

MACIEJ ZWYDAK, EWA BŁOŃSKA, JAROSŁAW LASOTA

Akumulacja węgla organicznego w glebach różnych typów siedlisk leśnych*

Organic carbon accumulation in soil of different forest site types

ABSTRACT

Zwydak M., Błońska E., Lasota J. 2017. Akumulacja węgla organicznego w glebach różnych typów siedlisk leśnych. Sylwan 161 (1): 62-70.

The objective of the paper was to estimate i) the carbon accumulation in soils of different forest site types as well as ii) its changes with regard to the depth of the soil profile. The investigation was carried out in the Przedbórz Forest District (central Poland) on 43 study plots, including different forest sites – fresh coniferous forest (Bśw), fresh mixed coniferous forest (BMśw), fresh mixed broadleaved forest (LMśw) and fresh broadleaved forest (Lśw). On each plot soil pits were dug and samples for laboratory analysis were collected. The following characteristics were determined in the soil samples: pH, the content of organic C and total N, particle-size distribution, the content of exchangeable Ca, Mg, Na and K, and hydrolitic acidity. The obtained results demonstrated that soils of Bśw, BMśw and LMśw sites characterized by higher carbon accumulation in surface horizon to 50 cm depth compared to the most eutrophic sites (Lśw). The rate of carbon accumulation in forest soils depend on the humus type which is connected with species composition of stands. Domination of Scots pine in stand affects the formation of ectohumus and leads to higher C accumulation in surface horizons on Bśw, BMśw and LMśw sites. In soils of Bśw, BMśw and LMśw sites carbon stored in the horizons to 50 cm constitutes 64-94% of the total carbon accumulated, while on the eutrophic sites (Lśw) this share amounts to 39-72%. The value of the total carbon stock in soils of fresh forest sites can be estimated on the basis of carbon stock in horizons to 50 cm depth.

KEY WORDS

soil organic matter, carbon stock in soils, forest soil properties, type of forest site

ADDRESSES

Maciej Zwydak – e-mail: rlzwydak@cyf-kr.edu.pl

Ewa Błońska – e-mail: e.blonska@ar.krakow.pl

Jarosław Lasota – e-mail: rllasota@cyf-kr.edu.pl

Zakład Gleboznawstwa Leśnego, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

Zagadnienie akumulacji węgla organicznego często poruszane jest obecnie w badaniach naukowych. W obiegu węgla na Ziemi gleba jest najważniejszym jego ogniwem. Szacuje się, że węgiel zawarty w glebach stanowi 75% całkowitej puli węgla organicznego i dwukrotnie przewyższa zasoby węgla zawartego w atmosferze [Farquhar i in. 2001]. Możliwość zwiększania puli węgla

*Praca finansowana w ramach projektu badawczego nr NN309297534 „Ocena żyzności świeżych siedlisk niżowych w oparciu o właściwości biofizykochemiczne gleb leśnych”.

związanego w ekosystemach lądowych uważa się za narzędzie przydatne do ograniczania emisji dwutlenku węgla do atmosfery oraz zapobiegania ocieplaniu się klimatu [Dorrepaal i in. 2009; Fornara i in. 2011]. Spośród ekosystemów lądowych największą akumulacją węgla organicznego odznaczają się ekosystemy leśne. Węgiel organiczny gromadzi się tutaj w biomacie drzew, krzewów, roślinności zielnej oraz w profilu glebowym. Wielkość akumulacji węgla organicznego, który związany jest w glebach całej kuli ziemskiej, szacuje się na około 1240 Pg [Van-Camp i in. 2004]. W glebach różnych ekosystemów największa akumulacja węgla organicznego występuje w poziomach powierzchniowych, co związane jest z dostarczaniem szczątków organicznych zarówno pochodzących z części nadziemnych roślin i zwierząt, jak i systemów korzeniowych oraz organizmów żyjących bezpośrednio w glebie. Tylko część materii organicznej docierającej wraz z szczątkami organizmów do gleby zostaje przetworzona na swoiste związki próchniczne dość trwale związane w glebie. Duża jej część zostaje wykorzystana jako źródło energii dla organizmów glebowych, a pewna część (mimo zachodzenia procesów humifikacji) jest wymywana do głębokich poziomów gleby oraz wód gruntowych poza zasięg oddziaływania systemów korzeniowych. Wielkość akumulacji węgla organicznego w glebie zależy od rodzaju szaty roślinnej i typu próchnicy glebowej. Typ próchnicy glebowej pozostaje z kolei w ścisłym związku z warunkami siedliskowymi, które wpływają na kształtowanie się składu gatunkowego i struktury szaty roślinnej, jak również determinują kierunek zachodzących w glebie procesów glebotwórczych [Lasota, Błosińska 2013].

W przeprowadzonych badaniach postawiono hipotezę, że zróżnicowane warunki siedliskowe mają wpływ na akumulację węgla organicznego w glebie. Można przypuszczać, że najbogatsze siedliska lasowe poprzez sprawny i szybki rozkład materii organicznej nie stwarzają korzystnych warunków do akumulacji węgla organicznego w profilu glebowym, zwłaszcza w powierzchniowych poziomach. W pracy przeanalizowano zapas węgla w obrębie dominujących w niżowej części Polski zróżnicowanych troficznie świeżych typów siedliskowych lasu oraz występujących w nich typów gleb. Zbadano również, jak kształtuje się akumulacja węgla w zależności od uwzględnionej głębokości profilu glebowego.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono w Nadleśnictwie Przedbórz (RDLP Łódź), gdzie zlokalizowano 43 wzorcowe powierzchnie typologiczne reprezentujące 4 dominujące w obszarach niżowych typy siedliskowe lasu: Bśw, BMśw, LMśw oraz Lśw. Wykorzystane w badaniach wzorcowe powierzchnie typologiczne cechowały się zgodnym z warunkami siedliskowymi składem gatunkowym drzewostanu oraz typową dla tych siedlisk szatą roślinną runa leśnego. Na każdej powierzchni wykonano głęboką (do 150 cm) odkrywkę glebową, z której pobrano próbki glebowe do oznaczeń podstawowych właściwości fizykochemicznych niezbędnych do określenia typu siedliskowego lasu. Z poziomów próchnicznych pobrano próbki zbiorcze. Na każdej powierzchni badawczej wykonano pomiar drzewostanu oraz spis roślinności runa metodą Brauna-Blanqueta. Analizy gleby przeprowadzono zgodnie z wytycznymi kartowania siedlisk [Instrukcja... 2012]. Oznaczano następujące właściwości gleb: uziarnienie – metodą areometryczną, pH – metodą potencjometryczną w 1M roztworze KCl i w H₂O, zawartość węgla organicznego (Corg) i azotu ogólnego (Nog) autoanalizatorem LECO CNS. Wymienne formy Ca, Mg, K i Na oznaczono techniką absorpcji atomowej w wyciągu 1M octanu amonu o pH 7,0. Kwasowość hydrolityczną określono metodą Kappena. Gęstość objętościową oznaczono metodą suszarkowo-wagową na próbkach o nienaruszonej strukturze. Ustalone właściwości posłużyły do obliczenia wskaźnika żyzności siedlisk – SIG [Brożek i in. 2011].

Zapas węgla organicznego [kg/m²] obliczano na podstawie jego całkowitej zawartości w poszczególnych poziomach genetycznych gleb według wzoru:

$$Czap = (C \cdot D \cdot m) / 10$$

gdzie:

C – zawartość węgla organicznego w danym poziomie genetycznym [%],

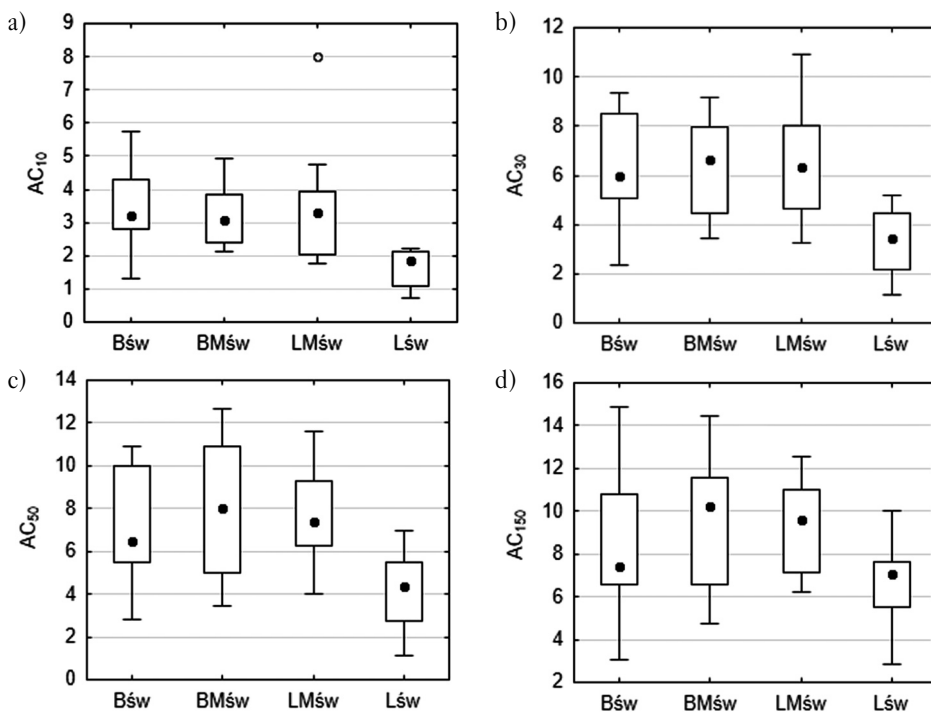
D – gęstość objętościowa gleby w danym poziomie [g/cm³],

m – miąższość danego poziomu genetycznego [cm].

W każdej z analizowanych gleb obliczono całkowity zapas węgla organicznego w słupie gleby o przekroju 1 m² i głębokości 10, 30, 50 oraz 150 cm od powierzchni jako sumę zapasów w kolejnych poziomach genetycznych występujących do tej głębokości.

Wyniki

Analizowane gleby różnych typów siedliskowych lasu charakteryzuje duża zmienność zapasu węgla w powierzchniowych poziomach genetycznych. W poziomach genetycznych do głębokości 10 cm od powierzchni gleby zapas węgla organicznego w glebach borów świeżych waha się w zakresie od 1,3 do 5,7 kg/m², a mediana wynosi 3,2 kg/m² (ryc. 1a). Na siedliskach BMśw i LMśw zapas Corg w tak płytkiej warstwie jest zbliżony (mediana wynosi 3,1 i 3,3 kg/m²), przy nieco mniejszej zmienności (zakresy wartości nieodstających wynoszą odpowiednio 2,1-4,9 i 1,8-4,8 kg/m²)



Ryc. 1.

Zapas węgla organicznego [kg/m²] w słupie gleby o przekroju 1 m² i głębokości 10 (a), 30 (b), 50 (c) oraz 150 cm (d) w typach siedlisk leśnych

Organic carbon storage [kg/m²] in soil column of 1 m² cross-section and depth of 10 (a), 30 (b), 50 (c) and 150 cm (d) with regard to forest site types

(ryc. 1a). Drugi wariant obliczeniowy, uwzględniający poziomy genetyczne do 30 cm od powierzchni, obejmuje zapas węgla zakumulowany w poziomach organicznych, poziomie próchniczno-mineralnym oraz części poziomu wzbogacenia. Przy takim podejściu gleby siedlisk Bśw, BMśw oraz LMśw wykazują zbliżone przeciętne zapasy Corg (mediana wynosi odpowiednio 6,0, 6,6 oraz 6,3 kg/m²), a zakres zmienności badanej cechy jest bardzo duży i wynosi 2,3-9,4 kg/m² dla siedlisk Bśw, 3,4-9,2 kg/m² dla BMśw oraz 3,3-10,9 kg/m² dla LMśw (ryc. 1b). Podobnie jak w przypadku zapasu dla poziomu 0-10 cm, zapas Corg gleb Lśw jest około dwukrotnie niższy od zapasu stwierdzonego na pozostałych siedliskach i wynosi 1,1-5,2 kg/m² (przeciętnie 3,4 kg/m²). Zapas Corg w glebie do głębokości 50 cm odzwierciedla akumulację węgla bliższą akumulacji całkowitej w profilu glebowym, obejmuje bowiem całe poziomy wzbogacenia, poniżej których występują z reguły niewielkie ilości Corg. Tak obliczony zapas Corg w obrębie siedlisk Bśw, BMśw oraz LMśw nie różnicuje ich istotnie, jeżeli natomiast uwzględni się wartość mediany zapasu, w glebach siedlisk BMśw oraz LMśw zaznacza się tendencja do wzrostu obliczonego parametru (mediana zapasu Corg wynosi tu odpowiednio 8,0 oraz 7,4 kg/m², podczas gdy na siedliskach Bśw wynosi 6,5 kg/m²) (ryc. 1c). Zapas Corg w glebach najbogatszych siedlisk obliczony do głębokości 50 cm waha się w dosyć szerokim zakresie (1,1-7,0 kg/m²), a średnia zawartość (4,2 kg/m²) jest istotnie niższa od stwierdzonej w pozostałych glebach analizowanych typów siedlisk. Zapas Corg uwzględniający cały słup gleby do 150 cm jest również silnie zróżnicowany w glebach analizowanych typów siedlisk. Zaznacza się tutaj jednak wyraźny wzrost akumulacji węgla w glebach siedlisk mezotroficznych (BMśw oraz LMśw), gdzie wartości mediany osiągają najwyższe wartości (odpowiednio 10,2 i 9,6 kg/m²). Na siedliskach najuboższych (Bśw) zapas Corg waha się w szerokim zakresie (3,1-14,9 kg/m²), ale przeciętnie jest znacznie niższy niż na siedliskach BMśw i LMśw (mediana 7,4 kg/m²). Podobnie niską przeciętną akumulację Corg w słupie 150 cm wykazują gleby Lśw (mediana 7,1 kg/m²), przy zbliżonym zakresie jak w glebach Bśw (2,9-10,0 kg/m²) (ryc. 1d).

Zapas Corg dla głębokości 10, 30 i 50 cm jest ujemnie skorelowany z wartością indeksu SIG, jednak uzyskane wskaźniki korelacji przyjmują niskie wartości (R od -0,32 do -0,34). Zapas Corg określony dla głębokości 10, 30 i 50 cm jest istotnie ujemnie skorelowany z całkowitym zasobem cząstek o średnicy <0,02 mm (R od -0,39 do -0,41) oraz zasobem kationów zasadowych (R od -0,40 do -0,43). Nie wykazuje natomiast związku z całkowitą kwasowością odniesioną do zasobu cząstek spławianych oraz parametru N²/C w pierwszym poziomie mineralno-próchnicznym. Obliczony zapas Corg wykazuje dodatnią korelację z zawartością węgla w pierwszym poziomie genetycznym i w poszczególnych wariantach obliczeniowych wartości dla poszczególnych głębokości są z sobą skorelowane. Zapas określony dla poziomów powierzchniowych do 30 cm jest silnie skorelowany z zapasem określonym dla 50 cm, zaś zapas obliczony dla miąższości 150 cm wyraźnie koreluje z zapasem obliczonym do głębokości 50 cm (tab., ryc. 2).

Rycina 3 obrazuje wielkość akumulacji Corg w różnych typach gleb towarzyszących różnym typom siedliskowym lasu. W wyodrębnionych grupach gleb widać dosyć dużą rozpiętość zapasu Corg do głębokości 50 cm, niemniej przeciętny zapas określony wartością mediany jest najwyższy w glebach bielcowych (prawie 10 kg/m²). Gleby rdzawe charakteryzują się równie zróżnicowanym zapasem Corg, który przeciętnie jest niższy niż w glebach bielcowych (mediana na poziomie 6-7,5 kg/m²). Mniejszą akumulację stwierdzono w glebach brunatnych, płowych oraz opadowoglejowych, gdzie przeciętnie zgromadziło się od 4 do niespełna 5 kg/m² Corg (ryc. 3a). Jeżeli uwzględni się zapas do 150 cm, relacje zapasu z procesem glebotwórczym ulegają pewnemu rozmyciu, a różnice wartości median zapasu Corg w analizowanej grupie gleb stają się mniejsze (ryc. 3b).

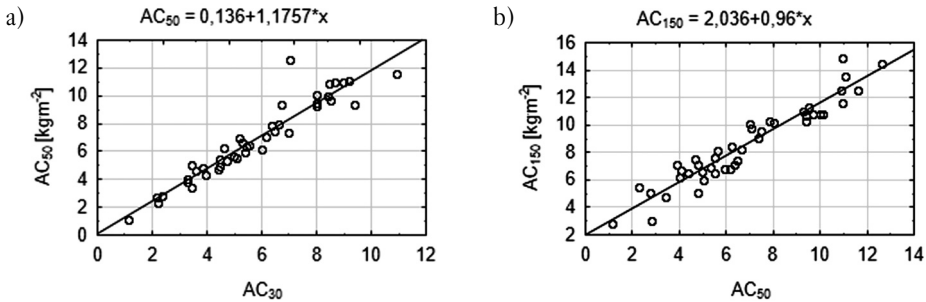
Tabela.

Współczynniki korelacji między zasobami węgla organicznego w słupie gleby o przekroju 1 m² i głębokości 10, 30, 50 i 150 cm (odpowiednio AC₁₀, AC₃₀, AC₅₀ i AC₁₅₀) a siedliskowym indeksem glebowym (SIG), zapasem frakcji <0,02 mm (Czsp), zapasem kationów zasadowych (Sz), stosunkiem całkowitej kwasowości do zapasu frakcji <0,02 mm w słupie gleby o przekroju 1 m² i głębokości 1,5 m (Yp) oraz proporcją zawartości azotu ogółem do wartości stosunku C/N w pierwszym poziomie mineralno-próchnicznym (Np)

Correlation coefficients between organic carbon storage in soil column 1m² cross-section and depth of 10, 30, 50 and 150 cm (AC₁₀, AC₃₀, AC₅₀ i AC₁₅₀ respectively) and soil trophic index (SIG), supply of \varnothing<math><0,02</math> mm fraction (Czsp), base cations supply (Sz), ratio of acidity to fraction supply \varnothing<math><0,02</math> mm in soil column of 1 m² cross-section and 1,5 m depth (Yp) as well as ratio nitrogen content to C/N ratio in first humus-mineral horizon (Np)

	SIG	Czsp	Sz	Yp	Np	AC ₃₀	AC ₅₀	AC ₁₅₀
AC ₁₀	-0,34*	-0,41*	-0,42*	0,04	-0,26	0,86*	0,79*	0,72*
AC ₃₀	-0,32*	-0,41*	-0,43*	0,03	-0,20		0,95*	0,88*
AC ₅₀	-0,33*	-0,39*	-0,40*	0,02	-0,22			0,95*
AC ₁₅₀	-0,10	-0,16	-0,22	-0,06	-0,09			

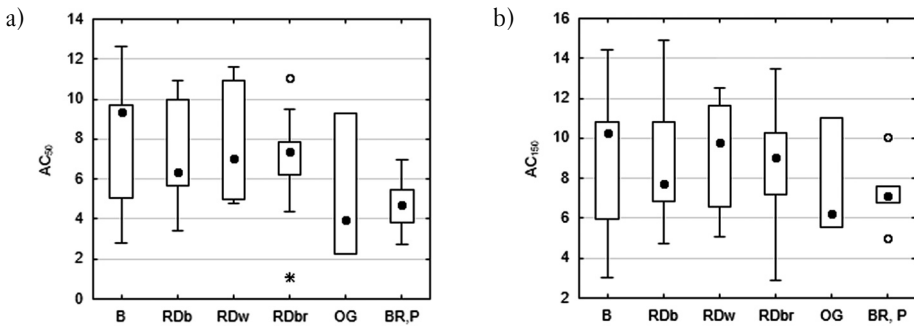
* istotne dla p<0,05; significant at p <0.05



Ryc. 2.

Zależność między zapasem węgla organicznego [kg/m²] w słupie gleby o przekroju 1 m² i głębokości 30 i 50 cm (a) oraz 50 i 150 cm (b)

Relationship between organic carbon storage [kg/m²] in soil column of 1 m² cross-section and depth of 30 and 50 cm (a) and 50 and 150 cm (b)



Ryc. 3.

Zapas węgla organicznego [kg/m²] w słupie gleby o przekroju 1 m² i głębokości 50 (a) oraz 150 cm (b) w zależności od typu gleby

Organic carbon storage [kg/m²] in soil column of 1 m² cross-section and depth of 50 (a) and 150 (b) cm with regard to soil type

B – gleby bielcowe, RDdb – rdzawe bielcowe, RDw – rdzawe właściwe, RDbr – rdzawe brunatne, OG – opadowoglejowe, BR, P – gleby brunatne i płowe
 B – Podzols, RDdb – Albic Brunic Arenosols, RDw – Haplic Brunic Arenosols, RDbr – Cambic Brunic Arenosols, OG – Stagnosols, BR, P – Cambisols and Luvisols

Dyskusja

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono zróżnicowaną akumulację węgla w glebach w poziomach do 50 cm. Siedliska Lśw różniły się od pozostałych wyróżnianych na niżu typów siedlisk (Bśw, BMśw i LMśw). Najmniejsza akumulacja Corg w glebach siedlisk Lśw jest bez wątpienia wynikiem sprawnego obiegu materii organicznej i szybkiego rozkładu szczątków dostarczanych do gleby. Powstająca w wyniku tych procesów dobrze rozłożona próchnica glebowa ma postać endopróchnicy powiązanej z cząstkami mineralnymi głębszych poziomów glebowych. Na powierzchni gleb tych siedlisk nie tworzy się ektopróchnica. Na pozostałych badanych siedliskach na powierzchni gleby akumuluje się różnej grubości warstwa organiczna określana mianem ektopróchnicy, która jest efektem powolnych przemian materii organicznej. Przekłada się to na wyższą akumulację węgla organicznego, którą w świetle uzyskanych wyników można określić jako przeciętną; na poziomie 6-8 kg Corg w słupie gleby o powierzchni 1 m² do głębokości 50 cm. Na siedliskach oligo- i mezotroficznym akumulacja Corg jest w przybliżeniu dwukrotnie wyższa od stwierdzonej na siedlisku Lśw. Pewnym zaskoczeniem jest bardzo zbliżony zapas węgla do 50 cm w glebach siedlisk LMśw i na siedliskach borowych. Na siedliskach Bśw i BMśw powstająca próchnica jest bardzo podobna i przyjmuje postać grubej butwiny, natomiast na siedlisku LMśw stwierdza się niewielkiej grubości ektopróchnicę w postaci kilkucentymetrowego poziomu Ofh, charakterystycznego dla próchnicy typu moder. Prawdopodobną przyczyną tak wysokiej akumulacji Corg w glebach siedlisk LMśw jest duży udział sosny (gatunku, który panuje na siedliskach borowych). Na analizowanych powierzchniach w LMśw sosna z udziałem 40-70% stanowiła gatunek współpanujący z dębem szypułkowym, a gatunki domieszkowe (brzoza, świerk, buk oraz jodła) występowały pojedynczo. Nie stwierdzono natomiast gatunków takich jak grab, klon pospolity, jawor i lipa drobnolistna, stanowiących cenne gatunki pielęgnujące glebę, znane z dostarczania wyjątkowo wartościowej materii organicznej stymulującej rozkład i przemiany glebowej materii organicznej. W literaturze można spotkać szereg doniesień na temat pozytywnego wpływu biomasy dostarczanej przez te gatunki oraz ich wydzielin korzeniowych na tempo przemian glebowej materii organicznej [Janssens i in. 2002; Baldrian, Šnajdr 2011; Błońska i in. 2016]. Nie jest wykluczone, że obecność takich gatunków w dolnych partiach drzewostanu spowodowałaby, wraz ze zmniejszeniem się udziału sosny w drzewostanie, przyspieszenie rozkładu materii organicznej i siedliska LMśw upodobniłyby się pod względem zapasu Corg do siedlisk Lśw. Jeżeli założy się, że proces zwiększania zapasu Corg w glebach leśnych jest z punktu widzenia zapobiegania emisji dwutlenku węgla do atmosfery procesem priorytetowym, to efekt oddziaływania domieszek pielęgnacyjnych należałoby traktować jako efekt niepożądany. Zagadnienie to jest jednak dyskusyjne. Obecnie, gdy ustala się typ lasu nawiązujący do potencjalnej roślinności naturalnej, na siedliskach LMśw jedną z możliwości jest dążenie do odtworzenia drzewostanu grabowo-dębowego nawiązującego do składu gatunkowego, jaki jest właściwy dla grądu subkontynentalnego (*Tilio-Carpinetum calamagrostietosum*) [Siedliskowe... 2004]. Dla zapewnienia wzrastającej akumulacji Corg w glebie racjonalne wydaje się dążenie do utrzymania odpowiednio dużego udziału sosny w składzie gatunkowym drzewostanu i hodowli drzewostanów sosnowo-dębowych z umiarkowanym udziałem gatunków pielęgnacyjnych. Wpływ sosnowego drzewostanu na wzrost akumulacji Corg w glebach na różnym podłożu geologicznym został wykazany w badaniach Błońskiej i in. [2016].

Spośród analizowanych wariantów obliczeniowych określenie zapasu Corg w glebach siedlisk świeżych do głębokości 150 cm daje wynik zbliżony do całkowitej akumulacji węgla w środowisku glebowym. W analizowanych glebach poziom wzbogacenia w większości przypadków

badanych gleb zalegał do głębokości około 50-60 cm, a poziomy leżące poniżej zawierały niewielkie ilości węgla organicznego. Zapas Corg do głębokości 30 cm był wyraźnie niższy od akumulacji do 50 cm, przy czym obliczone wartości były ze sobą bardzo silnie skorelowane i związane funkcją liniową. Z prezentowanych badań wynika, że zapas do 50 cm stanowi 64-94% całkowitej akumulacji Corg w glebach siedlisk Bśw, BMśw i LMśw, a na siedliskach Lśw ten odsetek jest nieco mniejszy (39-72%). Znając relację wielkości zapasu Corg w różnych głębokościach, można obliczyć zapas całkowity na podstawie zapasu stwierdzonego w płytszej warstwie gleby. Na podstawie zapasu Corg występującego do 30 cm można z dużą dokładnością obliczyć zapas występujący do 50 cm, natomiast jeżeli dysponuje się zapasem do 50 cm w profilu glebowym, można określić rozmiar zapasu całkowitego (do 150 cm) na podstawie uzyskanych w niniejszych badaniach zależności liniowych (ryc. 2). Zapas Corg obliczony dla warstwy do 10 cm stanowi 18-64% całkowitego zapasu w glebie, więc próba oszacowania na jego podstawie zapasu całkowitego obarczona będzie stosunkowo dużym błędem. Jednak w badaniach środowiskowych czy ekologicznych niejednokrotnie wysuwa się poważne wnioski dotyczące gleby, analizując zaledwie jej powierzchniowe poziomy genetyczne (do 10 czy 15 cm). W przypadku badań akumulacji Corg w glebie konieczne jest uwzględnianie również poziomów głębiej zalegających.

Innym, poza składem gatunkowym, czynnikiem warunkującym tempo i rozmiar akumulacji Corg w glebie jest kierunek procesów glebotwórczych – silnie związany z rodzajem podłoża skalnego, jak i z rodzajem siedliska. Wśród badanych gleb największą średnią akumulację Corg stwierdzono w glebach bielicowych, które odznaczają się stosunkowo wysoką zawartością tego pierwiastka w poziomach wzbogacenia. Gleby rdzawe, licznie reprezentowane w próbie badawczej, wykazały bardzo silne zróżnicowanie rozmiaru akumulacji Corg. Dotyczy to zwłaszcza podtypów uboższych (RDb, RDw), częściej spotykanych na siedliskach borowych. Najbogatszy podtyp – gleby rdzawe brunatne – okazały się pod względem wartości średnich Corg w poziomach do 50 cm nieco zasobniejsze w węgiel organiczny, co może być wynikiem wpływu zarówno głębszych poziomów akumulacji próchnicy w tych glebach, jak również wyższej koncentracji węgla w poziomach wzbogacenia tych gleb. Uwzględnienie miąższości do 150 cm dało nieco inne rezultaty, co wynikało z różnej zasobności i uziarnienia głębokich poziomów BC-C. Z reguły wyższa zasobność głębokich poziomów w il oraz pył owocuje wzrostem akumulacji Corg w tych poziomach. Na znaczenie tych głębokich poziomów dla akumulacji węgla, a także w tworzeniu zróżnicowanych troficznie siedlisk zwracano już uwagę we wcześniejszych pracach [Zwydak i in. 2008; Lasota, Błońska 2014]. Najbogatsza grupa gleb brunatnych oraz płowych związanych z siedliskami Lśw charakteryzuje się średnio o połowę niższą akumulacją Corg w poziomach do 50 cm aniżeli stwierdzona w profilu gleb bielicowych oraz rdzawych, w strefie, gdzie uwidaczniają się najważniejsze różnice związane z procesami glebotwórczymi. Stwierdzone prawidłowości dotyczą jednak wyłącznie siedlisk świeżych w wariancie umiarkowanym lub rzadziej świeżym. Należy się liczyć z tym, że w miarę wzmaganie się wpływu wody na kształtowanie warunków siedliskowych akumulacja węgla będzie zwiększać się za sprawą powstawania poziomów murszastych, murszowych, a nawet torfowych występujących w glebach siedlisk wilgotnych oraz bagiennych [Zwydak i in. 2008; Lasota, Błońska 2013].

Obliczone wartości zapasu Corg są stosunkowo słabo związane z wartością siedliskowego indeksu glebowego (SIG). Ujemna korelacja tych cech jest wprawdzie istotna statystycznie, jednak wskaźniki korelacji nie są wysokie. Wynika to z faktu, że tylko dwa z czterech parametrów decydujących o wartości końcowej wskaźnika SIG są powiązane z wielkością obliczonego zapasu Corg. W badaniach wykazano istotną ujemną korelację zapasu węgla do głębokości 50 cm z całkowitym zasobem cząstek o średnicy $<0,02$ mm oraz zasobem kationów zasadowych. Wyższa zasob-

ność powierzchniowych poziomów gleby w drobne frakcje oraz zasadowe kationy wymienne stymuluje intensywność przemian biochemicznych oraz poprawia stopień rozkładu materii organicznej. Potwierdziły to wcześniejsze badania autorów niniejszej pracy [Błońska i in. 2016]. W głębszych poziomach profilu wyższa zawartość frakcji spławialnych może przyczyniać się do podwyższania akumulacji Corg, prawdopodobnie za sprawą zmniejszania strat Corg wypłukiwanego z poziomów powierzchniowych. O znaczeniu tych procesów dla kształtowania się zapasu Corg w glebach leśnych pisali Ostrowska i in. [2010]. Zapas Corg nie wykazuje natomiast bezpośredniego związku z całkowitą kwasowością przeliczoną na jednostkę frakcji spławialnych oraz parametru N^2/C w pierwszym poziomie mineralno-próchnicznym. Ujemna korelacja wskaźnika SIG z zapasem Corg potwierdza wyniki badań uzyskane przez Degórskiego [2005] oraz Kondrasa i in. [2012], którzy stwierdzili występowanie ujemnej korelacji pomiędzy żyznością siedlisk a zapasem Corg w glebach leśnych. Wójcik [2013], porównując zasoby Corg w poziomach mineralnych gleb różnych siedlisk świeżych, stwierdził, że wzrastają one zgodnie z gradientem żyzności – od Bśw poprzez BMśw aż do LMśw (średnia zasobność Corg odpowiednio 5,09, 6,36 i 7,57 kg/m²). Na siedliskach Lśw zasobność jest podobna do tej występującej na siedlisku LMśw (przeciętnie 7,49 kg/m²) [Wójcik 2013].

Wnioski

- ✦ Gleby siedlisk Bśw, BMśw oraz LMśw charakteryzują się istotnie wyższą akumulacją Corg w powierzchniowych poziomach do 50 cm niż gleby eutroficznych siedlisk Lśw. Porównanie akumulacji w całym profilu gleby do 150 cm wskazuje na wyższą akumulację Corg w glebach siedlisk średnio żyznych (BMśw i LMśw) w stosunku do gleb siedlisk najuboższych i najbogatszych.
- ✦ Rozmiar akumulacji Corg w glebach leśnych zależy od rodzaju powstającej próchnicy glebowej pozostającej w ścisłym związku ze składem gatunkowym drzewostanu oraz kierunkiem procesu glebotwórczego.
- ✦ Dominacja lub współpanowanie sosny w drzewostanie wiąże się z powstawaniem ektopróchnicy glebowej, co na siedliskach Bśw, BMśw oraz LMśw skutkuje wyższą akumulacją Corg w wierzchnich warstwach profilu glebowego.
- ✦ Najwyższą akumulacją Corg charakteryzują się umiarkowanie lub silnie świeże, piaszczyste gleby bielcowe oraz rdzawe. Gleby brunatne oraz płowe utworzone z substratów zasobniejszych w drobne frakcje cechują się istotnie niższym zapasem Corg.
- ✦ Zapas Corg zgromadzony w warstwie do 50 cm od powierzchni stanowi 64-94% całkowitego zapasu Corg zakumulowanego w glebach siedlisk Bśw, BMśw oraz LMśw utworzonych bez wyraźnego wpływu wody gruntowej. Na siedliskach żyznych (Lśw) w poziomach do 50 cm zakumulowane jest 39-72% całkowitego zapasu Corg. Wartość całkowitego zapasu Corg w glebach świeżych siedlisk leśnych można z dużą dokładnością oszacować na podstawie zapasu obliczonego do głębokości 50 cm.

Literatura

- Baldrian P., Šnajdr J. 2011. Lignocellulose-degrading enzymes in soil. W: Shukla G., Varma A. [red.]. Soilenzymology. Springer-Verlag, Berlin. 167-186.
- Błońska E., Lasota J., Gruba P. 2016. Effect of temperate forest tree species on soil dehydrogenase and urease activities in relation to other properties of soil derived from loess and glaciofluvial sand. Ecological Research 31 (5): 655-664.
- Brożek S., Zwydak M., Lasota J., Różański W. 2011. Założenia metodyczne badań związków między glebą a zespołami roślinnymi w lasach. Roczn. Glebozn. 62 (4): 16-38.

- Degórski M. 2005. Wpływ sposobu użytkowania lasu na zasoby węgla organicznego w glebie. *Monitoring Środ. Przyr.* 6: 75-83.
- Dorrepaal E., Sylvia T., van Logtestijn R. S. P., Swart E., van de Weg M. J., Callaghan T. V., Aerts R. 2009. Carbon respiration from subsurface peat accelerated by climate warming in the subarctic. *Nature* 460: 616-619.
- Farquhar G. D., Fasham M. J. R., Goulden M. L., Heimann M., Jaramillo V. J., Khesghi H. S., Le Quere C., Scholes R. J., Wallace D. W. R. 2001. Climate change 2001: The Scientific Basis IPCC. Chapter 3. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. Cambridge University Press, Cambridge. 183-237.
- Fornara D. A., Steinbeiss S., McNamara N. P., Gleixner G., Oakley S., Poulton P. R., Macdonald A. J., Bardgett R. D. 2011. Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland. *Global Change Biology* 17: 1925-1934.
- Instrukcja urządzania lasu 2012. Część 2. Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych. CILP, Warszawa.
- Janssens J. A., Sampson D. A., Curriel-Yuste J., Carrara A., Cenlemans R. 2002. The carbon cost of fine root turnover in a Scots pine forest. *Forest Ecology and Management* 168: 231-240.
- Kondras M., Czępińska-Kamińska D., Sienicka P., Otręba A., Torzewski K., Oktaba L. 2012. Zapas węgla organicznego w glebach leśnych zespołu kontynentalnego boru mieszanego świeżego w Kampinoskim Parku Narodowym. *Soil Science Annual*. 63 (4): 26-33.
- Lasota J., Błońska E. 2013. Siedliskoznawstwo leśne na nizinach i wyżynach Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Lasota J., Błońska E. 2014. Wartość siedliskotwórcza leśnych gleb niecałkowitych. *Sylvan* 158 (1): 10-17.
- Ostrowska A., Porębska G., Kanafa M. 2010. Carbon accumulation and Distribution in Profiles of Forest Soils. *Polish J. of Environ. Stud.* 19 (6): 1307-1315.
- Schoenholtz S. H., Van Miegroet H., Burger J. A. 2000. A review of physical and chemical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecol. Manag.* 138: 335-356.
- Siedliskowe podstawy hodowli lasu. 2004. Załącznik do Zasad hodowli lasu. Warszawa.
- Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A. R., Jones R. J. A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S. K. 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319EN/3. Office for official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Wójcik J. 2013. Możliwości zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych w warunkach zmian klimatycznych. Gromadzenie węgla w glebie, ochrona materii organicznej. W: *Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse. Narodowy Program Leśny. Panel Ekspertów „Klimat 1”*.
- Zwyczaj M., Brożek S., Lasota J., Małek S. 2008. Reserve of Organic Carbon in Forest Soils of Lowlands in Poland. *Polish J. of Environ. Stud.* 17 (3A): 632-637.