości roślinne. Niektóre grzyby i bakterie, takie jak szczepy *Pseudomonas*, *Actinomycetes*, *Fusarium*, poprzez różne mechanizmy stanowią naturalną ochronę przed patogenami korzeni i utrzymują zdrowotność gleby. Uprawa konserwująca wpływa na wzrost populacji dżdżownic, które poprawiają strukturę gleby i wzbogacają ją w materię organiczną (13).

Erozja, odczyn gleby, dostępność N, P i K, parowanie

Podatność na erozję jest związana z fizycznymi właściwościami gleby. Praktyki konserwujące (zwłaszcza mulczowanie czy zachowywanie okrywy roślinnej) zapewniają większą ochronę powierzchni gleby przed wymywaniem oraz stabilność agregatów glebowych w porównaniu z uprawą konwencjonalną. Podatne na erozję wietrzną agregaty o wielkości <0,84mm występują w uprawie konwencjonalnej w ilości 2 krotnie większej niż w uprawie zerowej. Zostało także udowodnione, że frakcje takie zwiększają swój udział w glebie w uprawie płuźnej a pozostają na stałym poziomie w NT. Okrywa roślinna i mulczowanie zmniejszają erozję wietrzną poprzez ochronę cząstek glebowych przed wywiewaniem (44).

Uprawa konserwująca może zwiększać infiltrację i ograniczać spływ powierzchniowy i ewaporację w porównaniu do uprawy płużnej bez mulczowania. Na przykład *McGarry* wykazał, że szybkość infiltracji i całkowita infiltracja są znacząco większe w uprawie konserwującej z pozostawianiem resztek poźniwnych, niż w uprawie płużnej. Praktyki te będące integralnym składnikiem uprawy konserwującej, zmniejszają też ewapotranspirację, przez zmniejszenie amplitud zmian temperatury gleby (właściwości izolujące), zmniejszenie dyfuzji pary wodnej, absorbując parę wodną przez mulcz oraz osłonę przed wiatrem powierzchniowej warstwy gleby. W konsekwencji zwiększa się wilgotność względna gleby oraz ilość wody dostępna dla roślin (30).

Wpływ uprawy konserwującej na całkowitą zawartość azotu glebowego jest ściśle związany ze zmianami węgla organicznego. CA zwiększa zawartość azotu w glebie. Jednak jego dostępność może być zależna od wielkości nawożenia i jakości pozostałości roślinnych (32, 44). Wiele badań pokazuje mniejszą dostępność azotu w uprawie konserwującej w porównaniu z uprawą konwencjonalną, przypisując to zwolnieniu procesu dekompozycji i większej immobilizacji N w początkowych latach od zmiany systemu uprawy. Po kilku latach stosowania NT, w górnej warstwie gleby ponownie ustala się równowaga między zwiększoną zawartością węgla organicznego a mineralnymi formami azotu. W systemach mało nakładowych (bez nawożenia lub z minimalnym nawożeniem) może prowadzić to do spadku plonów (31).

Uprawa konserwująca powoduje wzrost koncentracji i dostępności fosforu i potasu w wierzchniej warstwie gleby (0-10 cm) i ich spadek na większych głębokościach w porównaniu do uprawy płużnej. Wzrost zawartości potasu jest zwykle wiązany z wysoką jego koncentracją w roślinach zbożowych, a fosforu z brakiem wymieszania i zmniejszeniem pochłaniania przez kompleks sorpcyjny gleby. Większość badań nie stwierdza różnic między dostępnością Mg i Ca dla roślin w różnych systemach uprawy (32, 44).

Badania wskazują, że uprawa konserwująca zwiększa zakwaszenie w warstwie płużnej (zmniejsza pH). Wyjaśniają to dwie hipotezy: większa akumulacja materii organicznej prowadzi do wzrostu zakwaszenia przez jej dekompozycję, lub może to być efekt powierzchniowej aplikacji nawozów azotowych i fosforu (44).

Zachwaszczenie i choroby roślin

W rolnictwie tradycyjnym kontrola nad chwastami odbywa się z wykorzystaniem zabiegów mechanicznych oraz selektywnych herbicydów. Uprawa konserwująca prowadzi zwykle do zwiększenia gęstości chwastów (36). Wyniki prac dotyczących występowania chwastów w uprawie konserwującej w porównaniu do tradycyjnej (Australia), wskazują że w zależności od gatunku różnice gęstości zachwaszczenia wahają się od - 90% do +80%. Są też badania pokazujące nawet kilkakrotny wzrost liczby chwastów w CA (10), przy czym w uprawie konserwującej występuje więcej

chwastów wieloletnich. W uprawie konserwującej chwasty i ich nasiona pozostają na powierzchni gleby, podczas gdy w systemach orkowych są przemieszczane w głąb. W wierzchniej warstwie gleby (0-5 cm) występuje od 60-90% nasion chwastów, w zależności od właściwości gleby (2). Pomimo większej liczby nasion chwastów w uprawie konserwującej, ich kiełkowanie jest utrudnione i z roku na rok spada liczba wschodzących roślin. Mogą one być skutecznie zwalczone przez nieselektywne herbicydy, zaraz po zbiorze przedplonu. Innym sposobem walki z chwastami może być wcześniejszy wysiew roślin jarych. Sposób ten jest stosowany z powodzeniem np. przy uprawie pszenicy na Nizinie Hindustańskiej konkurującej z móżgą drobną (*Phalaris minor*); (2). Pozostałości roślinne czy zielone nawozy ograniczają dostęp promieni słonecznych do kiełkujących chwastów, ograniczają też ich rozwój poprzez oddziaływanie alleopatyczne. Na przykład pozostałości wyki czy żyta w postaci mulczu mogą ograniczać gęstość chwastów o 75% w porównaniu do systemu bez mulczu (2). Przy uprawie konserwującej ważne jest używanie wolnego od zanieczyszczeń materiału siewnego i siew w zwiększonej ilości. Znacznie ogranicza rozwój chwastów stosowanie jako międzyplonów szybko okrywających glebę roślin motylkowatych (2).

W warunkach bezplużnej uprawy roli wzrasta zagrożenie porażenia roślin przez choroby, w tym głównie choroby podstawy źdźbła, wywoływanych przez grzyby (z rodzaju *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Gaeumannomyces graminis*, *Fusarium*) (38). Jednakże występowanie tych chorób jest bardziej związane z przedplonem i panującymi w danym roku warunkami pogodowymi, niż ze sposobem uprawy roli. Długotrwale stosowanie uproszczeń powoduje podwyższenie biologicznej aktywności wierzchniej warstwy gleby. Konkurencyjność form saprofitycznych i antagonistycznych grzybów sprzyja ograniczaniu chorób podstawy źdźbła (39). Możliwość kontrolowania chwastów w dowolnym czasie po siewie mogą dawać zmodyfikowane genetycznie rośliny uprawne odporne na tzw. herbicydy totalne (np. glifosat, glufosynat). Jednakże długotrwałe stosowanie herbicydów prowadzi do wyselekcjonowania chwastów na nie odpornych, dotyczy to już ponad 200 gatunków (10). Badania pokazują pozytywny wpływ mulczu i zielonego nawozu, prowadzącego do obniżenia o 80%, a nawet wyeliminowania używania herbicydów, kilka lat po wprowadzeniu uprawy konserwującej (10). Warto jednak zauważyć, iż mulcz może zmniejszać działanie herbicydów, pochłaniając od 15 do 80% oprysku (2).

Ocena ekonomiczna CA

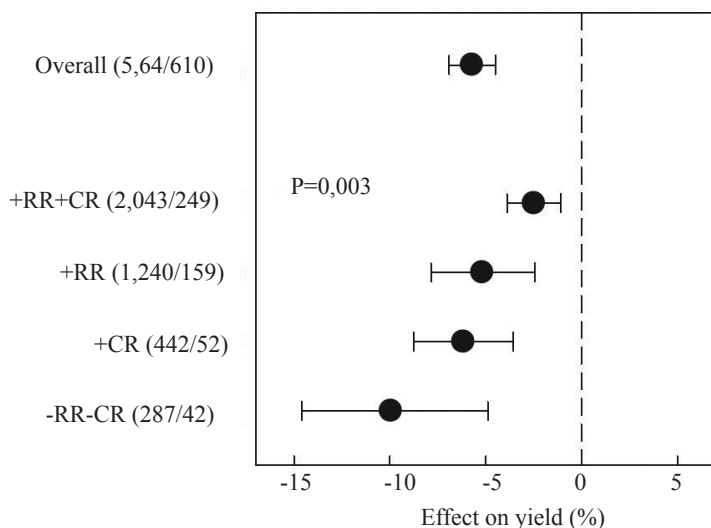
Wdrożenie rolnictwa konserwującego nie powoduje natychmiastowych korzyści dla gospodarstwa rolnego, a proces ten zajmuje co najmniej kilka lat (9). FAO wyróżnia 4 fazy przejścia do CA:

1. Zmiana sposobu uprawy roli. Podczas tej fazy może wystąpić (lecz nie musi) spadek plonów. Spadają jednak nakłady pracy (liczba roboczogodzin), zmniejsza się ilość zużywanego paliwa (mniej zabiegów). Zwiększa się natomiast ilość zużywanej chemii rolnej (głównie herbicydów), z uwagi na brak mechanicznego zwalczania chwastów.

2. Polepszanie się kondycji gleby i jej żyzności. Mniejsze nakłady pracy i redukcja kosztów paliwa. Wzrost plonów, co zwiększa dochód netto.
3. Wprowadzenie różnorodnego zmianowania zwiększa i stabilizuje plony. Zwiększa się dochód netto i plony.
4. Pełne wdrożenie do zasad CA. Stabilność plonów. Wzrost żyzności i produktywności gleby. Widoczne korzyści ekonomiczne.

Plonowanie

Wpływ uprawy konserwującej na plon i możliwość jej wprowadzenia w różnych systemach rolnych na całym świecie, jest przedmiotem wielu publikacji. Wyniki analizy biorącej pod uwagę 610 prac naukowych (48 roślin uprawnych w 63 krajach) porównujących sposób uprawy przedstawimy poniżej. Czynniki wpływającymi na plon, brany pod uwagę dodatkowo, był klimat (suchy, wilgotny), czas trwania zmian w sposobie uprawy (1-2, 3-9, >10 lat) oraz zmianowanie i pozostawianie resztek poźniwnych (Rys. 2); (33).



Rys. 2. Porównanie plonów między uprawą konserwującą a uprawą konwencjonalną. Overall – wszystkie doświadczenia, +RR+CR (z pozostawianiem resztek poźniwnych i zmianowaniem), +RR (resztki poźniwne), +CR (zmianowanie), -RR-CR (tylko uprawa zerowa). Liczba doświadczeń i analizowanych prac w nawiasach. Na wykresie przedstawiono 95% przedziały ufności, oraz wartość prawdopodobieństwa testowego (p-value)

Źródło: Pittelkov i in., 2015 (33)

Wprowadzenie uprawy zerowej zmniejszyło plony średnio o 5,7% (wszystkie wyniki), jednakże w różnych warunkach plony były zmienne i nieraz wyższe niż w uprawie tradycyjnej. Największy spadek plonów (-9,9%) nastąpił gdy zmieniono tylko sposób uprawy roli na zerowy. Ten negatywny wpływ może być zredukowany przez wprowadzenie pozostałych dwóch zasad CA: pozostawiania resztek poźniwnych (-5,2%) oraz zmianowania (-6,2%). Gdy wszystkie trzy zasady uprawy konserwującej są stosowane obserwuje się spadek plonu o 2,5%.

Autorzy sugerują więc, iż zmiana sposobu uprawy powinna następować po kilkuletnim stosowaniu mulczowania i zmianowania, by minimalizować jej wpływ na plon. Analiza ta wykazała też, że w klimacie suchym w warunkach bez nawadniania uprawa konserwująca zwiększa plony o 7,3%. Jest więc obiecującym sposobem gospodarowania w warunkach stresu wodnego, w regionach subsaharyjskich czy Południkowej Azji. Ważnym czynnikiem wpływającym na plon był też okres od zmiany sposobu uprawy. W pierwszych latach notowano niewielki spadek (-3%) plonu, który po 10 latach od zmiany sposobu na CA nie był już znaczący (33).

Wydaje się więc, że ekonomiczne korzyści zmiany sposobu uprawy na konserwujący są bardziej zależne od redukcji kosztów niż wzrostu plonów, poza tym mogą być one trudne do uchwycenia w krótkim czasie, co stanowi pewną barierę, szczególnie w przypadku małych gospodarstw rolnych. W związku z wahaniami cen płodów rolnych zwiększenia dochodu netto w ramach CA należy szukać w obniżeniu kosztów produkcji.

Nadwyżka bezpośrednia i opłacalność brutto

Najprostszymi wskaźnikami stosowanymi w ocenie ekonomicznej produkcji rolnej są nadwyżka bezpośrednia i opłacalność brutto. Nadwyżka bezpośrednia stanowi różnicę między wartością produkcji a bezpośrednimi kosztami produkcji, zaś wskaźnik opłacalności brutto wynika z relacji tych wskaźników analitycznych (wartość : koszty). W bezpośrednich kosztach produkcji uwzględnia się: nasiona i sadzeniaki, nawozy mineralne, środki ochrony roślin, siłę roboczą, paliwa i energię elektryczną oraz koszty eksploatacji ciągników, maszyn i narzędzi rolniczych. Wartość produkcji oblicza się jako potencjalnie towarową wartość plonów podstawowych, z wyjątkiem roślin pastewnych (nietowarowych), których wartość wycenia się na podstawie kosztów produkcji (17).

W porównaniu wyników 12 prac dotyczących wpływu uprawy konserwującej i uprawy konwencjonalnej na zyski gospodarstw, wskazano iż w 7 na 12 przypadków odnotowano wzrost zysku netto w przypadku uprawy konserwującej (23). Większość badań wskazuje na spadek nakładów na produkcję, jednak nie zawsze przekłada się to na wzrost zysków z uwagi na spadek plonów i konieczność ponoszenia większych nakładów na środki ochrony roślin.

W pracy dotyczącej porównania uprawy pszenicy w monokulturze w trzech systemach uprawy w Polsce, koszt uprawy w systemie tradycyjnym (praca, paliwo) wyniósł 475,4 zł ha⁻¹ (24). Uproszczenia polegające na rezygnacji z pługą i zastąpieniu go kultywátorem lub bróną talerzówą spowodowały odpowiednio obniżenie kosztów pracy o 35,7% i 30,7% ha⁻¹. Zrezygnowanie z uprawy późniejszej i zastąpienie jej herbicydem spowodowało jeszcze większe obniżenie kosztów pracy o 43,9% i 42,2% ha⁻¹. Całkowita rezygnacja z uprawy mechanicznej i zastosowanie wyłącznie herbicydu i siewu bezpośredniego obniżyło koszty pracy w stosunku do uprawy tradycyjnej

o 84,4%. Najniższe koszty paliwa poniesiono w siewie bezpośrednim i wynosiły one ok. 20% kosztów uprawy tradycyjnej. Łączne koszty (pracy i paliwa) uprawy roli jednego hektara w uproszczeniach z zastosowaniem kultywatora i brony talerzowej zarówno z uprawą jak i bez uprawy późniejszej stanowiły odpowiednio 65,1; 68,5; 55,2 i 56,3% kosztów tradycyjnej uprawy roli, natomiast najtańszy okazał się system siewu bezpośredniego, bowiem jego koszty były odpowiednio niższe aż o 83,6%. Obniżenie plonów o średnio 15,6% było zrekompensowane przez mniejsze koszty produkcji.

Sorrenson porównał dochodowość CA na 18 średnich i dużych farmach w Paragwaju na przestrzeni 10 lat. Okazało się, że plon wzrósł o 5-20% (co przełożyło się na wzrost dochodów netto w granicach 10000-30000 USD), podczas gdy spadł w gospodarstwach z uprawą tradycyjną. Spowodowane było to: mniejszą erozją, poprawieniem struktury i zawartości materii organicznej gleby, wzrostem plonów oraz zmniejszeniem kosztów paliwa, nawozów, oprysków i pracy. Plony w uprawie konserwującej były też bardziej stabilne w czasie (42).

Wskaźnik efektywności energetycznej

Innym wskaźnikiem stosowanym do oceny ekonomicznej jest wskaźnik efektywności energetycznej (E_e). Zaletą tego rachunku jest możliwość porównywania wyników niezależnie od relacji cen, a także stosowanie go do ocen kompleksowych. Obliczany jest on ze wzoru (17):

$$E_e = \frac{P_e}{N_e}$$

gdzie: P_e – wartość energetyczna plonu uzyskanego z 1 ha (MJ), N_e – wielkość nakładów energetycznych poniesionych na uzyskanie plonu z 1 ha (MJ)

Stosowanie uprawy konserwującej prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa i obniża wkład energetyczny w produkcję (4, 9, 40, 41). Wskaźnika tego używa się też w analizach LCA (ang. *Life Cycle Assessment*). Porównanie nakładów energetycznych na emisję gazów cieplarnianych w różnych systemach uprawy wykazało że uprawa uproszczona prowadzi do 26% obniżenia całkowitych kosztów produkcji, a zerowa do spadku o 41%. Energia zużyta przez maszyny rolnicze stanowi 6-8% całkowitej emisji gazów cieplarnianych na kg produktu. Emisja gazów cieplarnianych w systemie tradycyjnym wynosiła 915g CO₂e kg⁻¹ produktu gotowego; natomiast 855g CO₂e kg⁻¹ w systemie z uprawą zerową (41).

Inne opracowanie pokazuje, że nakład związany z zabiegami polowymi w przypadku uprawy uproszczonej obniża się o 18-53%. Siew bezpośredni obniża wkład energetyczny o 75-83% w porównaniu do uprawy tradycyjnej. Całkowity koszt uprawy 1 ha obniża się o 25-41% (40).

Podobne wyniki uzyskano w pracach polskich. Wykazano, że zużycie paliwa w uprawie pszenicy ozimej trzema technologiami (uprawa tradycyjna, uproszczona, siew bezpośredni) różni się istotnie (4). Eliminacja orki w uproszczonej technologii uprawy pozwoliła na zmniejszenie zużycia oleju napędowego o 34%, natomiast rezygnacja z uprawy gleby w przypadku siewu bezpośredniego skutkowało o 70% mniejszym zużyciem paliwa niż w metodzie tradycyjnej (20). Z innych badań przeprowadzonych w Polsce wynika, że w zależności od gatunku rośliny, aż 40-70% energii zużywanej w całym cyklu produkcji przypada na uprawę roli. Spośród wszystkich czynności uprawowych najbardziej pracochłonna i energochłonna jest orka. Pochłania ona 25-40% całkowitych nakładów robocizny i nawet do 50% paliwa (7).

W CA zmniejsza się też czas potrzebny do wykonania zabiegów uprawowych. W niektórych opracowaniach wskazuje się, że zmniejszenie nakładów związanych z czasem pracy może osiągnąć od 75 do 83% w porównaniu do uprawy tradycyjnej (42). Porównanie zamieszczone przez FAO wskazuje na zmniejszenie o ok. 40% czasu potrzebnego na poszczególne zabiegi w uprawie konserwującej, w porównaniu do uprawy konwencjonalnej (Tab. 2).

Tabela 2

Porównanie czasu potrzebnego na wykonanie zabiegów (h ha^{-1}) przy uprawie grochu w Brazylii

Zabieg	Uprawa konserwująca	Uprawa konwencjonalna
Agregat uprawowy	0.89	-
Siew bezpośredni	0.76	-
Oprysk	1.2	0.6
Zbiór	0.93	0.93
Orka	-	1.37
Bronowanie	-	1.38
Siew tradycyjny	-	0.89
Redlinowanie	-	1
Ogółem	3.78	6.17

Źródło: FAO..., 2015 (9)

Wskaźnik wartości bieżącej netto

Do oceny efektywności ekonomicznej używa się też często wskaźnika wartości bieżącej netto – NPV (ang. *Net Present Value*) umożliwiającego porównanie kosztów inwestycji (implementacji uprawy konserwującej) i ewentualnych zysków/strat netto w czasie (5). Dodatni wskaźnik oznacza korzyść ekonomiczną, ujemny stratę.

$$\text{NPV} = \sum B_t(1+r)^{-t} - \sum C_t(1+r)^{-t}$$

gdzie: sumowanie odbywa się w zakresie $t=0$ (rok wdrożenia) do $t=T$ (ostatni rok), B_t jest wartością zysków w roku t , a C_t jest wartością kosztów w roku t , r – stopa dyskonta, wynikającą ze zmienności wartości pieniądza w czasie.

Wiele prac wskazuje na wzrost zysku netto gospodarstw stosujących uprawę konserwującą w porównaniu do konwencjonalnej (21, 22, 23). Analiza finansowa na poziomie gospodarstwa (Afryka Subsaharyjska, Ameryka Łacińska), w której porównano 130 praktyk rolniczych związanych z uprawą konserwującą pokazała w 65% przypadków wzrost dochodu netto (dodatni wskaźnik NPV) (21).

FAO dokonało przeglądu 40 prac badających wskaźnik NPV dla uprawy konserwującej w państwach rozwiniętych (23). W 34 przypadkach współczynnik NPV był dodatni. Podobnie w innej pracy dotyczącej krajów Afryki Subsaharyjskiej na 11 studiów dodatni indeks NPV odnotowano w 10-ciu przypadkach (22). Badania Kumara (Indie, prowincje Haryana i Rajathan) pokazały, iż uprawa konserwująca zwiększyła dochody roczne o średnio 325-18000 INR ha⁻¹ (INR - rupia indyjska, 1 PLN~16,5 INR). Analiza pokazała, że rolnictwo konserwujące nie tylko poprawia żyzność gleby ale daje także bezpośrednie korzyści finansowe (w przeliczeniu na powierzchnię). Jednocześnie praktyki CA powinny być wprowadzane selektywnie w zależności od sytuacji ekonomicznej, społecznej i środowiskowej (25).

Nie wszystkie opracowania pokazują wzrost wartości netto po wprowadzeniu systemu konserwującego. Porównano np. wskaźnik NPV dla uprawy płuznej z usuwaniem resztek poźniwnych (w zmianowaniu: bawełna – pszenica ozima – kukurydza) z uprawą konserwującą (w rotacji: bawełna – pszenica ozima – fasola mung – żyto) dla hipotetycznej farmy 50 ha w okresie 14 lat (5). Początkową inwestycją był zakup siewnika do siewu bezpośredniego. Brano pod uwagę dwa warianty szacowania wartości pieniężnej resztek poźniwnych: w pierwszym nie jest brana pod uwagę wartość mulczu jako nawóz (a tylko strata spowodowana niewykorzystaniem jako paszy czy ściółki), w drugim brana jest pod uwagę różnica między wykorzystaniem jako nawóz a zastosowaniem na cele paszowe. Obliczeń dokonano dla pełnych zmianowań. W wariantcie bez uwzględniania wartości mulczu jako nawozu, zmniejszenie kosztów paliwa i roboczogodzin pozwoliły na niewielki wzrost przychodu w produkcji bawełny. Jednak w przypadku pszenicy nie zrekomensowały one strat poniesionych poprzez pozostawienie słomy poźniwnej. Uprawa żyta generowała straty. Wzrost dochodów netto nie zrekomensował inwestycji w zakup siewnika i to zaowocowało ujemnym wskaźnikiem NPV = -4581 USD. W wariantcie z uwzględnieniem wartości resztek poźniwnych jako różnicy między nawozem a paszą NPV wyniósł 47369 USD. CA prowadzić więc może do oszczędzania zasobów, wprowadza jednak nowe koszty, jeśli uwzględnimy wartość pozostawionych resztek poźniwnych i potrzebę dodatkowych zabiegów przy wprowadzeniu roślin okrywowych. Wyniki wskazują, że oszczędności w paliwie i kosztach pracy nie zawsze są wystarczające do zrekomensowania zakupu siewnika oraz wartości resztek poźniwnych i wprowadzenia roślin okrywowych. Dopiero uwzględnienie pieniężnej wartości resztek poźniwnych jako nawozu pozwoliło uzyskać dodatni wskaźnik NPV w tym modelu (5).

Ekonomiczne i pozaekonomiczne korzyści z wprowadzenia zasad CA

Oszacowanie ekonomicznych korzyści ze stosowania uprawy konserwującej powinno obejmować także wpływ na środowisko i krajobraz, i to nie tylko na poziomie gospodarstwa, ale także regionu a nawet globalnie. Na przykład w wynikach przytoczonych w pracy Knowler-a (23), korzyści polegające na zapobieganiu erozji w USA, na gruntach uprawianych sposobem konserwującym, oszacowano na 90,3-288,8 mln \$ rok⁻¹ (w 1996r.). W innej pracy tam przytoczonej (symulacja uprawy płużnej, bezpłużnej i NT) pokazano, iż korzyści płynące z systemów uproszczonych, są większe gdy rozpatrujemy je na poziomie regionu, niż w danym gospodarstwie. Wskaźnik ryzyka środowiskowego (ang. *environmental hazard index*) dzięki stosowaniu NT zmniejszył się w porównaniu do uprawy tradycyjnej, z 78,9 do 64,7, przy podobnym poziomie dochodów. Indeks ten bierze pod uwagę: ryzyko erozji i zatrucia pestycydami, a także straty azotu i fosforu. Wprowadzenie roślin okrywowych i zastąpienie nawozów mineralnych organicznymi (obornik) obniżyło ten wskaźnik do 50, lecz doprowadziło do spadku dochodów na poziomie gospodarstwa (23).

Podsumowanie

Doświadczenie z wielu krajów pokazało, iż wprowadzenie rolnictwa konserwującego daje długoterminowe korzyści ekonomiczne, społeczne i środowiskowe, wymaga jednak wsparcia instytucjonalnego (rządowego, międzynarodowego). Wykazano, że ograniczenie mechanicznej ingerencji w glebę oraz stosowanie roślin okrywowych i wzbogaconego płodozmianu w ramach rolnictwa konserwującego zwiększa zasoby węgla organicznego i wilgotność gleby, co może prowadzić do stabilizacji plonów lub nawet ich zwiększenia w dłuższym okresie. Ograniczenie erozji i spływu powierzchniowego po wprowadzeniu rolnictwa konserwującego przyczynia się do ochrony gleby oraz krajobrazu. Do głównych wad systemu rolnictwa konserwującego z punktu widzenia środowiskowego zalicza się: wzrost ilości stosowanych środków ochrony roślin w początkowych latach po wprowadzeniu tego typu uprawy. Według wskaźników ekonomicznych po wdrożeniu zasad rolnictwa konserwującego następuje stopniowy spadek nakładów pracy oraz kosztów związanych ze zużyciem energii (wynikającym z mniejszej liczby zabiegów).

Literatura

1. Alexandratos N., Bruinsma J.: World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03, Rome, FAO, 2012.
2. Chauhan B. S., Singh R. G., Mahajan G.: Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review, *Crop Protection*, 2012, **38**: 57-65.
3. Corsi S., Friedrich, T., Kassam A., Pisante M., Sà J. D. M.: Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: a literature review., 2012, FAO.

4. Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennenstul M., Kaus A.: Ocena systemów uprawy w aspekcie zużycia paliwa, plonowania roślin i właściwości gleby. *Inżynieria Rolnicza*, 2012, **16**: 17-27.
5. Daujanov A., Groeneveld R., Pulatov A., Heijman W. J.: Cost-Benefit Analysis of Conservation Agriculture Implementation in Syrdarya Province of Uzbekistan. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 2016, **5(2)**: 48-52.
6. Dimassi B., Mary B., Wylleman R., Labreuche J., Couture D., Piraux F., Cohan J. P.: Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2014, **188**: 134-146.
7. Dzienia S., Piskier T., Wereszczaka J.: Wpływ uproszczonych sposobów uprawy gleby na nakłady energetyczne i plonowanie pszenżyta ozimego. *Zeszyty Naukowe. Akademia Rolnicza w Szczecinie. Rolnictwo*, 1994, **58**: 45-48.
8. FAO, 2016, AQUASTAT Main Database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Website accessed on [17/03/2017 11:5], <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>
9. FAO, <http://www.fao.org/ag/ca/index.html>, FAO 2015
10. Farooq M., Flower K. C., Jabran K., Wahid A., Siddique K. H.: Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil and tillage research*, 2011, **117**, 172-183.
11. Friedrich T., Derpsch R., Kassam A.: Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*, 2012, Special Issue. **6**.
12. Govaerts B., Mezzalama M., Sayre K.D., Crossa J., Nicol J.M., Deckers J.: Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. *Appl. Soil Ecol.*, 2006, **32**: 305-315.
13. Govaerts B., Mezzalama M., Unno Y., Sayre K.D., Luna-Guido M., Vanherck K., Dendooven L., Deckers J.: Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity., 2007b, *Appl. Soil Ecol.* **37**: 18-30
14. Govaerts B., Verhulst N., Castellanos-Navarrete A., Sayre K. D., Dixon J.: & Dendooven, L. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Science*, 2009, **28(3)**: 97-122.
15. Grace P.R., Antle J., Ogle S., Paustian K., Basso B.: Soil carbon sequestration rates and associated economic costs for farming systems of the Indo-Gangetic Plain. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2012, **146**: 137-146.
16. GUS. Charakterystyka gospodarstw rolnych. Powszechny Spis Rolny 2010, Warszawa 2012.
17. Harasim A.: Kompleksowa ocena płodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych. IUNG Puławy. Monografie i Rozprawy Naukowe, 2002, ss. 89.
18. International Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2007—The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, 2007, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
19. Jadczyzyn J., Jonczyk K., Filipiak K., Siebielec G., Stuczynski T., Koza P., Zasady racjonalnego użytkowania i kształtowania obszarów problemowych rolnictwa. Instrukcja Upowszechnieniowa, 2010, Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, ss. 178.
20. Klikocka H., Sachajko J.: Kompleksowa ocena agrotechnologii ziemniaka i pszenżyta jarego. *Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie*, 2011, **4**.
21. Knowler D. J.: Explaining the financial attractiveness of soil and water conservation—a meta-analysis model., 2003.
22. Knowler, D., Bradshaw B.: Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food policy*, 2007, **32(1)**: 25-48.
23. Knowler D., Bradshaw B., Gordon D.: The economics of conservation agriculture. Land and Water Division, FAO, 2001, Rome.

24. Kordas L.: Efektywność ekonomiczna różnych systemów uprawy roli w uprawie pszenicy ozimej po sobie. *Fragm. Agron*, 2009, **26(1)**: 42-48.
25. Kumar S., Sharma K. L., Kareemulla K., Chary G. R., Ramarao C. A., Rao C. S., Venkateswarlu B.: Techno-economic feasibility of conservation agriculture in rainfed regions of India. *Current Science*, 2011, **101(9)**: 1171.
26. Lal R.: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, **304(5677)**: 1623-1627.
27. Li H.W., Gao H.W., Wu H.D., Li W.Y., Wang X.Y., He J.: Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China. *Aust. J. Soil Res.*, 2007, **45**: 344-350.
28. Lindwall C. W., Sonntag B. H.: *Landscapes Transformed: The History of Conservation Tillage and Direct Seeding*, 2010.
29. Luo Z., Wang E., Sun O. J.: Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2010, **139(1)**: 224-231.
30. McGarry D., Bridge B.J., Radford B.J.: Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil Till. Res.*, 2000, **53**: 105-115.
31. Nyamangara J., Masvaya E.N., Tirivavi R., Nyengerai K.: Effect of hand-hoebased conservation agriculture on soil fertility and maize yield in selected small holder areas in Zimbabwe. *Soil Till. Res.*, 2013, **126**: 19-25.
32. Palm C., Blanco-Canqui H., DeClerck F., Gatere L., Grace P.: Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, **187**: 87-105.
33. Pittelkow C. M., Liang X., Linquist B. A., Van Groenigen K. J., Lee J., Lundy M. E., van Kessel C.: Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 2015, **517(7534)**: 365-368.
34. Power A.G.: Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phi-los. T. R. Soc. B.*, 2010, **365**: 2959-2971.
35. Powlson D. S., Stirling C. M., Jat M. L., Gerard B. G., Palm C. A., Sanchez P. A., Cassman K. G.: Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 2014, **4(8)**: 678-683.
36. Price A., Kelton J.: *Weed control in conservation agriculture.*, 2011, INTECH Open Access Publisher.
37. Rai M., Reeves T. G., Pandey S., Collette L.: *Save and grow: a policymaker's guide to sustainable intensification of smallholder crop production.*, 2011, Rome, FAO.
38. Smagacz J.: Produkcyjno-ekonomiczne i środowiskowe skutki różnych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2012, **29(3)**: 121-134.
39. Smagacz J.: *Uprawa roli-aktualne kierunki badań i najnowsze tendencje. Ekspertyza. Maszynopis. Puławy*, 2011, IUNG-PIB ss, 42.
40. Sørensen C. G., Nielsen V.: Operational analyses and model comparison of machinery systems for reduced tillage. *Biosystems engineering*, 2005, **92(2)**: 143-155.
41. Sørensen C. G., Halberg N., Oudshoorn F. W., Petersen B. M., Dalgaard R.: Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. *Biosystems Engineering*, 2014, **120**: 2-14.
42. Sorrenson W.J.: Financial and economic implications of no-tillage and crop rotations compared to conventional cropping systems. *TCI Occasional Paper Series No.9*, Rome, 1997, FAO.
43. UNEP 2013. *The Emissions Gap Report 2013*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
44. Verhulst N., Govaerts B., Verachttert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalama M., Wall P., Sayre K. D.: *Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems. Advances in soil science: food security and soil quality*. CRC Press, Boca Raton, 2010: 137-208.

45. Walters D., Jasa P.: Conservation tillage in the United States: an overview. International symposium on conservation tillage, 2000: 24-27.
 46. Zimny L., Zych A.: Słownik poprawnej terminologii bezplużnej. Pobrano z <http://www.bezpluga.pl/baza-wiedzy> 27.04.2017.
-

Adres do korespondencji:

*mgr Tomasz Żyłowski
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786898
email: tzyłowski@iung.pulawy.pl*