

**prof. dr hab. Antoni Faber, dr Zuzanna Jarosz**

**JAK ZMNIJSZYĆ EMISJĘ GAZÓW CIEPLARNIANYCH  
W UPRAWIE SUROWCÓW PRZEZNACZONYCH  
NA CELE PRODUKCJI BIOPALIW PŁYNNYCH**

**Poradnik**

**INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

24-100 Puławy, ul. Czartoryskich 8  
tel.: 81 4786700, 81 4786800, fax 81 4786900  
Dyrektor: prof. dr hab. Wiesław Oleszek

**ZAKŁAD BIOGOSPODARKI I ANALIZ SYSTEMOWYCH**

tel.: 81 47867765, 81 4786766, 81 4786767  
Kierownik: dr hab. Rafał Pudelko

**DZIAŁ UPOWSZECHNIANIA I WYDAWNICTW**

tel.: 81 47867720, fax 81 4786721  
Kierownik: dr Mariusz Zarychta

**Opracowanie redakcyjne:** dr Grażyna Hołubowicz-Kliza

© Copyright by Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy 2016

ISBN-978-83-7562-220-1

Opracowanie dofinansowano z programu wieloletniego IUNG-PIB  
z zadania 2.6 i 2.7

Niniejszy poradnik napisany został z myślą o producentach surowców przeznaczonych do produkcji biopaliw płynnych. Rolnicy produkujący rzepak wykorzystywany do produkcji biodiesla oraz kukurydzę, pszenicę i burak cukrowy przeznaczone do produkcji bioetanolu oświadczają na piśmie, że ich surowce spełniają kryteria zrównoważonego rozwoju. Grupy producenckie i firmy skupowe zobowiązane są natomiast posiadać certyfikat potwierdzający, że sprzedawany lub skupowany surowiec spełnia kryteria zrównoważonego rozwoju. W obu wymienionych dokumentach najważniejsze informacje, to miejsce pochodzenia surowca oraz wielkość emisji gazów cieplarnianych powstających wskutek produkcji rolniczej tych surowców.

O wielkości emisji gazów cieplarnianych w produkcji surowców rolniczych przeznaczonych do produkcji biopaliw decydują: plon ziarna (nasion), wilgotność ziarna (nasion), plon słomy i sposób jej zagospodarowania (zbiór lub pozostawienie na polu), zużycie oleju napędowego, zastosowane dawki nawozów azotowych (N), fosforowych (P) oraz potasowych (K), sumaryczna dawka zastosowanych pestycydów w substancji aktywnej, norma wysiewu nasion oraz emisja polowa podtlenku azotu. Przepisy krajowe i unijne nie wymagają od rolników deklarowania wymienionych danych, ponieważ emisje gazów cieplarnianych zostały oszacowane dla poszczególnych województw. W szacunkach tych stwierdzono, że w większości województw emisje nie przekraczają wartości standardowych, określonych w dyrektywie 2009/28/WE. Dlatego w Polsce przyjmuje się, że emisje te wynoszą (w g CO<sub>2</sub> eq/MJ) dla: rzepaku – 29, kukurydzy – 20, pszenicy – 23 oraz buraka cukrowego – 12, co zwalnia rolników z obowiązku przedstawienia certyfikowanej wielkości emisji.

Odmierna jest sytuacja grup producenckich, które powinny uzyskać od uprawnionych podmiotów certyfikat określający pochodzenie surowca oraz oszacowaną emisję gazów cieplarnianych dla tych surowców.

W związku z zastrzeżeniem od 2017 r. wymagań odnoszących się do całkowitego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia biopaliw (od uprawy surowca poprzez produkcję biokomponentów aż do dystrybucji biopaliwa na stacjach paliw) poszukuje się obecnie możliwości ograniczania emisji na każdym etapie ich produkcji. Jest to ważne, jako że końcowy producent biopaliwa zobowiązany jest wykazać, że ogranicza ono emisję gazów cieplarnianych o co najmniej 50% (60% dla instalacji nowych) w stosunku do paliw konwencjonalnych.

W produkcji rolniczej surowców przeznaczonych do produkcji biopaliw emisja gazów cieplarnianych jest kontrolowana. Dodatkowym sposobem ograniczenia ich emisji, dopuszczonym przez Dyrektywę 2009/28/WE, jest zwiększanie ilości węgla organicznego w glebach użytkowanych do produkcji surowców rolniczych przeznaczonych na cele paliwowe.

# 2

## GAZY CIEPLARNIANE I ZMIANY KLIMATU ORAZ POLITYKA ZMIERZAJĄCA DO ICH OGRANICZENIA

Gazy cieplarniane od zawsze były obecne w określonych stężeniach w atmosferze. Pochłaniały one promieniowanie ciepłe i oddawały je do atmosfery, zapobiegając nadmiernemu oziębianiu się klimatu Ziemi. Do połowy XVIII w. (okres przed rewolucją przemysłową) ich stężenia w atmosferze kształtowane były głównie przez procesy naturalnie zachodzące w przyrodzie (powstawanie pary wodnej w cyklu obiegu wody, dwutlenku węgla w cyklu obiegu węgla, aktywność wulkanów). Zapoczątkowany w połowie XVIII w. rozwój przemysłu zwiększał z czasem stężenia w atmosferze gazów cieplarnianych zależnych od działalności człowieka, takich jak: dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) oraz podtlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Głównymi źródłami emisji tych gazów były:  $\text{CO}_2$  – spalanie stałych i płynnych paliw kopalnych, produkcja cementu, wylesienia;  $\text{CH}_4$  – produkcja zwierzęca (głównie bydła) oraz  $\text{N}_2\text{O}$  – stosowanie w rolnictwie nawozów azotowych.

Przeważa pogląd, że na przestrzeni ostatnich 50 lat zależne od działalności człowieka emisje gazów cieplarnianych ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  oraz  $\text{N}_2\text{O}$ ) doprowadziły do takiego wzrostu ich stężeń w atmosferze, że spowodowało to globalne zmiany klimatu (m.in.: wzrost średnich temperatur powietrza, topnienie lodowców, podniesienie się poziomu mórz, powstawanie ekstremalnych zjawisk pogodowych).

Zjawiska te obecnie prowadzą do wymiernych strat gospodarczych. Dlatego jeśli emisja gazów cieplarnianych nie zostanie ograniczona i zmiany klimatu powstrzymane, to według szacunków może to doprowadzić do zmniejszenia łącznego produktu krajowego brutto wszystkich państw o około 20%. Widmo katastrofy ekologicznej oraz znaczących strat gospodarczych skłoniły społeczność międzynarodową do podjęcia w 1997 r. Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Poprawką do tej konwencji, mającą na celu ograniczenie zmian klimatu, był Protokół z Kioto, który w 2009 r. podpisały 183 kraje odpowiedzialne za około 60% globalnej emisji gazów cieplarnianych.

W Unii Europejskiej przeciwdziałania zmianom klimatu były ambitniejsze niż zawarte w protokole z Kioto. W grudniu 2008 r. przyjęto pakiet klimatyczny „3x20”, który zakładał w całej Wspólnocie do 2020 r.: ograniczenie o 20% emisji gazów cieplarnianych, wzrost o 20% efektywności energetycznej, a także osiągnięcie 20% udziału energii produkowanej ze źródeł odnawialnych oraz 10% energii odnawialnej w sektorze transportowym (biopaliw płynnych). Osiągnięcie tych celów uregulowane zostało prawnie w dyrektywach i decyzjach unijnych oraz prawodawstwie krajowym.

Dla czytelnika tego poradnika istotne znaczenie będą miały unijne uregulowania dotyczące biopaliw płynnych zawarte w:

- Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych,
- Decyzji Komisji z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie wytycznych dotyczących obliczania zasobów węgla w ziemi do celów załącznika V do Dyrektywy 2009/28/WE.

Jak również uregulowania zawarte w:

- Ustawie z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biopaliwach i biokomponentach ciekłych (z późniejszymi zmianami).

Omówione w poradniku praktyki rolnicze, zmierzające do zwiększenia zawartości węgla organicznego w glebach, pozostają w zgodzie z wymienionymi uregulowaniami prawnymi.



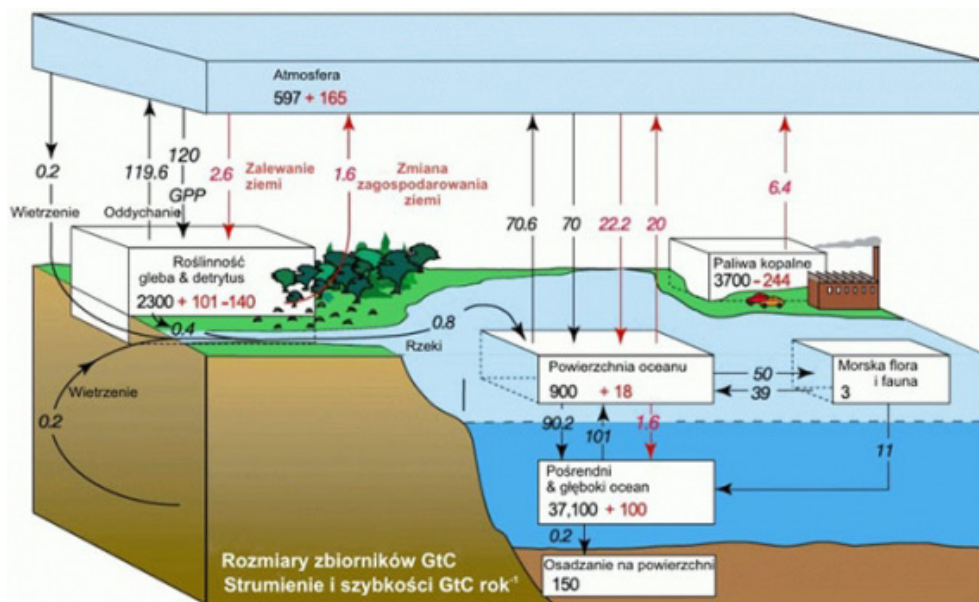
# 3

## WYSTĘPOWANIE WĘGLA W PRZYRODZIE

W przyrodzie węgiel występuje głównie w formie związków nieorganicznych (ponad 99,9%) i w niewielkich ilościach w postaci związków organicznych (mniej niż 0,1%). Część węgla podlega przemianom zwanym cyklem obiegu węgla w przyrodzie.

### 3.1. CYKL OBIEGU WĘGLA W PRZYRODZIE

Obieg węgla zachodzi pomiędzy czterema głównymi rezerwuarami (rys. 1). Najwięcej węgla podlegającego wymianie zawierają oceany. Dziesięciokrotnie mniej węgla wykorzystywanego jest w postaci paliw kopalnych, jeszcze mniej zgromadzonego jest w żywych roślinach i glebach, a najmniej w atmosferze.



Rys. 1. Cykl obiegu węgla; ilości węgla w poszczególnych „rezerwuarach” oraz roczne przepływy w gigatonach (mld t)

Źródło: Manicore 2007

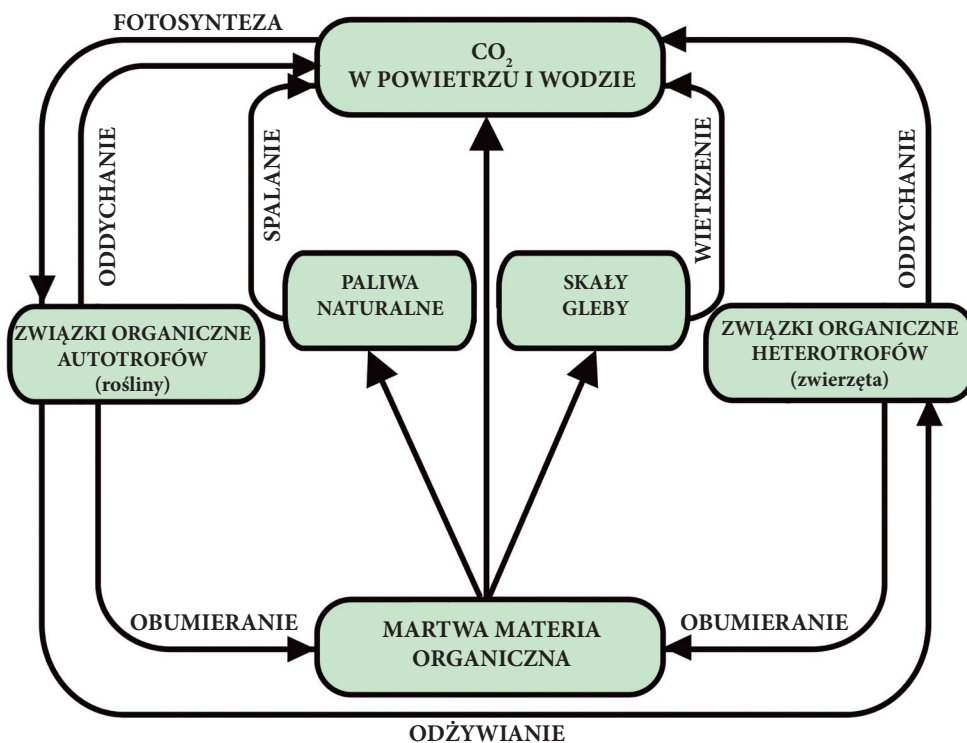
Na rysunku 1 kolorem czarnym zaznaczono przepływ węgla i zmiany w rezerwuarach, które istniały w 1750 r. (przed rozpoczęciem epoki przemysłowej). Natomiast

kolorem czerwonym określono przepływ i zmiany w rezerwarach, które zaszły w latach 1750-1994.

Z rysunku 1 wynika, że w okresie przed rozwojem przemysłu przepływ węgla był zrównoważony – z oceanów do atmosfery i odwrotnie oraz z roślinności i gleb do atmosfery i odwrotnie. Rozwój przemysłu zwiększył przepływy węgla we wszystkich rezerwarach, w największym stopniu jednak w atmosferze. Obecnie naturalne źródła emisji również równoważą się: 90,6 mld ton emisji z oceanów odpowiada pochłanianie przez oceany 92,2 mld ton, 119,6 mld ton emisji z roślin i gleby odpowiada pochłanianie 122,6 mld ton. Systematyczny przyrost zawartości węgla w atmosferze jest więc skutkiem emisji związanych z działalnością człowieka.

### 3.2. CYKL OBIEGU WĘGLA ORGANICZNEGO W PRZYRODZIE

Obieg węgla organicznego w przyrodzie związany jest ze zdolnością niektórych organizmów, głównie roślin, do pobierania (asymilacji) dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) i przekształcania go w procesie fotosyntezy w związki organiczne (rys. 2).



Rys. 2. Obieg węgla organicznego w przyrodzie

Źródło: Scholaris (modyfikacja)

Związki te są w części wykorzystywane przez rośliny jako źródło energii wyzwalanej w procesie oddychania, z czym wiąże się wydzielanie do atmosfery  $\text{CO}_2$ . W części zaś przekształcane są one w substancje budulcowe roślin. Wiele roślin stanowi pożywienie dla zwierząt, które oddychając wydzielają do atmosfery  $\text{CO}_2$ . Obumarłe szczątki roślin i zwierząt trafiają do gleby lub wód i są rozkładane przez mikroorganizmy. W wyniku tego rozkładu około 10-20% węgla organicznego pozostaje w glebach i wodach, zaś reszta w postaci  $\text{CO}_2$  trafia do atmosfery.

### 3.3. ZASOBY WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBIE A ZMIANY KLIMATU

Gleby magazynują znaczne ilości węgla organicznego. Zasoby węgla organicznego w glebie są około dwukrotnie większe od zawartości węgla w atmosferze i około dwu-, trzykrotnie większe od zawartości węgla w żywych roślinach.

W związku ze wzrostem temperatury wskutek zmian klimatu zasoby węgla organicznego w glebach w przyszłości mogą kształtować się odmiennie – według dwóch przewidywań.

Pierwsze z nich zakłada, że wzrost temperatury w większym stopniu będzie wpływał na rozkład substancji organicznej gleb niż na produktywność roślin oraz dopływ do gleby substancji organicznej. Efektem tego procesu może być zmniejszanie się zasobów i zawartości węgla organicznego w glebach oraz wzrost emisji  $\text{CO}_2$  do atmosfery.

Według drugiego przewidywania, które wydaje się mniej prawdopodobne, wzrost ilości dostarczanego do gleby azotu (w nawozach i wskutek spalania paliw kopalnych) zwiększy produktywność roślin oraz ilości dostarczanej do gleby materii organicznej, co zwiększy jej zasoby w glebach i obniży emisję  $\text{CO}_2$  do atmosfery.





## 4.1. ZNACZENIE WĘGLA ORGANICZNEGO W ROLNICTWIE

Dostarczana do gleby martwa materia organiczna, zawierająca około 58% węgla organicznego, przetwarzana jest przez mikroorganizmy glebowe, dla których ten węgiel jest źródłem energii. W efekcie tych przemian w glebie można wyróżnić cztery główne rodzaje materii organicznej: 1-5% żywe organizmy, 0-10% nieprzetworzona materia organiczna, 5-10% aktywnie przetwarzana materia organiczna oraz 75% trwała substancja organiczna. Największe znaczenie dla rolnictwa ma trwała substancja organiczna, która kształtuje żyzność i urodzajność gleb.

W glebach wpływa ona zwłaszcza na:

### Cykle przemian składników odżywczych

- zwiększa się pojemność gleb względem składników odżywczych, dzięki czemu są one wiązane w większych ilościach;
- w wyniku rozkładu przez mikroorganizmy (mineralizacji) gleba stopniowo uwalnia składniki pokarmowe w formach łatwo przyswajalnych dla roślin;
- gleba tworzy związki ze składnikami pokarmowymi, które są łatwo przyswajalne dla roślin.

### Gospodarkę wodną

- następuje poprawa przemieszczania się wody w głąb gleby;
- zmniejsza się parowanie wody z gleby;
- zwiększa się ilości wody zatrzymywanej w glebie, zwłaszcza piaszczystej.

### Strukturę gleb

- następuje poprawa jej gruzełkowatości;
- zmniejsza się zaskorupianie, zwłaszcza gleb cięższych;
- następuje ograniczenie erozji;
- przeciwdziała ugniataniu gleb wskutek przejazdów maszyn rolniczych;
- sprzyja lepszemu korzenieniu się roślin.

## Inne właściwości

- przyspiesza się rozkład oraz wiązanie pestycydów;
- przyspiesza się nagrzewanie gleby;
- zwiększa się aktywność mikroorganizmów glebowych;
- może być źródłem węgla dla mikroorganizmów pożytecznych, ale także chobotwórczych i szkodników.

## 4.2. ZAWARTOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH

O zawartościach węgla organicznego w glebach przed ich włączeniem do użytkowania rolniczego decydował głównie przebieg procesów glebotwórczych zależnych od klimatu, wegetacji, położenia gleby w krajobrazie oraz jej składu mechanicznego. Po włączeniu gleb do użytkowania rolniczego, ich zasobność w węgiel, oprócz wymienionych uwarunkowań, modyfikowana była przez intensywność mechanicznej uprawy, ilość pozostawianych na polu resztek poźniwnych oraz stosowanie nawozów naturalnych i zielonych. Można więc twierdzić, że aktualna zawartość węgla w glebach jest wynikiem naturalnej zasobności zmodyfikowanej przez użytkowanie rolnicze gruntów. Ogólnie wpływ czynników warunkujących zawartości węgla organicznego w glebach można scharakteryzować w następujący sposób:

### SKŁAD MECHANICZNY GLEB

Gleby cięższe zazwyczaj zawierają więcej węgla organicznego niż gleby lekkie (piaski) z dwóch powodów. Po pierwsze, mają one więcej iltu koloidalnego, który tworzy z węglem organicznym trwałe połączenia zabezpieczające materię organiczną przed mineralizacją. Po wtóre, rozkład materii organicznej przebiega szybciej w dobrze napowietrzonych glebach piaszczystych, dlatego rzadko zawierają one więcej niż 2% materii organicznej (1,2% węgla organicznego).

### KLIMAT

Wysokie temperatury przyspieszają rozkład materii organicznej. Na obszarach o większych opadach rośliny produkują więcej masy, dlatego więcej korzeni i resztek roślinnych dociera do gleby. W dodatku gleby na takich obszarach zawierają mniej tlenu niezbędnego do mineralizacji materii organicznej, dlatego zostaje jej więcej w glebie.

## POŁOŻENIE GLEBY

Gleby położone w zagłębieniach terenu, dobrze uwilgotnione z powodu małej przepuszczalności wody mają więcej materii organicznej ze względu na mniejsze ilości tlenu potrzebnego do jej mineralizacji. Mniej materii organicznej mają gleby położone na wierzchołkach i zboczach, zarówno ze względu na mniejsze uwilgotnienie, jak i z powodu erozji.

## ROŚLINNOŚĆ

Gleby porastane przez roślinność dostarczającą im więcej resztek organicznych i zawierają więcej materii organicznej. Z tego względu łąki i pastwiska charakteryzują się większą zawartością materii organicznej niż grunty orne.

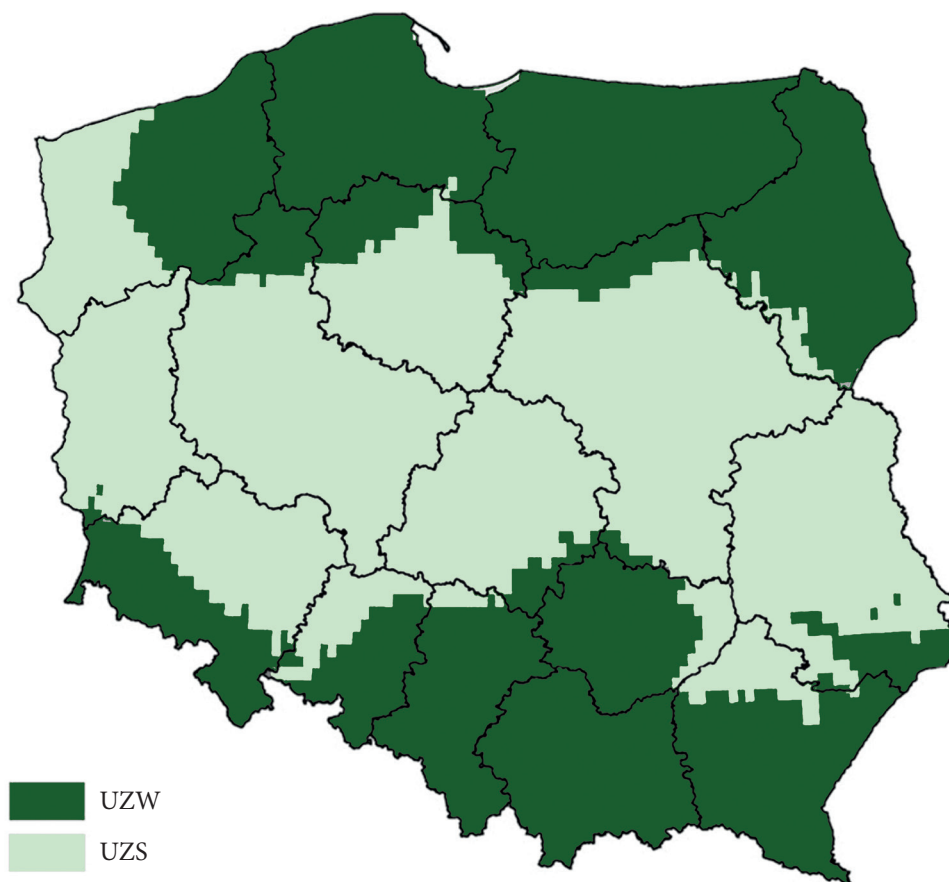
## GOSPODAROWANIE

Wszystkie praktyki rolnicze przyczyniające się do zwiększenia dopływu do gleby dużej ilości obumarłych roślin, nawozów naturalnych i międzyplonów zwiększają zawartości materii organicznej i węgla organicznego w glebach. Wzrost ten jest tym większy im chłodniejszy jest klimat, większa ilość opadów i mniej intensywne mechaniczne uprawy roli. Intensywna uprawa gleby, zwłaszcza orka, prowadzi do większego napowietrzenia gleby i zmniejsza przyrost materii organicznej. Zaś tam, gdzie pozostawiana ilość resztek poźniwnych jest mniejsza i nie stosuje się nawozów naturalnych, intensywna uprawa może prowadzić do obniżania w glebie zawartości materii organicznej i węgla.

Zawartość węgla organicznego w glebach użytków rolnych w Polsce jest bardzo zróżnicowana. Wyniki prowadzonych analiz wykazują, że waha się ona w powierzchniowych warstwach w granicach od 0,3 do 5,8% (średnio 1,2%) [Stuczyński i in. 2007]. W warstwie ornej gleb, na których uprawia się rośliny do produkcji biopaliw, średnia zawartość węgla organicznego wynosi 1,4%. Gleby o zawartości mniejszej niż 1% węgla organicznego stanowią 3,7% areалу. Uważa się, że taka zawartość znacznie pogarsza rolnicze właściwości gleb. Gleby o zawartości 1-2% węgla organicznego obejmują 89,0% areалу. Na glebach tych może, ale nie musi, występować pogorszenie ich jakości użytkowej. Gleby o zawartości większej niż 2% węgla organicznego obejmują 5,9% areалу. Na nich nie występuje ograniczenie ich jakości użytkowej.

Zawartość węgla organicznego w glebach podlega zmianom w czasie. W glebach, do których wprowadza się regularnie nawozy naturalne i resztki poźniwne, zawartości węgla rosną, a w pozbawionych dopływu materii organicznej zawartość węgla organicznego maleje.

Ocenę tych zmian w glebach, na których uprawiane są rośliny na cele paliwowe, rozpatruje się w zależności od klimatu oraz standardowej zasobności w węgiel organiczny w powierzchniowej warstwie gleby (0-30 cm). Według klasyfikacji przyjętej w decyzji Komisji Europejskiej w sprawie wytycznych dotyczących zasobów węgla organicznego w glebach wyróżniono w Polsce dwie strefy klimatyczne (rys. 3).

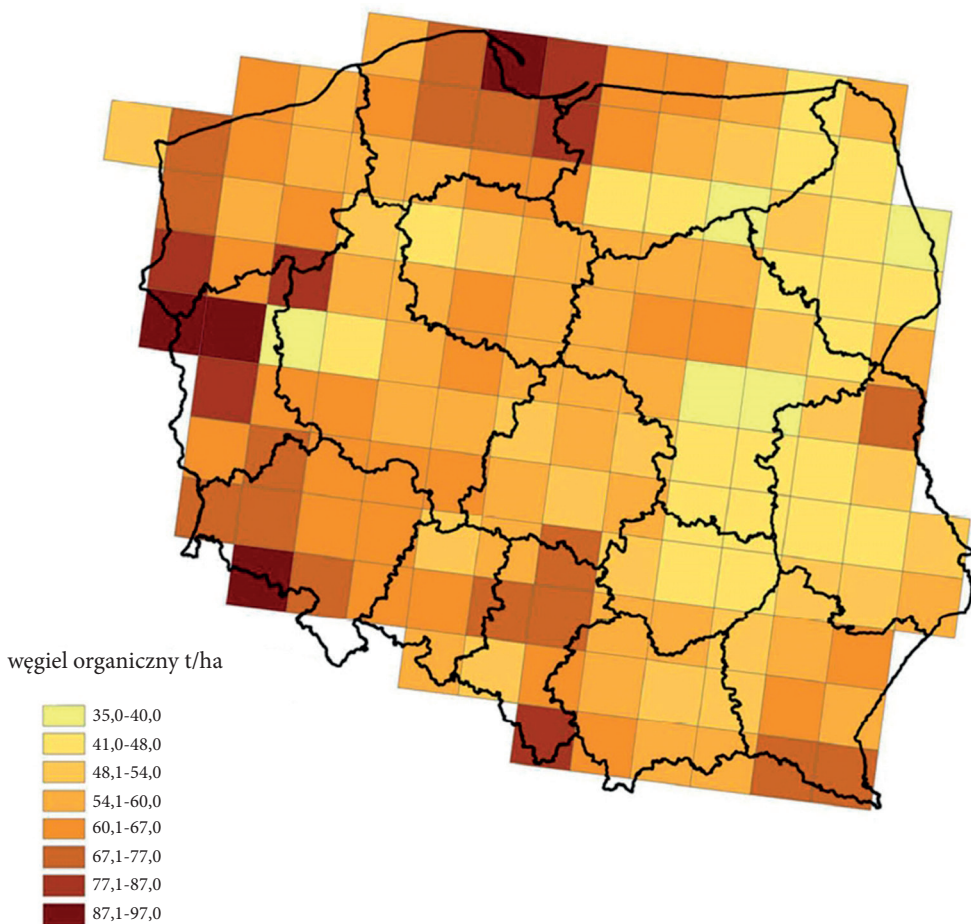


Rys. 3. Województwa zaliczone do strefy klimatycznej umiarkowanej zimnej wilgotnej (UZW) oraz umiarkowanej zimnej suchej (UZS).

Źródło: Faber i in. 2012

Pas województw centralnych został zaliczony do strefy klimatu umiarkowanego zimnego suchego, w którym standardowa zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby powinna wynosić 50 t/ha. Natomiast znaczne obszary województw na północy i południu kraju zaliczone zostały do strefy klimatu umiarkowanego zimnego wilgotnego, w którym standardowa zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby powinna wynosić 95 t/ha.

Przeprowadzone badania wskazują na znaczne, przestrzenne zróżnicowanie zasobów węgla w glebach województw leżących w poszczególnych strefach klimatycznych (rys. 4). W strefie klimatu umiarkowanego suchego zasobność węgla organicznego jest zbliżona do 50 t/ha. W strefie klimatu umiarkowanego wilgotnego zazwyczaj jest mniejsza niż 95 t/ha. Dla lepszej czytelności wyników pokazanych na rysunku 4 przedstawiono je w tabeli 1, jako średnie wartości dla poszczególnych województw.



Rys. 4. Zasoby węgla organicznego w warstwie powierzchniowej gleb (0-30 cm) wykorzystywanych do produkcji roślin na cele paliwowe (IUNG-PIB niepublikowane)

Tabela 1

Srednie aktualne i standardowe zasobności gleb w węgiel organiczny oraz straty węgla przy aktualnej strukturze zasiewów i wykorzystaniu dostępnych ilości obornika

Województwo	Strefa klimatyczna	Zasoby węgla organicznego (t/ha)		Straty węgla <sup>1/</sup> (t/ha/r)
		aktualne	standardowe	
Dolnośląskie	UZW, UZS	69	72	-0,26
Kujawsko-pomorskie	UZS	55	50	-0,03
Lubelskie	UZS	51	50	-0,13
Lubuskie	UZS	81	50	-0,19
Łódzkie	UZS	56	50	-0,05
Małopolskie	UZW	57	95	0,02
Mazowieckie	UZS	52	50	-0,03
Opolskie	UZW, UZS	60	72	-0,20
Podkarpackie	UZW	61	95	-0,15
Podlaskie	UZW	49	95	0,15
Pomorskie	UZW	70	95	-0,10
Śląskie	UZW	69	95	-0,09
Świętokrzyskie	UZW	49	95	-0,16
Warmińsko-mazurskie	UZW	60	95	0,14
Wielkopolskie	UZS	59	50	0,02
Zachodniopomorskie	UZW, UZS	69	72	-0,20

Strefa klimatyczna: UZW - umiarkowana zimna wilgotna; UZS - umiarkowana zimna sucha;

<sup>1/</sup>Kuś i Kopiński 2011

Dane zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że w województwach położonych w strefie klimatu umiarkowanego zimnego suchego zasoby węgla są większe od standardowych (50 t/ha), a straty węgla umiarkowane (-0,19 do 0,02 t/ha/r). Jeśli w tych województwach rolnik stosuje regularne nawożenie gleby nawozami naturalnymi, to nie wpłynie to na pogorszenie jej jakości. Jedynie w województwach lubelskim i lubuskim celowe jest zwiększenie ilości dostarczanego węgla, ponieważ ilości dostępnego obornika są tam zbyt małe, aby zmniejszyć straty węgla. Z drugiej zaś strony, możliwości zwiększenia ilości węgla organicznego w glebach tej strefy klimatycznej są dość ograniczone. W województwach położonych w strefie klimatu umiarkowanego zimnego wilgotnego zasobność węgla organicznego jest znacznie mniejsza niż wartość określona jako standardowa (95 t/ha). Oznacza to, że gleby te, z natury zasobniejsze w węgiel, traciły go w większych ilościach. W województwach

tej strefy, z wyjątkiem warmińsko-mazurskiego i podlaskiego, dostępne ilości obornika nie wystarczają do pokrycia strat węgla. Dlatego należałoby tam zwrócić szczególną uwagę na zwiększenie dopływu węgla do gleby, zwłaszcza w dolnośląskim, opolskim i zachodniopomorskim. W województwach tej strefy klimatycznej można oczekiwać, że efektywność zabiegów poprawiających zasobność węgla będzie większa niż w województwach położonych w strefie klimatu umiarkowanego zimnego suchego.

Przedstawione w tabeli 1 dane charakteryzują przeciętne zawartości, zasoby i straty węgla organicznego. Nie odnoszą się one do konkretnego pola czy gospodarstwa. Na ich podstawie można jedynie stwierdzić, że poprawa agrotechniki zwiększająca ich zasobność w węgiel organiczny jest niezbędna na polach:

- na których nie stosuje się regularnie nawożenia obornikiem;
- na których nie pozostawia się znacznych ilości resztek poźniwnych, podczas gdy obornik nie jest stosowany.

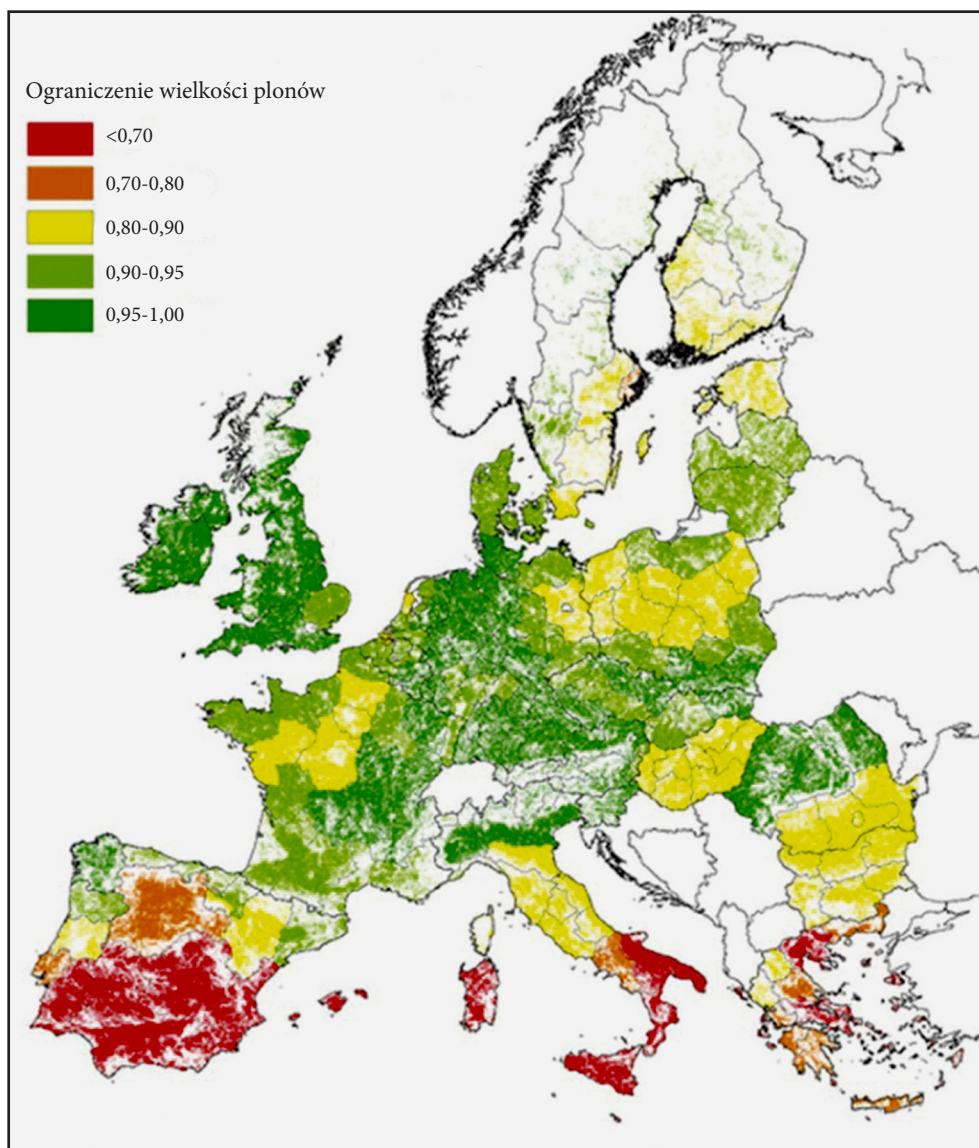
To, czy nawożenie nawozami naturalnymi wystarczy do zwiększenia zawartości węgla organicznego w glebie można oszacować, co zostanie uczynione w dalszej części poradnika. Jednak metodą godną polecenia jest regularne wykonywanie raz na 10 lat oznaczenia zawartości węgla organicznego w glebie. Porównywanie wyników takich oznaczeń w czasie dostarczy informacji, czy zawartość węgla w glebie maleje, nie ulega zmianie lub rośnie.

Pobranie próbek glebowych i wykonanie analiz na zawartość węgla organicznego w glebie warto powierzyć najbliższej położonej Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (Aneks 1).

### 4.3. SKUTKI UTRATY WĘGLA ORGANICZNEGO Z GLEB

Zmniejszenie się zawartości lub zasobu węgla organicznego w glebie prowadzi do pogorszenia się ich właściwości fizycznych i chemicznych. W Polsce może to dotyczyć ok. 42% gleb, które zawierają mniej niż 1% węgla organicznego (LUCAS 2009). Prowadzi to do wymiernych strat w plonach, które w Polsce mogą wynosić od 0-20% i są większe niż w innych krajach Europy Środkowej (rys. 5).

Z szacunku przedstawionego na rysunku 5 wynika, że straty w plonach w województwach centralnej i północno-zachodniej Polski mogą być większe niż w pozostałych (tab. 2).



Rys. 5. Ograniczenia wielkości plonów w Europie wskutek strat węgla organicznego z gleb  
(1 = 100% plonu = brak strat)

Źródło: Smart Soil 2015



Szacunkowe straty w płonach z tytułu strat w zawartości węgla organicznego w glebach

Województwo	Strefa klimatyczna	Straty w płonach (%)
Dolnośląskie	UZW, UZS	5-15
Kujawsko-pomorskie	UZS	10-20
Lubelskie	UZS	5-10
Lubuskie	UZS	10-20
Łódzkie	UZS	10-20
Małopolskie	UZW	0-10
Mazowieckie	UZS	10-20
Opolskie	UZW, UZS	5-10
Podkarpackie	UZW	0-5
Podlaskie	UZW	10-20
Pomorskie	UZW	5-20
Śląskie	UZW	0-20
Świętokrzyskie	UZW	0-20
Warmińsko-mazurskie	UZW	5-20
Wielkopolskie	UZS	10-20
Zachodniopomorskie	UZW, UZS	10-20

Źródło: Smart Soil 2015

#### 4.4. PRZECIWDZIAŁANIA UTRACIE WĘGLA ORGANICZNEGO Z GLEB

Zasobność gleb w węgiel organiczny jest efektem cyklicznych przemian, które zachodzą przy udziale mikroorganizmów glebowych. Z jednej strony mikroorganizmy mineralizują zawartą w glebie materię organiczną, z drugiej zaś z resztek organicznych tworzą nową materię organiczną. Jeśli ilość nowo tworzonej materii organicznej jest większa niż jej ilość podlegająca mineralizacji, to zasobność gleby w węgiel rośnie. Natomiast jeśli ta ilość jest mniejsza od ilości podlegającej mineralizacji, to zasobność maleje.

Cykl przemian węgla w glebie związany jest z cyklem przemian azotu. W czasie rozkładu materii organicznej węgiel dostarcza mikroorganizmom energii, zaś azot potrzebny jest do budowy ich organizmów. Jeśli wprowadzana do gleby materia organiczna ma stosunek węgla do azotu mniejszy od 30:1, to zawiera ona wystarczającą ilość azotu nie tylko dla mikroorganizmów, ale także określoną jego ilość dla roślin (tab. 3). Taka materia organiczna może być traktowana jako nawóz naturalny.

Tabela 3

Stosunki węgla do azotu w niektórych rodzajach materii organicznej wprowadzanej do gleb w celu zwiększenia ich zasobności w węgiel organiczny

Materia organiczna	Stosunek węgla do azotu	Wpływ na dostępność azotu dla roślin
Glebowa materia organiczna	10:1	Jeśli stosunek jest mniejszy od 20:1, a materia organiczna zawiera więcej niż 2% azotu, to będzie on szybko uwalniany w trakcie jej rozkładu i dostępny dla roślin.
Komposty	10-30:1	
Pomiot drobiowy	10:1	
Koniczyna, lucerna	3-10:1	
Obornik owczy	13-20:1	
Obornik bydłocy	11-30:1	
Obornik koński	22-50:1	Jeśli stosunek jest większy od 40:1, a materia organiczna zawiera mniej niż 1% azotu, to azot będzie wiązany na parę tygodni przez mikroorganizmy i niedostępny dla roślin
Zielony nawóz (żyto)	36:1	
Słoma kukurydziana	60:1	
Słoma zbóż	80:1	
Trociny	100-400:1	

Jeśli w materii organicznej stosunek węgla do azotu jest większy niż 30:1, to mikroorganizmy rozkładające ją będą korzystały z azotu w glebie, co może prowadzić do okresowego jego niedoboru dla roślin. W takim przypadku, w celu nie dopuszczenia do spadku plonów, zwiększa się dawkę azotu.

Proces przemiany materii organicznej w glebie zachodzi w krótszym i dłuższym okresie czasu. Najszybszemu rozkładowi ulega biomasa mikroorganizmów (mniej niż 3 lata). Wolniej rozkładają się resztki poźniwne (mniej niż 5 lat) i częściowo rozłożone resztki poźniwne (mniej niż 100 lat). Najwolniej zaś rozkłada się trwała materia organiczna (100 i więcej lat).

Zwiększenie zawartości węgla w glebie wymaga czasu. Można to osiągnąć dodając systematycznie materię organiczną do gleby przez okres 20 lat lub dłuższy. Mniej więcej 10-20% dodanej materii organicznej pozostanie w glebie na okres dłuższy niż 5 lat. Reszta ulegnie zmineralizowaniu. W wyniku tego procesu uwolnione zostaną składniki pokarmowe dla roślin oraz dwutlenek węgla, który trafi do atmosfery. Na tempo opisywanych przemian oprócz dodanej do gleby ilości materii organicznej, wpływa również agrotechnika (tab. 4).

Ze względu na przeciwdziałanie zmianom klimatu znaczenie mają zabiegi uprawowe wpływające na zawartość węgla organicznego w glebie w średnim i długim okresie czasu. Średniookresowo wszystkie wymienione zabiegi mają średni wpływ na zawartość węgla. Natomiast duży wpływ na jego zawartość w okresie długim mają częściowa lub całkowita eliminacja orki oraz zazielenienie pól (zmianowanie roślin, międzyplony).

Wpływ różnych zabiegów agrotechnicznych na zawartość węgla organicznego w glebie w zależności od czasu

Praktyki rolnicze	Wpływ na zawartość węgla w okresie:		
	krótkim	średnim	długim
Stosowanie nawozów naturalnych i zielonych	+++	++	+
Pozostawienie na polu resztek poźniwnych	++	++	++
Zazielenienie pól	+	++	+++
Uprawa ograniczona lub siew bezpośredni	+	++	+++

wpływ: + - mały; ++ - średni; +++ - duży

#### 4.5. EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH A ZMIANY ZAWARTOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBIE

Do produkcji dodawanego do benzyny (etyliny) bioetanolu uprawia się głównie kukurydzę i pszenicę. Natomiast rzepak uprawiany jest jako surowiec do produkcji komponentów dodawanych do oleju napędowego.

Uprawa wymienionych roślin zawsze związana jest z emisją do atmosfery pewnych ilości gazów cieplarnianych ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  oraz  $\text{N}_2\text{O}$ ). Emisję tę wyraża się w przeliczeniu na ilość dwutlenku węgla przypadającą na jednostkę energii w biopaliwie ( $\text{g CO}_2 \text{ ekwiwalenty/MJ} = \text{CO}_2 \text{ eq/MJ}$ ). Jej wielkość zależy przede wszystkim od emisji gazów cieplarnianych powstających przy produkcji nawozów mineralnych (azotowych (N), fosforowych ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) i potasowych ( $\text{K}_2\text{O}$ )), od emisji powstających wskutek stosowania azotu zawartego w nawozach mineralnych, naturalnych i resztkach poźniwnych oraz emisji związanych ze spalaniem oleju napędowego przez ciągniki rolnicze.

Wyobraźmy sobie, że rolnik uprawiał pszenicę ozimą według dwóch technologii: 1) w systemie orkowym ze zbiorem słomy oraz 2) w systemie uprawy uproszczonej z pozostawieniem całej słomy na polu w postaci mulczu. W obu systemach zastosował nawożenie według doradztwa nawozowego (N – 120,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 45 oraz  $\text{K}_2\text{O}$  – 80 kg/ha). Inne zabiegi wykonał zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi. Warunki pogodowe w okresie wegetacji były dobre, dzięki czemu uzyskał plon ziarna 8 t/ha. Wielkości emisji gazów cieplarnianych w jego uprawie przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Przykładowe emisje gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji  
w dwóch systemach uprawy pszenicy ozimej

Źródła emisji	Uprawa z orką; słoma zebrana		Uprawa uproszczona; słoma pozostawiona w postaci mulczu	
	Emisja gazów cieplarnianych			
	CO <sub>2</sub> eq/MJ	%	CO <sub>2</sub> eq/MJ	%
Olej napędowy	5,30	18	4,20	13
Produkcja N	6,67	23	6,67	21
Nawozy naturalne	-	-	-	-
Produkcja K <sub>2</sub> O	0,75	3	0,75	2
Produkcja P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,74	3	0,74	2
Produkcja pestycydów	0,18	1	0,18	1
Produkcja nasion	0,72	2	0,72	2
Stosowanie nawozów N	15,09	51	17,90	57
Emisja	29,46	100	31,18	100
Poprawa agrotechniki	0	0	-13,68	-44
Emisja ogółem	29,46	100	17,50	56
Ograniczenie emisji	0	0	13,68	44

Z przedstawionego przykładu wynika, że największy wpływ na wielkości emisji w obu systemach miało stosowanie nawozów azotowych, których udział w emisji przekraczał 50%. Pewne ograniczenie tych emisji (rzędu 3-10%) można osiągnąć stosując te nawozy w dawkach zgodnych z zaleceniami nawozowymi. Każdy producent surowców powinien o to zadbać. Można w tym celu wykorzystać internetowe doradztwo nawozowe (np. IUNG-PIB, OSCh-R) lub zlecić opracowanie porady lub planu nawozowego najbliższej okręgowej stacji chemiczno-rolniczej (OSCh-R).

Dodatkowe oszczędności mogą być związane ze zmniejszeniem zużycia oleju napędowego oraz stosowaniem zabiegów eliminujących redukcję plonów (poprawna ochrona roślin). Ma to znaczenie dlatego, że emisje są przeliczane na jednostkę energetyczną plonu. Oznacza to, że przy tym samym zużyciu środków produkcji emisje dla plonów mniejszych będą większe, zaś dla plonów większych mniejsze. Rolnik powinien więc zadbać, żeby jego technologia uprawy była zgodna z zaleceniami agrotechnicznymi, co powinno zapewnić uzyskiwanie lepszych plonów.

Największe ograniczenie emisji można osiągnąć poprzez zwiększenie zawartości węgla organicznego w glebie. W naszym przykładzie rolnik zastosował uprawę uproszczoną i pozostawił na polu całą słomę w postaci mulczu (tab. 5).

Ponieważ w słomie są zawarte pewne ilości azotu, dlatego emisja w tej uprawie wzrosła do 31,18 w stosunku do 29,46 CO<sub>2</sub> eq/MJ w uprawie orkowej ze zbiorem słomy. Jednakże zawartość węgla organicznego w glebie wzrosła o 0,23 t C/ha/r, co zmniejszyło emisję o 13,68 CO<sub>2</sub> eq/MJ. Odejmując tę ilość od wielkości emisji uzyskuje się ograniczenie emisji w tym systemie o 44%, zaś w stosunku do systemu z orką i zbiorem słomy o 41%. Podane ograniczenia emisji są na tyle duże, że zwiększenie zawartości węgla organicznego w glebie należy uważać za podstawowy i najbardziej efektywny sposób ograniczania emisji rolniczych w uprawie surowców na cele biopaliwowe. Nawet wtedy, gdy rolnik zdecyduje się dodać 6 kg N na każdą tonę pozostawionej na polu słomy, co przeciwdziałać będzie stratom plonów, oszczędności w emisji będą nadal znaczne. Wyniosą one 25% w technologii z mulczem i 23% w stosunku do technologii ze zbiorem słomy.



# 5

## WPŁYW PRAKTYK ROLNICZYCH NA ZASOBNOŚĆ WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH

Jakie praktyki rolnicze poprawiają zasobność węgla organicznego w glebach pod uprawami na cele produkcji biopaliw określa Decyzja Komisji Europejskiej z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie wytycznych dotyczących obliczania zasobów węgla organicznego w glebie do celów załącznika V do Dyrektywy 2009/28/WE. Zwraca ona szczególną uwagę na sposoby uprawy roli oraz ilości wprowadzanej do gleb materii organicznej.

### 5.1. SPOSÓB UPRAWY ROLI

Wyróżniono trzy sposoby uprawy roli:

- **Pełną uprawę** obejmującą orkę z odwracaniem skiby, wykonywaną jednorazowo lub częściej w roku uprawy. W okresie siewu na polu pozostaje mało resztek poźniwnych (mniej niż 30%). W praktyce oznacza to zbiór słomy i pozostawienie na polu jedynie ścierni.
- **Ograniczoną uprawę** polegającą na stosowaniu jednej lub dwóch orok płyt-kich, bez odwracania skiby oraz pozostawieniu na polu co najmniej 30% resztek poźniwnych.
- **Siew bezpośredni** dopuszczający minimalne zruszenie gleby podczas siewu, z herbicydową ochroną zasiewów przed chwastami.

## 5.2. ILOŚCI WPROWADZANEJ DO GLEBY SUBSTANCJI ORGANICZNEJ

Wyróżniono cztery poziomy ilości wprowadzanej do gleby materii organicznej:

- **Niski** – wynikający ze zbierania resztek poźniwnych, co powoduje pozostawienie gleby w czarnym ugorze przez pewien czas. Niski poziom może być również typowy dla upraw pozostawiających na polu mało resztek poźniwnych (np. okopowe, warzywa, tytoń) lub być efektem niestosowania nawożenia azotem oraz braku w zmianowaniach roślin wiążących azot.
- **Średni** – typowy dla upraw jednorocznych z udziałem zbóż, w których resztki poźniwne i słoma pozostają na polu. Jeśli są one zbierane to dodatkowa ilość materii organicznej jest wprowadzana do gleby, na przykład w postaci obornika.
- **Duży (bez obornika)** – jeśli stosowane są zmianowania, w których uprawiane są rośliny pozostawiające znacznie więcej resztek poźniwnych (bobowate drobnonasienne, trawy), rośliny okrywowe lub międzyplony oraz ugory utrzymywane w stanie zielonym.
- **Duży (z obornikiem)** – jeśli stosowane są zmianowania, w których uprawiane są rośliny pozostawiające znacznie więcej resztek poźniwnych (bobowate drobnonasienne, trawy), rośliny okrywowe lub międzyplony oraz ugory utrzymywane w stanie zielonym z regularnym stosowaniem obornika.

Uzyskanie poprawy w zasobności węgla organicznego w glebie wymaga systematycznego stosowania wymienionych praktyk rolniczych przez okres co najmniej 20 lat. Niedopuszczalne jest zmienianie zadeklarowanej praktyki rolniczej. Jeśli rolnik prowadzący gospodarstwo bezinwentarzowe określi, że będzie stosował uprawę ograniczoną, ze średnią ilością wprowadzanej do gleby materii organicznej, to powinien to czynić na wszystkich polach zmianowania roślin. Niedopuszczalne jest również naprzemienne stosowanie uprawy roli, na przykład uprawy uproszczonej w jednych polach zmianowania, a pełnej na innych. Z dostępnych badań wynika, że uzyskany przyrost zasobności węgla wskutek uprawy ograniczonej lub siewu bezpośredniego może być w części lub nawet w całości utracony przy powrocie do uprawy płużnej.

Decyzja Komisji Europejskiej z dnia 10 czerwca 2010 r. określa również, w jaki sposób mają być szacowane zmiany w zasobności węgla organicznego w glebach zachodzące wskutek stosowania wymienionych praktyk. Szacunki wykonane według tych zaleceń przedstawiono w rozdziałach 5.3 i 5.4.

### 5.3. WZROSTY ZASOBNOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH POŁOŻONYCH W STREFIE KLIMATU UMIARKOWANEGO ZIMNEGO SUCHEGO

Zmiany w zasobności węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby (0-30 cm) oraz roczne tempo tych zmian liczone są dla okresu dwudziestolecia w stosunku do zasobności węgla organicznego uzyskiwanej przy uprawie pełnej oraz niskim poziomie wprowadzanej do gleby materii organicznej.

Tabela 6

Wpływ praktyk rolniczych na zasobność gleb w węgiel organiczny (Z, t/ha)  
oraz roczne przyrosty tej zasobności (PZ, t/ha/r)  
w strefie klimatu umiarkowanego zimnego suchego<sup>1/</sup>

Sposób uprawy	Ilość materii organicznej wprowadzanej do gleby								
		Mała (M)		Średnia (S)		Duża (D)		Duża + obornik (Do)	
		Z	PZ	Z	PZ	Z	PZ	Z	PZ
Pełna	M	37,7	0	41,0	0,17	43,9	0,31	54,9	0,86
Ograniczona	M	38,9	0,06	42,2	0,23	45,2	0,38	56,6	0,95
Siew bezpośredni	M	41,5	0,19	45,1	0,37	48,3	0,53	60,4	1,14
Pełna	S	-	-	41,0	0	43,9	0,15	54,9	0,70
Ograniczona	S	-	-	42,2	0,06	45,2	0,21	56,6	0,78
Siew bezpośredni	S	-	-	45,1	0,21	48,3	0,37	60,4	0,97
Pełna	D	-	-	-	-	43,9	0	54,9	0,55
Ograniczona	D	-	-	-	-	45,2	0,07	56,6	0,64
Siew bezpośredni	D	-	-	-	-	48,3	0,22	60,4	0,83
Pełna	Do	-	-	-	-	-	-	54,9	0
Ograniczona	Do	-	-	-	-	-	-	56,6	0,09
Siew bezpośredni	Do	-	-	-	-	-	-	60,4	0,28

<sup>1/</sup>Szacunki wykonano zgodnie z metodyką określoną w Decyzji Komisji Europejskiej z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie wytycznych dotyczących obliczania zasobów węgla organicznego w glebie do celów załącznika V do Dyrektywy 2009/28/WE; szacunki podano dla okresu dwudziestolecia; standardowa zasobność gleb (0-30 cm) w węgiel = 50 t/ha



Zasobność gleb w węgiel organiczny w glebach położonych w strefie klimatu umiarkowanego zimnego suchego w uprawie pełnej może być większa od zasobności standardowej jedynie przy dużym dodatku materii organicznej, łączonym ze stosowaniem obornika (tab. 6). Oznacza to, że intensywne uprawy płużna przy małych, średnich i dużych (bez obornika) dodatkach materii organicznej nie zabezpieczy gleb przed stratami węgla w stosunku do wartości standardowej. Wprowadzenie uprawy ograniczonej oraz średnich i dużych dodatków materii organicznej umiarkowanie zmniejszy straty węgla. Jego roczne przyrosty mogą jednak mieć znaczenie dla szacunku emisji gazów cieplarnianych w cyklu produkcji biopaliw. Największe roczne przyrosty ilości węgla gwarantowałyby stosowanie siewu bezpośredniego oraz dużych dodatków materii organicznej łącznie z obornikiem. Agrotechnicznie jest to wariant trudny do realizacji.

Podane w tabeli 6 roczne przyrosty węgla organicznego wskutek różnych praktyk, po przemnożeniu przez wartość 3,67, dają wielkość zaoszczędzonej emisji wyrażoną w t CO<sub>2</sub>/ha/rok.

#### **5.4. WZROSTY ZASOBNOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH POŁOŻONYCH W STREFIE KLIMATU UMIARKOWANEGO ZIMNEGO WILGOTNEGO**

Efektywność poprawy zasobności węgla organicznego w glebach (warstwa 0-30 cm), wskutek zastosowania omawianych praktyk, będzie w tej strefie klimatycznej około dwukrotnie większa niż w strefie suchej (tab. 7).

Każda kombinacja uprawy oraz ilości wprowadzanej do gleby materii organicznej przyczyni się do wzrostu aktualnej zasobności gleby w ten składnik. W wyniku stosowania uprawy ograniczonej lub siewu bezpośredniego, w połączeniu z dużą ilością materii organicznej (z obornikiem), zasobność w węgiel wzrośnie do wartości większych niż wartość standardowa. Roczne tempo przyrostów węgla organicznego w glebach tej strefy klimatycznej w większym stopniu przyczyni się do ograniczenia emisji w cyklu produkcji biopaliw. Producenci biopaliw mogą być szczególnie zainteresowani pozyskaniem surowca w tej strefie, jeśli zostaną w niej zastosowane praktyki wzbogacające gleby w węgiel organiczny.

Podane w tabeli 7 roczne przyrosty węgla organicznego wskutek różnych praktyk, po przemnożeniu przez wartość 3,67, dają wielkość zaoszczędzonej emisji wyrażoną w t CO<sub>2</sub>/ha/rok.

Wpływ praktyk rolniczych na zasobność gleb w węgiel organiczny (Z, t/ha)  
oraz roczne przyrosty tej zasobności (PZ, t/ha/r)  
w strefie klimatu umiarkowanego zimnego wilgotnego<sup>1/</sup>

Sposób uprawy	Ilość materii organicznej wprowadzanej do gleby								
		Mała (M)		Średnia (S)		Duża (D)		Duża + obornik (Do)	
		Z	PZ	Z	PZ	Z	PZ	Z	PZ
Pełna	M	61,4	0	67,5	0,31	74,9	0,68	93,1	1,59
Ograniczona	M	66,9	0,28	73,5	0,61	81,6	1,01	101,5	2,01
Siew bezpośredni	M	71,2	0,49	78,2	0,84	86,8	1,27	108,0	2,33
Pełna	S	-	-	67,5	0	74,9	0,37	93,1	1,28
Ograniczona	S	-	-	73,5	0,30	81,6	0,71	101,5	1,70
Siew bezpośredni	S	-	-	78,2	0,54	86,8	0,97	108,0	2,03
Pełna	D	-	-	-	-	74,9	0	93,1	0,91
Ograniczona	D	-	-	-	-	81,6	0,33	101,5	1,33
Siew bezpośredni	D	-	-	-	-	86,8	0,60	108,0	1,66
Pełna	Do	-	-	-	-	-	-	81,6	0
Ograniczona	Do	-	-	-	-	-	-	101,5	0,42
Siew bezpośredni	Do	-	-	-	-	-	-	108,0	0,75

<sup>1/</sup>Szacunki wykonano zgodnie z metodyką określoną w Decyzji Komisji Europejskiej z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie wytycznych dotyczących obliczania zasobów węgla organicznego w glebie do celów załącznika V do Dyrektywy 2009/28/WE; szacunki podano dla okresu dwudziestolecia; standardowa zasobność gleb (0-30 cm) w węgiel = 95 t/ha

## 5.5. STOSOWANIE PRAKTYK ZWIĘKSZAJĄCYCH ZASOBNOŚĆ WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH POD UPRAWAMI DOSTARCZAJĄCYMI SUROWCE NA CELE PALIWOWE

Producenci surowców na cele produkcji biopaliw nie mają prawnego obowiązku, krajowego czy unijnego, stosowania praktyk zwiększających zasobność węgla organicznego w glebach. Decyzja o ich stosowaniu jest więc dobrowolnym wyborem, u podstaw którego mogą leżeć z jednej strony korzyści wynikające z poprawy jakości gleb i łatwiejszego zbycia surowca, z drugiej zaś względy organizacyjno-ekonomiczne w produkcji.

Mimo braku obowiązku prawnego w zakresie stosowania omawianych praktyk, w niektórych krajach firmy skupujące surowce na cele energetyczne wymagają składania oświadczenia, czy rolnik stosował lub nie stosował praktyki zwiększające zasobność węgla w glebach.

# PROBLEMY AGROTECHNICZNE ZWIĄZANE ZE STOSOWANIEM PRAKTYK ZWIĘKSZAJĄCYCH ZASOBNOŚĆ GLEB W WĘGIEL ORGANICZNY

## 6

### 6.1. GOSPODAROWANIE Z NISKĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ

Z agrotechnicznego punktu widzenia takie gospodarowanie będzie prowadziło do pogorszenia jakości gleb, a w konsekwencji do zmniejszenia produktywności roślin.

### 6.2. GOSPODAROWANIE ZE ŚREDNIĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ

Pozostawienie na polu całej ilości resztek poźniwnych i słomy może być ważne dla gospodarstw bezinwentarzowych, które nie dysponują obornikiem. Stosowanie tej praktyki wymaga rozdrobnienia resztek, równomiernego ich rozmieszczenia na polu, wprowadzenia do gleby lub pozostawienia w postaci mulczu na powierzchni oraz dodatkowego nawożenia azotem w dawce 6 kg/t resztek poźniwnych.

Ponieważ efektywne zwiększenie zawartości węgla organicznego w glebie można zapewnić jedynie poprzez wprowadzenie resztek poźniwnych w uprawie ograniczonej lub siewie bezpośrednim, to należy liczyć się z kosztami wprowadzenia tych systemów w gospodarstwie.

Pełny rachunek kosztów uwzględniający oszczędności (paliwo, składniki pokarmowe) oraz koszty (spadek plonu na początku stosowania praktyki, koszt słomy, dodatkowego zwalczania chwastów i nawożenia azotem, amortyzacja sprzętu, koszty kredytu) przedstawiono w tabeli 8.

Z przedstawionych danych wynika, że znacznie tańszym rozwiązaniem jest stosowanie uprawy ograniczonej, którą można wykonać sprzętem posiadanym w gospodarstwie. Siew bezpośredni wymaga zakupienia dość drogich siewników.

## Pełne koszty zastosowania uprawy ograniczonej i siewu bezpośredniego

Sposób uprawy	Koszt w zł/ha		
	Pszenvica	Rzepak	Kukurydza
Uprawa ograniczona	681	464	750
Siew bezpośredni	1562	1285	1891

Źródło: Madej A. (2013, niepublikowane)

Nierównomierne rozmieszczenie rozdrobnionej biomasy na powierzchni pola może utrudniać wschody nasion oraz zmniejszać efektywność ochrony herbicydowej. Zwiększenie intensywności ochrony przeciwko chwastom będzie niezbędne zwłaszcza w przypadku siewu bezpośredniego. Niekiedy stosowanie tych sposobów uprawy może prowadzić także do zwiększonego nasilenia chorób grzybowych (u zbóż np. zgorzeli podstawy źdźbła, plamistości obwódkowej (rynchosporiozy), fuzariozy kłosów). Problemem przy długim stosowaniu obu sposobów uprawy może być ugniatanie gruntu.

Pozostawianie na polu całej ilości resztek poźniwnych i słomy nie jest konieczne w gospodarstwach regularnie stosujących obornik. Praktyka ta wpływa krótko lub średnioterminowo na zawartość węgla organicznego w glebach. Dawki obornika i gnojowicy zgodnie z Dyrektywą Azotanową powinny być tak ustalone, aby wnoszona z nimi ilość azotu nie przekraczała 170 kg/ha. Oznacza to, że dawka obornika nie powinna być większa niż 40 t/ha, zaś gnojowicy niż 45 m<sup>3</sup>/rok. Zastosowanie obornika w dawce 30 t/ha raz na 3 lata na tym samym polu wzbogaci glebę w trwałą substancję organiczną zarówno w wyniku uprawy płużnej, jak i ograniczonej (tab. 6 i 7). Stosowanie obornika przy siewie bezpośrednim jest niewskazane, gdyż może prowadzić do nadmiernych strat azotu z obornika. W decyzji Komisji z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie wytycznych dotyczących obliczania zasobów węgla w ziemi do celów załącznika V Dyrektywy 2009/28/WE, stosowanie gnojowicy do zwiększenia zawartości węgla organicznego w glebie nie zostało uwzględnione.

### 6.3. GOSPODAROWANIE Z DUŻĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ BEZ STOSOWANIA OBORNIKA

Gospodarowanie z dużą ilością wprowadzanej do gleby materii organicznej bez wprowadzania obornika polega na stosowaniu praktyk wzbogacających zmianowania w rośliny pozostawiające dużo resztek poźniwnych. W Polsce przede wszystkim rośliny uprawia się w zmianowaniach. Nadmiernemu ich upraszczaniu ma zapobiec-

gać rozporządzenie Unii Europejskiej (nr 1307/2013) o obowiązku realizacji praktyki dywersyfikacji upraw oraz praktyki utrzymywania obszarów proekologicznych („zazielenianie gruntów rolnych”).

Na mocy tego rozporządzenia dywersyfikacja upraw polega na prowadzeniu w gospodarstwach 10-30-hektarowych co najmniej dwóch gatunków roślin uprawnych na danym polu, a w gospodarstwach powyżej 30 ha co najmniej trzech. Rolnicy spełniający te wymagania otrzymują określoną wysokość dopłaty bezpośredniej<sup>1/</sup>, zaś niespełniający tego warunku otrzymują dopłaty zmniejszone.

Uprawa roślin w zmianowaniu wzbogaca jakość i ilość wprowadzanych do gleby resztek poźniwnych, co ma wpływ na większą aktywność mikroorganizmów glebowych i w efekcie na wzrost ilości węgla organicznego w glebie. Najkorzystniejszy wpływ ma wprowadzenie do zmianowań roślin bobowatych w siewie czystym i mieszankach z trawami, traw oraz międzyplonów. Z dostępnych danych wynika jednak, że optymalne zmianowanie, w stosunku do uproszczonego, może przyczynić się do zwiększenia zawartości węgla organicznego w warstwie ornej gleb średnio o 0,03 t/ha/rok. Jest to więc wartość mniejsza, niż wynikałoby z danych przedstawionych w tabelach 6 i 7. Nie można potwierdzić, aby w warunkach klimatycznych Polski międzyplony lub rośliny okrywowe miały znaczący wpływ na wzbogacenie gleb w węgiel organiczny, ponieważ ich plony są zbyt niskie.

#### **6.4. GOSPODAROWANIE Z DUŻĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ ŁĄCZNIE Z OBORNIKIEM**

Gospodarowanie z dużą ilością wprowadzanej do gleby materii organicznej łącznie z obornikiem, polega na stosowaniu zmianowań wzbogacających glebę w węgiel oraz dodatkowym regularnym stosowaniem obornika.

---

<sup>1/</sup>ARiMR 2016. Instrukcja korzystania z kalkulatora w zakresie płatności za zazielenienie. Kalkulator dla płatności za zazielenienie – narzędzie pomocne rolnikowi w podjęciu decyzji produkcyjnych (<http://www.arimr.gov.pl/kalkulator-za-zazielenienie.html>).

Adresy instytucji, których zalecenia mogą być pomocne w ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych w uprawach na cele produkcji biopaliw płynnych

Instytucja	Adres	e-mail	Telefon
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB (IUNG-PIB)	24-100 Puławy ul. Czartoryskich 8	biogospodarka@iung.pulawy.pl	(81) 478 67 60
OSCh-R Białystok	15-027 Białystok ul. Ogrodowa 10	bialystok@schr.gov.pl	(85) 743 58 41
OSCh-R Bydgoszcz	85-090 Bydgoszcz ul. Powstańców Wlkp. 6	bydgoszcz@schr.gov.pl	(52) 322 32 46
OSCh-R Gdańsk	80-874 Gdańsk ul. Na Stoku 48	gdansk@schr.gov.pl	(58) 302 38 15
OSCh-R Gliwice	44-100 Gliwice Ul. Sowińskiego 26	gliwice@schr.gov.pl	(32) 231 26 31
OSCh-R Gorzów Wlkp.	66-400 Gorzów Wlkp. ul. Św. Jerzego	gorzow@schr.gov.pl	(95) 720 30 20
OSCh-R Kielce	25-112 Kielce ul. Wapiennikowa 21	kielce@schr.gov.pl	(41) 361 01 51
OSCh-R Koszalin	75-411 Koszalin ul. Partyzantów 7-9	koszalin@schr.gov.pl	(94) 343 40 38
OSCh-R Kraków	30-134 Kraków ul. Kołowa 3	krakow@schr.gov.pl	(12) 637 55 17
OSCh-R Lublin	20-810 Lublin ul. Sławinkowska 5	lublin@schr.gov.pl	(81) 742 63 01
OSCh-R Łódź	92-003 Łódź ul. Zbocze 16 A	lodz@schr.gov.pl	(42) 679 30 01
OSCh-R Olsztyn	10-444 Olsztyn ul. Kołobrzaska 11	olsztyn@schr.gov.pl	(89) 553 20 92
OSCh-R Opole	45-233 Opole ul. Oleska 123	opole@schr.gov.pl	(77) 455 60 36
OSCh-R Poznań	60-163 Poznań ul. Sieradzka 29	poznan@schr.gov.pl	(61) 868 97 51
OSCh-R Rzeszów	35-021 Rzeszów ul. Prof. L. Chmaja 3	rzeszow@schr.gov.pl	(17) 854 27 76
OSCh-R Szczecin	70-483 Szczecin ul. Wojska Pol. 117	szczecin@schr.gov.pl	(91) 422 48 68
OSCh-R Warszawa	05-075 Warszawa ul. Żółkiewskiego 17	warszawa@schr.gov.pl	(22) 773 53 21
OSCh-R Wrocław	50-244 Wrocław ul. Św. Macieja 5	wroclaw@schr.gov.pl	(71) 322 50 37

IUNG-PIB – doradztwo nawozowe, agrotechniczne, szacunki emisji gazów cieplarnianych; OSCh-R – Okręgowa Stacja-Chemiczno Rolnicza – analizy chemiczne, doradztwo nawozowe, plany nawozowe

# SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	3
2. GAZY CIEPLARNIANE I ZMIANY KLIMATU ORAZ POLITYKA ZMIERZAJĄCA DO ICH OGRANICZENIA	4
3. WYSTĘPOWANIE WĘGLA W PRZYRODZIE	6
3.1. CYKL OBIEGU WĘGLA W PRZYRODZIE	6
3.2. CYKL OBIEGU WĘGLA ORGANICZNEGO W PRZYRODZIE	7
3.3. ZASOBY WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBIE A ZMIANY KLIMATU	8
4. WĘGIEL ORGANICZNY A ROLNICTWO	9
4.1. ZNACZENIE WĘGLA ORGANICZNEGO W ROLNICTWIE	9
4.2. ZAWARTOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH	11
4.3. SKUTKI UTRATY WĘGLA ORGANICZNEGO Z GLEB	15
4.4. PRZECIWDZIAŁANIA UTRACIE WĘGLA ORGANICZNEGO Z GLEB	17
4.5. EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH A ZMIANY ZAWARTOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBIE	19
5. WPŁYW PRAKTYK ROLNICZYCH NA ZASOBNOŚĆ WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH	22
5.1. SPOSÓB UPRAWY ROLI	22
5.2. ILOŚCI WPROWADZANEJ DO GLEBY SUBSTANCJI ORGANICZNEJ	23
5.3. WZROSTY ZASOBNOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH POŁOŻONYCH W STREFIE KLIMATU UMIARKOWANEGO ZIMNEGO SUCHEGO	24
5.4. WZROSTY ZASOBNOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH POŁOŻONYCH W STREFIE KLIMATU UMIARKOWANEGO ZIMNEGO WILGOTNEGO	25
5.5. STOSOWANIE PRAKTYK ZWIĘKSZAJĄCYCH ZASOBNOŚĆ WĘGLA ORGANICZNEGO W GLEBACH POD UPRAWAMI DOSTARCZAJĄCYMI SUROWCE NA CELE PALIWOWE	26
6. PROBLEMY AGROTECHNICZNE ZWIĄZANE ZE STOSOWANIEM PRAKTYK ZWIĘKSZAJĄCYCH ZASOBNOŚĆ GLEB W WĘGIEL ORGANICZNY	27
6.1. GOSPODAROWANIE Z NISKĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ	27
6.2. GOSPODAROWANIE ZE ŚREDNIĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ	27
6.3. GOSPODAROWANIE Z DUŻĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ BEZ STOSOWANIA OBORNIKA	28
6.4. GOSPODAROWANIE Z DUŻĄ ILOŚCIĄ WPROWADZANEJ DO GLEBY MATERII ORGANICZNEJ ŁĄCZNIE Z OBORNIKIEM	29