https://doi.org/10.26114/sir.iung.2022.67.03

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 67(21): 37-53 **2022**

Robert Borek

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

AGROLEŚNICTWO – SYSTEMY ROLNICZE ODPORNE NA ZMIANĘ KLIMATU*

Słowa kluczowe: agroleśnictwo, systemy rolno-leśne, adaptacja do zmiany klimatu

Wstęp

Rolnictwo posiada znaczący potencjał dostosowania się do obserwowanych w XX i na początku XXI wieku globalnych zmian klimatycznych. Potencjał ten jest zależny nie tylko od intensywności rolnictwa na danym terenie, ale również od zasobów środowiska, w których to rolnictwo funkcjonuje. Zwraca się szczególną uwagę na potrzebę ochrony gleb i wód poprzez promowanie zrównoważonych metod uprawy i hodowli zwierząt, by w jak największym stopniu ograniczyć negatywne efekty związane z dostępnością tych zasobów w kontekście globalnego bezpieczeństwa żywnościowego. Z drugiej strony zagwarantowanie opłacalności produkcji żywności oraz zrównoważony rozwój obszarów wiejskich może być zapewniony poprzez wdrożenie systemowych, innowacyjnych technologii uprawy, które zwiększą konkurencyjność gospodarstw. Obecnie realizowana Wspólna Polityka Rolna kładzie nacisk na promowanie zrównoważonego gospodarowania, które polega na wytwarzaniu zdrowej i bezpiecznej żywności w sposób poprawiający stan środowiska przyrodniczego. Wskazuje przy tym, że prowadzenie zrównoważonego rolnictwa możliwe jest w znacznej mierze dzięki innowacjom, które polegają na tworzeniu i stosowaniu w praktyce nowych technologii produkcji, nowych usług i produktów, jak również nowych sposobów organizacji pracy.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie" z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Działania związane z dostosowaniem rolnictwa do zmian klimatu są zapisane w dokumentach Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030 (35) oraz Polityce ekologicznej państwa 2030 (26). Przewidziane działania to między innymi: proekologiczne zarządzanie lokalnymi zasobami wodnymi, obejmujące także kształtowanie krajobrazów sprzyjających zatrzymywaniu wody, promowanie praktyk adaptacyjnych w rolnictwie oraz rozwój usług doradztwa rolniczego w zakresie nowych wymagań związanych ze zmianami klimatu. Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030 (34) określa cele i kierunki działań adaptacyjnych dla sektorów najbardziej podatnych na zmiany klimatu, w tym rolnictwa. Przewiduje między innymi politykę wsparcia inwestycyjnego gospodarstw oraz szkolenia i doradztwo technologiczne uwzględniające aspekty dostosowania produkcji rolnej do zwiększonego ryzyka klimatycznego i przeciwdziałania zmianom klimatu. Powyższe działania w pewnej mierze są realizowane przez instrumenty Planu Strategicznego WPR na lata 2023–2027 (28). Jednym z nich jest interwencja I 10.3. „Zakładanie systemów rolno-leśnych".

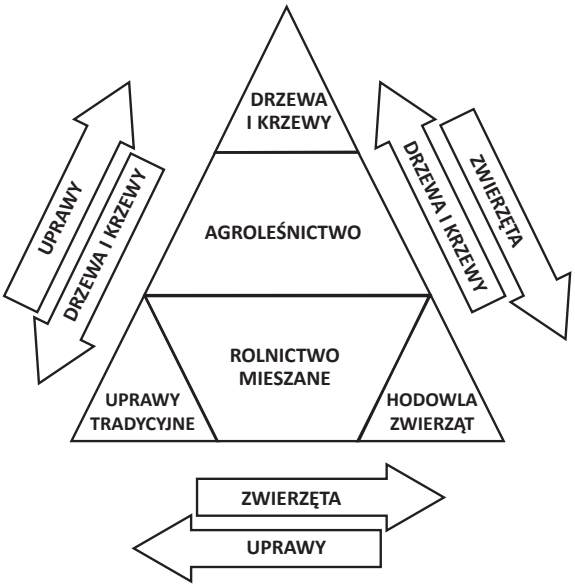
Celem pracy jest charakterystyka systemów rolno-leśnych w kontekście dostosowania produkcji rolniczej do skutków zmiany klimatu.

Rola agroleśnictwa w adaptacji rolnictwa do zmiany klimatu

Agroleśnictwo lub system rolno-leśny jest to sposób użytkowania ziemi, który polega na jednoczesnej uprawie drzew oraz uprawie roślin polowych/chowie zwierząt na tym samym obszarze. Drzewa i krzewy są w celowy sposób zintegrowane z produkcją roślinną i zwierzęcą, dla jednoczesnego odniesienia korzyści środowiskowych i ekonomicznych. Wśród systemów rolno-leśnych możemy wyróżnić: leśno-orne systemy alejowe, sylwopastoralizm (praktyki leśno-pastwiskowe), żywopłoty, przeciwwietrzne lub przeciwerozyjne szpalery drzew, zadrzewione pasy buforowe oraz ogrody leśne.

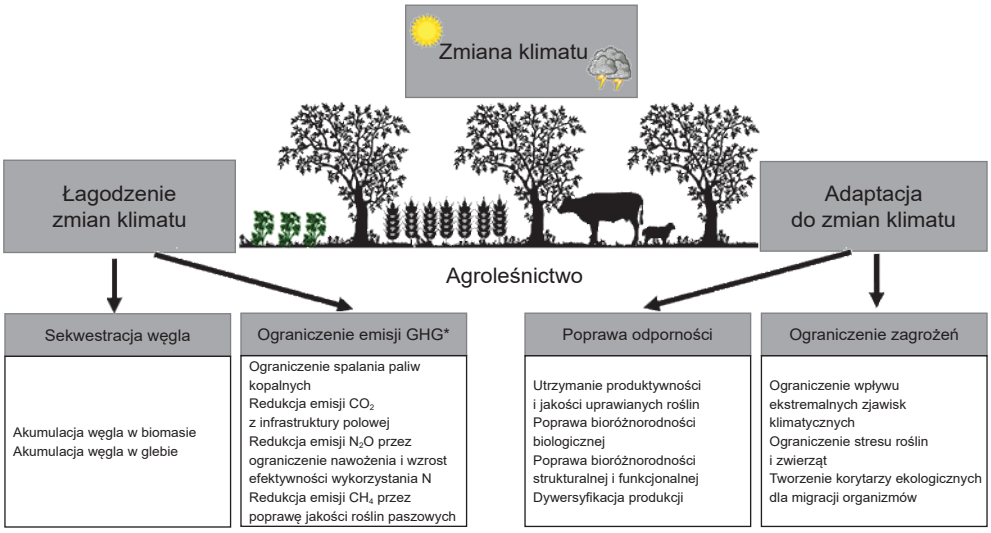
Różnorodność typów w obrębie systemów rolno-leśnych świadczy o wielofunkcjonalności zastosowań drzew w skali pola, gospodarstwa, jak i krajobrazu rolnego. Głównym celem uprawy drzew w połączeniu z tradycyjną produkcją roślinną lub wypasem zwierząt jest produkcja biomasy na cele energetyczne lub wysokogatunkowego drewna. Są to produkty z inwestycji długoterminowych. Istnieje również wiele alternatywnych sposobów wykorzystania biomasy pochodzącej z drzewa, np. dodatek do kompostu, ściółka dla zwierząt czy produkty uboczne z produkcji owoców. Dodatkowym komponentem pozostaje wciąż polowa produkcja rolnicza lub chów zwierząt, wytwarzające dobra, które są sprzedawane sezonowo. Podsumowując, podstawowym celem agroleśnictwa jest pozyskiwanie produktów rolnych z całego obszaru, na którym drzewa lub krzewy są zintegrowane z uprawą rolną lub chowem zwierząt, to jest zarówno z obszaru z nasadzeniami drzew i krzewów, jak również z gruntu ornego uprawianego pomiędzy nimi lub użytku zielonego.

Z wielofunkcyjności agroleśnictwa wynika dywersyfikacja dochodów gospodarstwa rolnego (rys. 1) zwiększająca zarówno odporność gospodarstwa na zmiany, jak i bezpieczeństwo żywnościowe, zwłaszcza dla konsumentów zainteresowanych produktami lokalnymi.



Rys. 1. Agroleśnictwo pełni ważną rolę w zróżnicowaniu źródeł dochodów gospodarstwa rolnego
Źródło: Burgess i Rosati, 2018 (4)

Jeśli częstość występowania susz, upałów czy okresów o niskiej sumie opadów wzrośnie do poziomu krytycznego dla bezpieczeństwa żywnościowego, systemy rolno-leśne mogą okazać się jedną z niewielu opcji umożliwiających utrzymanie produkcji rolniczej na użytkach rolnych. Ponadto systemy rolno-leśne posiadają jeden z najwyższych wskaźników sekwestracji węgla spośród technologii uprawy (rys. 2), wobec czego ich stosowanie może stanowić znaczące źródło dochodu w kontekście włączenia rolnictwa w handel emisjami gazów cieplarnianych. Rozpoczęcie wsparcia rolników w tym zakresie jest planowane przez Komisję Europejską od 2028 roku. Należy uznać, że potencjał akumulacji węgla w glebie upraw rolno-leśnych zawiera się w granicach 0,3–2,7 t $C \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Zwiększanie zawartości materii organicznej w glebie bezpośrednio przekłada się na wzrost żyzności i zasobności gleby w wodę i składniki pokarmowe, stając się równocześnie praktyką adaptacyjną do zmiany klimatu. Stosowane w agroleśnictwie praktyki uprawy roślin i żywienia zwierząt mają również znaczący potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych (rys. 2).



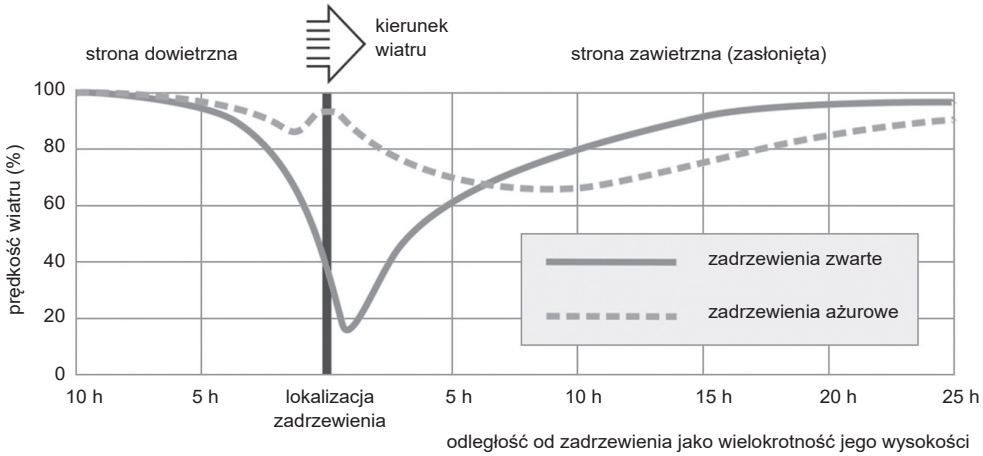
*GHG – gazy cieplarniane

Rys. 2. Agroleśnictwo może pełnić kluczową rolą w przyszłej polityce klimatycznej, łącząc cele łagodzenia zmiany klimatu oraz adaptacji do nich

Źródło: Schoeneberger i in., 2012 (31)

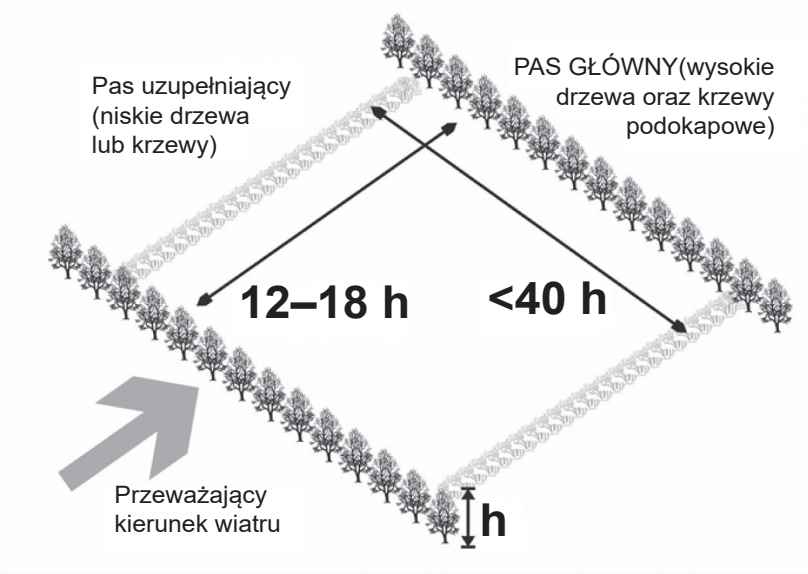
Systemy rolno-leśne zwiększają odporność ekosystemów rolniczych na wysokie amplitudy opadów i temperatury. Inaczej mówiąc, wzmacniają stabilność plonowania roślin polowych w okresach mokrych i suchych. Wynika to z kilku opisanych poniżej faktów.

Drzewa nasadzone w pasach w odpowiedniej lokalizacji, więźbie oraz o odpowiednim składzie gatunkowym pełnią funkcję przeciwwietrzną (rys. 3). Półprzepuszczalna struktura koron drzew zapewnia hamowanie strumienia powietrza dzięki wirom powodującym wytracanie energii. W efekcie tworzy się strefa przygruntowa, obejmująca łan roślin, charakteryzująca się zwiększoną wilgotnością powietrza w stosunku do warstwy znajdującej się powyżej. Podsumowując, drzewa ograniczają ruch powietrza w polu, co osłabia parowanie z roślin i gleby, a jednocześnie zwiększają wilgotność powietrza nad polem, chroniąc przed pionowym przechodzeniem pary wodnej z gleby do atmosfery. W efekcie następuje wzrost plonowania roślin uprawnych znajdujących się w największej strefie oddziaływania zadrzewień. Korzystniejsze warunki mikroklimatyczne mogą również wydłużyć okres uprawy roślin polowych. Zalecana odległość pasów przeciwwietrznych wynosi od 12 do 18 wielokrotności docelowej zadrzewienia i zależy od pojemności wodnej gleb oraz lokalnych uwarunkowań klimatyczno-opadowych (rys. 4).



Rys. 3. Efekt przeciwwietrzny pasa drzew zależy od jego gęstości i wysokości, w optymalnych warunkach sięgając do 500 m w głąb otwartego pola

Źródło: Zajączkowski i Zajączkowski, 2013 (36)

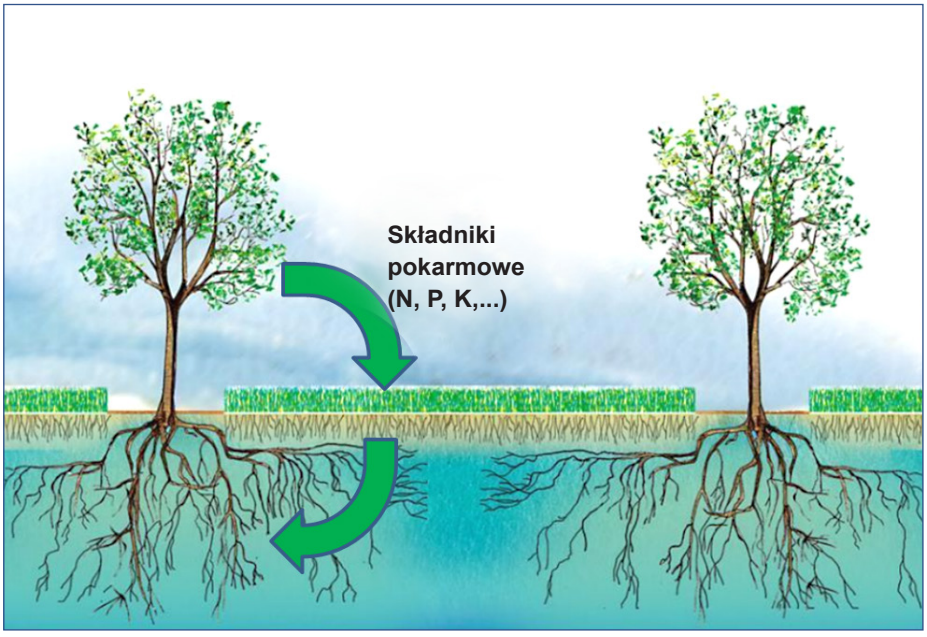


Rys. 4. Z powodu zmienności kierunków wiatrów główne pasy zadrzewieniowe powinny być uzupełnione prostopadłymi do nich pasami wspomagającymi, aby zapobiegać przyśpieszaniu powietrza wzdłuż pasa

Źródło: Zajączkowski i Zajączkowski, 2013 (36)

Przeciwwietrzna rola zadrzewień ma również ważne znaczenie dla hamowania wiatrów zimowych wywiewających śnieg z pól. Nieregularne opady śniegu narażają coraz częściej uprawy ozime i glebę na przemarzanie. Dodatkowo osłona przed wiatrami zapobiega zwiewaniu śniegu do lokalnych obniżeń, skąd podczas wiosennych roztopów większość wody ulega wyparowaniu.

Korzenie drzew w systemach rolno-leśnych pełnią rolę tzw. sieci bezpieczeństwa (rys. 5), przechwytując składniki pokarmowe (makro- i mikroelementy) przemieszczające się w głąb profilu glebowego poza zasięg korzeni roślin uprawnych, a następnie oddając je jesienią wraz z opadającymi liśćmi i gałązkami. Ściółka i korzenie drzew są więc efektywnym filtrem redukującym zanieczyszczenie wód gruntowych przez nawozy i tym samym poprawiają efektywność wykorzystania składników nawozowych przez rośliny.



Rys. 5. Komplementarność korzeni drzew i roślin uprawnych systemu rolno-leśnego w obiegu składników mineralnych

Źrodło: Dupraz i Liagre, 2008 (9), zmodyfikowane

Korzenie drzew współpracują również z grzybami, zwiększając dostępność składników pokarmowych oraz wody dla roślin, w zamian za część cukrów pobieranych z tkanki korzeniowej przez grzyby. Efektywność rozwoju mikoryzy zależy od stosowania zestawu dobrych praktyk jej sprzyjających, w tym optymalnego stosowania polepszaczy glebowych zawierających grzyby endomikoryzowe oraz wprowadzania do płodozmianu roślin bobowatych. Grzyby mikoryzowe mogą zwiększyć plonowa-

nie roślin uprawnych przez stymulację ich wzrostu, ograniczenie środowiskowego stresu (suszy, zasolenia, niedoboru składników pokarmowych, oddziaływania metali ciężkich, niekorzystnych warunków pH), kontrolę patogenów (aktywną i pasywną) oraz poprawę jakości odżywczej i zdrowotnej liści roślin żywicielskich.

Pod uprawami rolno-leśnymi można zaobserwować poprawę struktury i porowatości gleby oraz zwiększone pokrycie gleby ściółką w porównaniu z uprawami monokulturowymi. Prowadzi to do wzrostu infiltracji wody w głąb profilu oraz retencji glebowej, co może znacząco ograniczyć suszę rolniczą w okresach o niskiej sumie opadów. Z kolei w okresach zbyt wilgotnych, powodujących zalania i podtopienia upraw, korzenie drzew osuszają obszar rolniczy w wyniku wysokiej ewapotranspiracji.

Drzewa mogą również pozytywnie oddziaływać na jakość roślin uprawnych w międzyrzędziach, w szczególności roślin bogatych w białko, np. pszenicy durum (8). Taki efekt jest bardzo korzystny w przypadku trwałych użytków zielonych. Uważa się, że wzrost koncentracji dwutlenku węgla w powietrzu w kontekście globalnego ocieplenia zwiększa produktywność roślin, ale jednocześnie obniża zawartość białka oraz wartość żywieniową/paszową. Stwierdzono, że zacienienie traw w systemach leśno-pastwiskowych poprawia jakość paszy, zwiększając poziom białka w roślinie, a zmniejszając zawartość włókna surowego (15, 19). Dodatkowo mikroklimat stworzony przez oddziaływanie drzew może prowadzić do wzrostu plonowania traw w porównaniu z otwartym pastwiskiem, narażonym bardziej na stres suszy. Rolnicy wypasający zwierzęta na zadrzewionych pastwiskach w Polsce obserwują to zjawisko, jednak brak jest empirycznych danych potwierdzających je naukowo.

Na wielu obszarach Polski degradacja gleb doprowadziła do przyspieszenia procesów erozji gleb na nią podatnych. Wzrost średniej temperatury, częstsze występowanie nawalnych deszczów czy silnych wiatrów jeszcze bardziej wzmocniły ten proces. Burze piaskowe wywołane wywiewaniem cząstek gleby z przyległych pól można zaobserwować już corocznie na obszarach Wielkopolski, Kujaw czy Pomorza Zachodniego. Oprócz trwałości okrywy glebowej systemy rolno-leśne i zadrzewienia są najbardziej skuteczną formą ochrony przed erozją wietrzną (3, 10, 20). Erozja wodna gleby, która dotyka 21% użytków rolnych w Polsce jest powodem nie tylko degradacji gleby, ale również zanieczyszczenia wód związkami mineralnymi, co wiąże się ze wzrostem kosztów na zakup i zastosowanie nawozów rekompensujących polowe straty azotu i fosforu. Jest to szczególnie ważne w sytuacji światowego wzrostu cen nawozów. Ocenia się, że wzrost sumy opadów przyczynia się do zwiększenia wielkości strat gleby o 1,7 raza (23). Na glebach o nachyleniu powyżej 15% warstwa darni, którą zaleca się okrycie gleby może stracić swoją skuteczność wskutek zsuwania się po zboczu w wyniku naprzemiennego zamarzania i rozmarzania w okresie zimowym. Dlatego zaleca się tam wprowadzanie dobrze korzeniących się gatunków krzewów o świetlistych koronach (3). Nair i in. (22) oraz Jose (14) twierdzą, że dzięki zastosowaniu systemów rolno-leśnych wymycie związków azotu do wód zostało ograniczone w zakresie 40–70%.

Systemy rolno-leśne poprawiają strukturę krajobrazu rolniczego i przyczyniają się do wzrostu bioróżnorodności w ekosystemach rolniczych. Zmiany klimatu w połączeniu ze wzrostem intensywności uprawy roli i nadmiernym wykorzystaniem nawozów mineralnych i pestycydów wywołały znaczące szkody w środowisku – zubożyły zasobność gleb w mikroorganizmy i próchnicę, wywołały gradację agrofagów, ograniczyły liczebność dżdżownic, owadów i ptaków drapieżnych. Ocieplenie klimatu, zwłaszcza powiązane ze wzrostem średniej temperatury w okresach zimowych, doprowadziło do wzrostu zagrożenia chorobami i szkodnikami. Systemy rolno-leśne okazały się bardzo korzystne w regulacji liczebności szkodników pól uprawnych (1, 18), w szczególności poprzez wzrost aktywności i różnorodności naturalnych drapieżników mszyc (17). Agroleśnictwo dostarcza pożytku i miejsc gniazdowania dla dzikich pszczół i innych owadów zapylających uprawy, co pociąga za sobą wzrost plonowania i wielkości biomasy resztek pożniwnych lub zielonych nawozów dostarczanych do gleby. Według Kay i in. (16) najbardziej pożyteczne w tym aspekcie jest wprowadzanie drzew owocowych, zwłaszcza wiśni. Należy zauważyć, że zadrzewienia i żywopłoty, znajdujące się na granicach pól mogą ochronić uprawy (szczególnie ekologiczne) przed znoszeniem cieczy opryskowej podczas ochrony chemicznej roślin.

Drzewa i krzewy zapewniają zwierzętom osłonę przed wiatrem i upałem, których częstotliwość i intensywność nasila się wraz ze zmianą klimatu. Cień zapewniony przez dobrze zaprojektowany system leśno-pastwiskowy pozwala ograniczyć docierające promieniowanie słoneczne o 58% w porównaniu z otwartym pastwiskiem, a temperaturę skóry wypasanego bydła nawet o 4°C. Wraz ze wzrostem dobrostanu zwierząt wzrasta również ich produktywność. Badania Mitlöhnera i in. (21) wykazały, że bydło z dostępem do cienia osiągnęło o 20 dni wcześniej docelową masę ciała niż bydło kontrolne. Gregory (12) dowiódł, że pasy przeciwwietrzne zwiększyły plon traw na pastwiskach Nowej Zelandii, jednocześnie stymulując tempo owulacji bydła i owiec oraz przyrost wełny u drugiego gatunku, a także zmniejszyły śmiertelność jagniąt i stopień ich odrzucania przez maciorki. Wystawienie na działanie niesprzyjających warunków pogodowych w połączeniu z wygłodzeniem odpowiadało za 30% przypadków śmierci jagniąt, które tracą do 10°C temperatury ciała w ciągu pierwszych 30 minut życia, w związku z czym ich przeżywalność jest w dużym stopniu zależna od ochrony przed niekorzystnymi warunkami środowiska (27). Ochrona krów mlecznych przed słońcem zwiększa zawartość tłuszczu w mleku, zapobiega mastitis i poprawia rozrodczość. W przypadku bydła opasowego osiągane są lepsze wskaźniki przyrostu masy (12). Włoskie eksperymenty z drobiem w sadzie oliwnym potwierdziły, że w porównaniu z bezdrzewnym obiektem kontrolnym obecność drzew wpłynęła pozytywnie na jakość mięsa (wyższa zawartość witaminy E, kwasów tłuszczowych omega-3) (6), znacząco zmniejszyła agresywne zachowania osobnicze w stadzie oraz zapobiegła atakom drapieżników (7). Badania Paolottiego i in. (25) oraz Rocchiego i in. (29) pokazały, że utrzymywanie drobiu w sadzie może istotnie zmniejszyć ślad środowiskowy produkcji oraz pozwala uniknąć kosztów ponoszonych na nawożenie

i odchwaszczanie sadu. Wypas w sadach ogranicza rozprzestrzenianie się chorób grzybowych, których źródłem jest warstwa nierozłożonych liści przy gruncie (5).

Adaptacja agroleśnictwa do zmiany klimatu

Agroleśnictwo może stanowić remedium na problemy rolnictwa w obliczu zmiany klimatu, jednak dynamika zmian środowiskowych, z jaką mamy do czynienia również wywołuje silną presję na same systemy rolno-leśne, w tym drzewa. Dla wzmocnienia odporności systemu zaleca się nasadzenie różnych odmian i gatunków drzew. Wzbogacenie asortymentu materiału genetycznego zwiększy zakres odporności plantacji na czynniki suszy, nawalnych opadów czy gradacji szkodników.

Agroleśnictwo jest metodą zarządzania gruntami, dzięki której możemy osiągnąć wyższą produktywność rolniczą w warunkach zwiększonej częstości występowania zjawisk katastrofalnych wywołanych zmianą klimatu. Potencjał produkcyjny systemów rolno-leśnych ma związek z poprawą wykorzystania zasobów pokarmowych przez sąsiadujące rośliny drzewne i uprawne (wody, światła, składników pokarmowych) oraz zwiększeniem korzystnych interakcji pomiędzy drzewami a chowanymi zwierzętami (poprawa dobrostanu, rozrodczości, zdrowia, a z drugiej strony zabezpieczenie warunków wzrostu i rozwoju drzew). Wskaźnikiem opisującym produktywność współrzędnych systemów alejowych jest wskaźnik wykorzystania (ekwiwalentu) gruntu (ang. *Land Equivalent Ratio* – LER) przedstawiony za pomocą równania:

$$\text{LER} = \frac{\textit{Biomasa drzewna SRL}}{\textit{Biomasa drzewna M}} + \frac{\textit{Plon rośliny uprawnej SRL}}{\textit{Plon rośliny uprawnej M}}$$

gdzie:
SRL – uprawa w systemie rolno-leśnym;
M – uprawa w monokulturze.

Stosunek ten opisuje względną powierzchnię gruntu, która jest wymagana do czystej uprawy gatunków roślin w celu uzyskania takiego samego plonu biomasy jak w uprawie wielouprawowej (polikulturze) lub w systemie rolno-leśnym. Wskaźnik LER porównuje więc łączną wielkość produkcji biomasy uzyskiwanej z gruntów uprawianych w polikulturze i biomasy z gruntów uprawianych w monokulturze.

Jeśli LER wynosi mniej niż 1, to oznacza, że czysta uprawa monokulturowa wykazuje wyższą produktywność niż system rolno-leśny. Wartość LER większa niż 1 oznacza, że uprawa rolno-leśna jest bardziej wydajna. Badania modelowe prowadzone w Europie wykazały wyższą produktywność systemów alejowych w stosunku do monokultur w zakresie 1–1,4 dla kilku scenariuszy z odmienną więźbą i gatunkami drzew we Francji, Hiszpanii i Holandii (11, 32). We współrzędnej uprawie topoli w krótkiej rotacji oraz pszenicy i jęczmienia w Brandenburgii uzyskano wskaźnik

LER w zakresie 1,1–1,6 (33). W Wielkiej Brytanii rolno-leśna uprawa wierzby energetycznej i pszenicy dała wynik LER równy 1,4 (24).

Uzyskanie wyższej produktywności w systemach rolno-leśnych w porównaniu z systemami monokulturowymi wynika z właściwego zaplanowania układu przestrzennego oraz składu gatunkowego, który będzie dostosowany do miejscowych uwarunkowań siedliskowo-klimatycznych, ale jednocześnie pozwoli na zachowanie funkcji ochronnych systemu. Selekcjonuje się genotypy drzew wykazujące wyższą efektywność pobrania składników pokarmowych i wody z głębszych warstw gleby przez system korzeniowy.

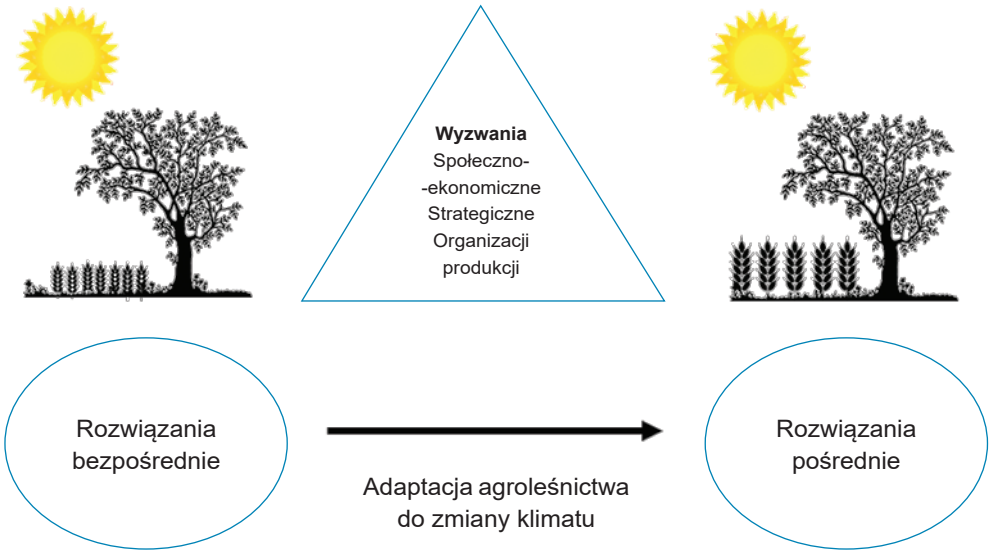
W celu ograniczenia konkurencyjności pomiędzy sąsiadującymi uprawami poszukuje się nowych odmian roślin żywnościowych i paszowych o zwiększonej tolerancji na zacienienie i zwiększonej produkcyjności lub wartości paszowej (2). Wiele gatunków cieniolubnych zidentyfikowanych w Ameryce Północnej udało się zaadaptować do europejskich warunków klimatu kontynentalnego, a niektóre z nich polecane są przez naukowców oraz firmy zajmujące się sprzedażą nasion jako gatunki paszowe idealne do uprawy w warunkach niewielkiego nasłonecznienia. Do najbardziej obiecujących gatunków traw paszowych, jakie można uprawiać w klimacie umiarkowanym należą: kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata*), kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea*) i kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*). Spośród roślin bobowatych polecane są koniczyna krwistoczerwona (*Trifolium incarnatum*) i koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense*). Niektóre odmiany uprawne życicy trwałej (*Lolium perenne*) i wiechliny łąkowej (*Poa pratensis*) wykazują zadowalającą zdolność adaptacji do warunków zacienienia. Zazwyczaj jednak uprawia się mieszankę gatunków/odmian w celu zapewnienia stabilnej i optymalnej jakości darni.

Lokalny wymiar adaptacji do zmiany klimatu poprzez wdrażanie agroleśnictwa bardzo dobrze wpisuje się w proces opracowania lokalnej innowacji i skrócenia łańcuchów dostaw. W kontekście agronomicznym ważną rolę może odgrywać opracowanie technologii podnoszących efektywność nawodnień drzew, identyfikacja roślin leczniczych i aromatycznych o wielofunkcjonalnym wykorzystaniu w przetwórstwie czy optymalizacja zarządzania pastwiskiem poprzez wypas rotacyjny. Inwestycje w agrotechnologie mają większą szansę powodzenia, jeśli łączone są z inwestycjami procesowymi i organizacyjnymi we współpracy z innymi rolnikami i lokalnymi przetwórcami. Przykładem źródła finansowania tego typu przedsięwzięć jest działanie „Współpraca" (37) w ramach finansowania Wspólnej Polityki Rolnej na tworzenie i funkcjonowanie grup operacyjnych na rzecz innowacji.

Poprawa efektywności agroleśnictwa w adaptacji do zmiany klimatu

Upowszechnianie systemów rolno-leśnych w kontekście postępującej zmiany klimatu wiąże się z licznymi wyzwaniami (rys. 6). Ważnym czynnikiem ograniczającym możliwość wprowadzenia alejowych form systemów rolno-leśnych na gruntach ornych

jest struktura gospodarstw. Zakładanie i pielęgnacja nasadzeń drzew są kosztowne. Długoterminowa inwestycja w surowiec drzewny w systemach agroleśnych niesie za sobą znaczne ryzyko finansowe dla producenta. W porównaniu z uprawami rolnymi zbieranymi i sprzedawanymi corocznie, dwukierunkowa produkcja w agroleśnictwie prowadzi do utracenia dochodów z produkcji rolnej. Wytwarzanie produktów o wysokiej wartości dodanej w takich systemach wymaga wyposażenia gospodarstw rolnych w maszyny i urządzenia umożliwiające zastosowanie innowacyjnych technologii. Wielkość gospodarstwa może więc wpływać znacząco na decyzję rolnika o wielkości powierzchni gruntów, którą decyduje się przeznaczyć w gospodarstwie na wieloletnie systemy rolno-leśne. Drugim istotnym kryterium jest struktura działek rolnych.



Rys. 6. Adaptacja agroleśnictwa do zmiany klimatu jest skuteczna po pokonaniu barier wyznaczonych przez wyzwania, przed jakimi stoi jego rozwój. Cel ten może być osiągnięty poprzez wdrożenie pośrednich rozwiązań poprawiających efektywność

Źródło: opracowanie własne

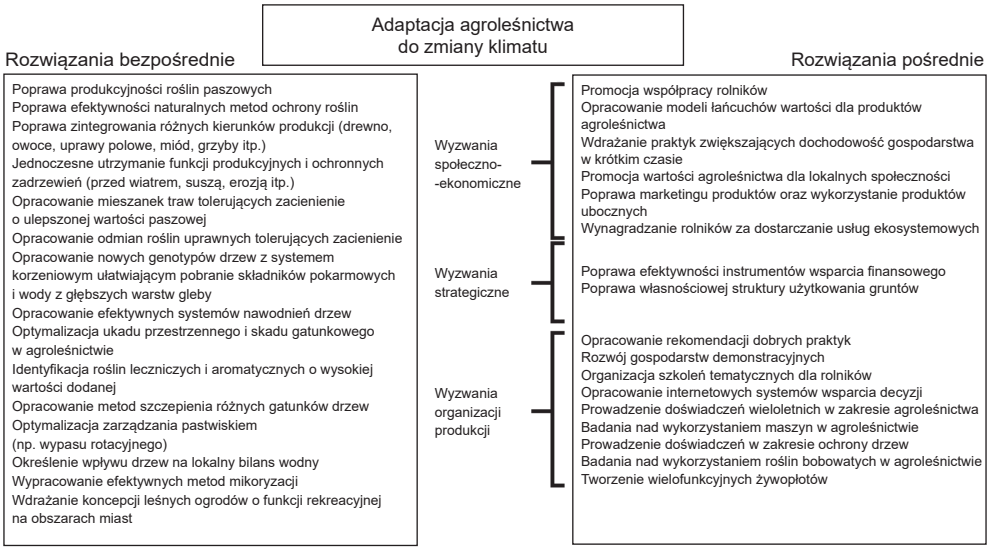
Pomimo ograniczeń strukturalnych dla wprowadzenia alejowych systemów rolno-leśnych trend wzrastającej powierzchni gospodarstw może znacząco poprawić potencjał produkcyjny agroleśnictwa w Polsce, w szczególności systemów z drzewami uprawianymi na surowiec meblarski lub biomasę. Z drugiej strony należy zauważyć, że wprowadzanie drzew lub krzewów owocowych w uprawach współrzędnych (produkcja warzyw lub ziół) lub w połączeniu z wypasem zwierząt (drobiu, owiec, bydła) może istotnie polepszyć kondycję ekonomiczną małych gospodarstw rodzinnych oraz zwiększyć efektywność wykorzystania gruntów o rozdrobnionej strukturze (celem upraw współrzędnych jest osiągnięcie wyższego wskaźnika wykorzystania powierzchni gruntu na cele produkcyjne). Systemy leśno-pastwiskowe są efektywnym

sposobem zagospodarowania gruntów marginalnych, o słabej przydatności produkcyjnej. Barierą zapewnienia odpowiedniej ilości paszy z takich gruntów może być jednak ich struktura własnościowa.

Infrastruktura przetwórstwa rolno-spożywczego w Polsce jest wciąż niedostatecznie rozwinięta, ograniczając sprzedaż produktów wysokiej jakości. Mniejszy asortyment produktów rolnych na rynku w porównaniu z państwami Europy Zachodniej jest również związany z niską świadomością społeczną w zakresie zdrowego stylu życia, ochrony środowiska i klimatu. Wiedza na temat możliwości zastosowania agroleśnictwa i produktów, jakie może oferować jest stosunkowo niska. Wsparcie finansowe systemów rolno-leśnych zaplanowane w ramach WPR 2023-2027 jest niewystarczające do rozwoju sektora i obciążone licznymi restrykcjami. Producenci, którzy chcieliby zakładać systemy rolno-leśne na użytkach rolnych, a nie mogliby korzystać, z różnych względów, z oferowanego rządowego wsparcia, są narażeni na utratę płatności bezpośrednich WPR z powodu przekroczenia limitu 100 drzew na hektarze lub nadmiernego pokrycia gruntów przez korony drzew. Zaplanowanie układu, więźby i składu gatunkowego w agroleśnictwie jest niezwykle trudne, gdyż efektywność produkcji rolnej oraz trwałość i jakość zasadzonych drzew zależą od dopasowania systemu do lokalnych warunków glebowo-klimatycznych. Ograniczeniem rozwoju agroleśnictwa w Polsce mogą być niekorzystne warunki glebowe, zwłaszcza gleby klasy 6, występowanie obszarów Natura 2000, w obrębie których zadrzewianie nie jest dozwolone oraz obszary drenowane i nawadniane. Pielęgnacja plantacji rolno-leśnej wymaga również monitoringu i eksperckiej wiedzy, zwłaszcza w zakresie prowadzenia drzew i ich ochrony przed szkodnikami, chorobami i zwierzyną. Brak jest również informacji na temat maszyn mogących mieć zastosowanie w agroleśnictwie.

Hernandez-Morcillo i in. (13) zidentyfikowali szereg bezpośrednich i pośrednich rozwiązań poprawiających adaptację agroleśnictwa do zmian klimatu oraz poziom zrównoważenia systemu rolniczego (rys. 7).

Wpływ czynników ryzyka można znacząco ograniczyć poprzez transfer wiedzy. Najbardziej skuteczna wydaje się wymiana informacji pomiędzy samymi rolnikami oraz wykorzystanie elektronicznego systemu wsparcia decyzji. Współdziałanie producentów w przedmiocie wynajmu specjalistycznych maszyn i sprzedaży produktów pozwala istotnie zredukować koszty produkcji. Ponadto w warunkach globalizacji rynku rolnego i światowego kryzysu żywnościowego wywołanego atakiem militarnym Rosji uprawa roślin/chów zwierząt może stać się bardziej opłacalna poprzez podwyższenie wartości dodanej produktów wytwarzanych w systemach rolno-leśnych. Zorganizowana grupa rolników może wytwarzać i sprzedawać przetworzony innowacyjny produkt z drzew/drewna lokalnym odbiorcom. Dla upowszechnienia tego typu rozwiązań ważne są: organizacja wyjazdów zainteresowanych osób do działających pilotażowych obiektów, opracowanie narzędzi wsparcia decyzji dla działań w tym segmencie rynku oraz budowa sieci rolników i doradców pozwalającej na wymianę doświadczeń.



Rys. 7. Skuteczność adaptacji agroleśnictwa do zmian klimatu zależy od podejmowania działań na różnych poziomach decyzyjnych (polityka państwa, lokalna społeczność, gospodarstwo)

Źródło: na podstawie Hernandez-Morcillo, 2018 (13)

Dla rozwoju agroleśnictwa pomocne jest zidentyfikowanie kryteriów mogących mieć zastosowanie do produktów o wysokiej wartości dodanej z systemów rolno--leśnych uprawianych w sposób zrównoważony oraz opracowanie systemu certyfikacji. Spora część gospodarstw posiadających systemy rolno-leśne może być kwalifikowana jako ekologiczna, wytwarzająca regionalne czy tradycyjne produkty lub spełniająca wymogi niskoemisyjnych certyfikatów rolnictwa węglowego.

Istotnym bodźcem wzrostu powierzchni systemów rolno-leśnych jest tworzenie wartości dodanej przez wycenę świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez ten sposób użytkowania gruntów (30). Najważniejszą rolę w uzewnętrznieniu wartości monetarnej usług ekosystemowych w rolnictwie spełniają płatności rolno--środowiskowe WPR, jednak coraz większego znaczenia nabierają inicjatywy prywatne, wyceniające usługi w ramach strategii marketingowej. Metoda ta może mieć związek z opracowaniem przez firmy różnych modeli biznesowych sprzedaży, polityką sponsoringu lub prośrodowiskowym podejściem do społecznej odpowiedzialności biznesu. Korzystać z tego podejścia mogą również rolnicy podpisujący umowy kontraktowe z przedsiębiorstwami realizującymi powyższą politykę sprzedaży.

Opracowanie nowych, innowacyjnych produktów o wartości dodanej, rozwój niszowych rynków żywności, systemów certyfikacji, poprawa wiedzy i świadomości rolników oraz konsumentów wymaga czasu. Aby systemy rolno-leśne mogły rozwijać się w Polsce i znacząco przyczynić się do złagodzenia zagrożeń produkcji wywołanych przez zmianę klimatu, w początkowym okresie konieczne jest uruchomienie

rządowego wsparcia powiązanego z wynagradzaniem rolników za dobra publiczne przez nich dostarczane.

Podsumowanie

Uważa się, że rozwój efektywnych i zoptymalizowanych systemów gospodarowania gruntami w rolnictwie jest jednym z podstawowych elementów strategii przeciwdziałania zagrożeniom środowiskowym i adaptacji do zmian klimatycznych. Wydaje się również ważnym kierunkiem dostosowania się do ryzyka rynkowego.

Systemy rolno-leśne mogą się okazać jedną z niewielu opcji umożliwiających utrzymanie produkcji rolniczej w warunkach zmiany klimatu. Posiadają wysoki potencjał zarówno w redukcji emisji gazów cieplarnianych, jak i adaptacji do skutków globalnego ocieplenia. Obiekty doświadczalne, w których uzyskuje się wyższą produktywność w systemach rolno-leśnych względem systemów monokulturowych zachęcają do prowadzenia badań w zakresie optymalizacji układu przestrzennego oraz selekcji odpowiednich genotypów drzew, roślin żywnościowych i paszowych, wykazujących zwiększone dostosowanie do lokalnych uwarunkowań agroleśnictwa i zagrożeń klimatycznych. Lokalny wymiar adaptacji do zmian klimatu powinien być powiązany z wdrażaniem procesowych i organizacyjnych innowacji w przetwórstwie i sprzedaży produktów rolno-leśnych o wysokiej wartości dodanej.

Przytoczone w pracy rekomendacje wskazują na potrzebę dostosowania istniejących rozwiązań technologicznych do uwarunkowań środowiskowych i organizacyjnych gospodarstw w Polsce. Wykorzystanie agroleśnictwa w dostosowaniu polskiego rolnictwa do zmian klimatu wymaga pokonania barier społeczno-ekonomicznych, strategicznych oraz organizacyjnych w zakresie produkcji. Najbardziej skuteczna jest wymiana wiedzy oraz współpraca pomiędzy rolnikami. Postęp w informatyzacji umożliwia zastosowanie systemów wsparcia decyzji podejmowanych przez rolnika w czasie rzeczywistym. Istotnym bodźcem rozwoju agroleśnictwa może być opracowanie systemu jakości dedykowanego dla tego systemu. Efektem będzie oszczędność środków produkcji, co zmniejszy ryzyko zanieczyszczania środowiska i podniesie odporność na stresy środowiskowe. Proces dostosowania agroleśnictwa do zmian jest jednak bardzo powolny. W celu poprawy efektywności i skuteczności stosowania praktyk rolno-leśnych niezbędne jest wynagradzanie rolników za usługi ekosystemowe przez nich świadczone.

Literatura

1. Altieri M.A., Nicholls C.I.: Ecologically based pest management in agroforestry systems. W: D.R. Batish, R.K. Kohli, S. Jose, H.P. Singh (eds): Ecological basis of agroforestry. CRC Press, Boca Raton, 2008, ss. 95-106.
2. Borek R., Mosquera-Losada M.: Trawy i rośliny bobowate odporne na zacienienie. Wykorzystanie na cele paszowe. Broszura AFINET, 2019. https://agrolesnictwo.pl/wp-content/uploads/2021/03/43_Trawy_i_rosliny_bobowate_zacienienie_Print.pdf
3. Borek R., Zajączkowski J., Wójcik M., Malusa E., Tartanus M., Furmańczyk E., Jędrejek A., Kozyra J., Kozak M.: Agroleśnictwo (systemy rolno-leśne). Poradnik dla rolników i doradców rolnych. IUNG-PIB, Puławy, 2022, ss. 81.
4. Burgess P., Rosati A.: Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. Agroforestry Systems, 2018, **92:** 801-810. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0261-3
5. Burgess P., Upson M., Graves A., Garcia de Jalon S.: System report: grazed orchards in England and Wales, 2016. http://www.agforward.eu/index.php/en/grazed-orchards-in-northern-ireland-uk.html
6. Cartoni Mancinelli A., Mattioli S., Dal Bosco A., Piottoli L., Ranucci D., Branciari R., Cotozzolo E., Castellini C.: Rearing Romagnola geese in vineyard: pasture and antioxidant intake, performance, carcass and meat quality. Italian Journal of Animal Science, 2019, **18(1):** 372-380. https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1530960
7. Dal Bosco A., Mugnai C., Rosati A., Paoletti A., Caporali S., Castellini C.: Effect of range enrichment on performance, behavior, and forage intake of free-range chickens. Journal of Applied Poultry Research, 2014, **23(2):** 137-145. https://doi.org/10.3382/japr.2013-00814
8. Dufour L., Metay A., Talbot G., Dupraz C.: Assessing light competition for cereal production in temperate agroforestry systems using experimentation and crop modelling. Journal of Agronomy and Crop Science, 2013, **199(3):** 217-227. https://doi.org/10.1111/jac.12008
9. Dupraz C., Liagre F.: Agroforesterie, des arbres et des cultures. Éditions France Agricole, 2008.
10. Garrett H.E., McGraw R.L., Walter W.D.: Alley cropping practices. W: H.E. Garrett (ed.): North American agroforestry: an integrated science and practice. II wydanie, American Society of Agronomy, Madison 2009, pp. 133-162.
11. Graves A.R., Burgess P.J., Palma J.H., Herzog F., Moreno G., Bertomeu M., Dupraz C., Liagre F., Keesmanf K., van der Werf W., de Nooyg A.K., van den Briel J.P.: Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. Ecological Engineering, 2007, **29.4:** 434-449. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.018
12. Gregory N.G.: The role of shelterbelts in protecting livestock: a review. New Zeland Journal of Agricultural Research, 1995, **35:** 423-450. https://doi.org/10.1080/00288233.1995.9513146
13. Hernández-Morcillo M., Burgess P., Mirck J., Pantera A., Plieninger T.: Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. Environmental Science & Policy, 2018, **80:** 44-52. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.013
14. Jose S.: Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforestry Systems, 2009, **76:** 1-10. https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7
15. Kallenbach R.L., Kerley M.S., Bishop-Hurley G.J.: Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a pine-walnut silvopasture. Agroforestry Systems, 2006, **66:** 43-53. https://doi.org/10.1007/s10457-005-6640-6

16. Kay S., Crous-Duran J., García de Jalón S., Graves A., Ferreiro-Domínguez N., Moreno G., Mosquera-Losada M.R., Palma J.H., Roces-Díaz J.V., Santiago--Freijanes J.J., Szerencsits E., Weibel R., Herzog F.: Spatial similarities between European agroforestry systems and ecosystem services at the landscape scale. Agroforestry Systems, 2018, **92:** 1075-1089. https://doi.org/10.1007/s10457-017-0132-3
17. Langer V.: The potential of leys and short rotation coppice hedges as reservoirs for parasitoids of cereal aphids in organic agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, **87:** 81-92. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00298-X
18. Letourneau D.K., van Bruggen A.: Crop protection in organic agriculture. W: P. Kristiansen, A.Taji, J. Reganold (eds): Organic agriculture: a global perspective. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 2006, pp. 93-121.
19. Lin C.H., McGraw M.L., George M.F., Garrett H.E.: Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. Agroforestry Systems, 2001, **53(3):** 269-281. https://doi.org/10.1023/A:1013323409839
20. McIvor I., Youjun H., Daoping L., Eyles G., Pu Z.: Agroforestry: conservation trees and erosion prevention. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, 2014, **1:** 208-221. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00247-3
21. Mitlöhner F.M., Morrow J.L., Dailey J.W., Wilson S.C., Galyean M.L., Miller M.F., McGlone J.J.: Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. Journal of Animal Science, 2001, **79:** 2327-2335. https://doi.org/10.2527/2001.7992327x
22. Nair P.K.R.: Methodological challenges in estimating carbon sequestration potential of agroforestry systems. W: B.M. Kumar, P.K.R. Nair (eds): Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges. Vol. 8: Advances in Agroforestry, New York: Springer, 2011, p. 3-16.
23. Nearing M.A., Pruski F.F., O'Neal M.R.: Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, **59(1):** 43-50. https://www.jswconline.org/content/59/1/43
24. ORC (Organic Research Centre) www.organicresearchcentre.com/wp-content/uploads/2020/09/WAF_FINAL_LOWESTres_spreads.pdf
25. Paolotti L., Boggia A., Castellini C., Rocchi L., Rosati A.: Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the life cycle assessment (LCA) approach. Journal of Cleaner Production, 2016, **131:** 351-363. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.024
26. PEP (Polityka Ekologiczna Państwa 2030): Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2019, ss. 356. https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/Polityka_Ekologiczna_Panstwa/Polityka_Ekologiczna_Panstwa_2030.pdf
27. Pent G.J.: Lamb performance, behavior, and body temperatures in hardwood silvopasture systems. PhD Thesis, 2017. Virginia Polytechnic Institute and State University. https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/76730/Pent_G_D_2017.pdf?sequence=2
28. PS (Projekt Planu Strategicznego dla WPR na lata 2023-2027 (wersja 4.0) – projekt przyjęty przez Radę Ministrów i przekazany do KE): Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, ss. 783. https://www.gov.pl/web/wprpo2020/plan-strategiczny-dla-wpr-na-lata-2023-2027-wersja-40--przyjety-przez-rade-ministrow
29. Rocchi L., Paolotti L., Rosati A., Boggia A., Castellini C.: Assessing the sustainability of different poultry production systems: a multicriteria approach. Journal of Cleaner Production, 2019, **211:** 103-114. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.013
30. Rosati A., Borek R., Canali S.: Agroforestry and organic agriculture. Agroforestry Systems, 2021, **95:** 805-821.

31. Schoeneberger M., Bentrup G., De Gooijer H., Soolanayakanahally R., Sauer T., Brandle J., Zhou X., Current D.: Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, **67(5):** 128A-136A. https://doi.org/10.2489/jswc.67.5.128A
32. Sereke F., Graves A.R., Dux D., Palma J.H.N., Herzog F.: Innovative agroecosystem goods and services: Key profitability drivers in Swiss agroforestry. Agronomy for Sustainable Development, 2014, **35:** 759-770. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0261-2
33. Seserman D.M., Freese D., Swieter A., Langhof M., Veste M.: Trade-off between energy wood and grain production in temperate alley-cropping systems: an empirical and simulation-based derivation of land equivalent ratio. Agriculture, 2019, **9(7):** 147. https://doi.org/10.3390/agriculture9070147
34. SPA (Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030): Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2013, ss. 60. https://bip.mos.gov.pl/strategie-plany-programy/strategiczny-plan-adaptacji-2020/
35. SZRWRiR (Strategia Zrównoważonego Rozwoju Wsi, Rolnictwa i Rybactwa 2030): Monitor Polski, Poz. 1150, ss. 172. https://www.gov.pl/attachment/5473c321-ae03-471d-b25d-8473a00fda8f
36. Zajączkowski J., Zajączkowski K.: Hodowla lasu. Zadrzewienia. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 2013, ss. 179
37. https://sir.cdr.gov.pl/dzialanie-wspolpraca/

Adres do korespondencji:

dr inż. Robert Borek
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8,
24-100 Puławy
tel. 81 4786 763
email: rborek@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Robert Borek	0000-0001-9414-3181