

PIOTR GRUBA, JAROSŁAW SOCHA, EWA BŁOŃSKA, JAROSŁAW LASOTA,
ANDRZEJ SUCHANEK, PAWEŁ GOŁĄB

Wpływ skały macierzystej na przestrzenne zróżnicowanie zasobów węgla organicznego w glebach leśnych*

Influence of parent material on the spatial distribution of organic carbon stock in the forest soils

ABSTRACT

Gruba P., Socha J., Błońska E., Lasota J., Suchanek A., Gołąb P. 2014. Wpływ skały macierzystej na przestrzenne zróżnicowanie zasobów węgla organicznego w glebach leśnych. Sylwan 158 (6): 443-452.

The study focused on the influence of several soil properties and forest species composition on spatial distribution of organic carbon stock in soils developed from the contrasted parent materials: Tertiary claystones and sandstones, and Quaternary sands of different origins. Soil sampling was performed on 110 plots, while forest mensuration was conducted on 82 ones. The content of <0.05 mm fraction determined by the type of parent material played a key role in the distribution of carbon stock in soils. Higher content of fine fraction favoured the accumulation in mineral part of soil, while higher sand content had an indirect influence on accumulation of carbon in the organic horizon. Forest species composition and biomass volume are more important for C accumulation in the O horizons. Taking into account the geological heterogeneity, the size of investigation area played a prominent role for the statistical significance of the observed correlations between carbon stocks and the other soil properties.

KEY WORDS

carbon sequestration, spatial variability, species composition, soil properties

ADDRESSES

Piotr Gruba ⁽¹⁾ – e-mail: rigruba@cyf-kr.edu.pl

Jarosław Socha ⁽²⁾, Ewa Błońska ⁽¹⁾, Jarosław Lasota ⁽¹⁾, Andrzej Suchanek ⁽²⁾, Paweł Gołąb ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Katedra Gleboznawstwa Leśnego; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

⁽²⁾ Katedra Biometrii i Produkcji Lasu; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

Wstęp

Gleby są największym lądowym złożem węgla organicznego (Corg.) w biosferze, gromadzącym większe zasoby niż rośliny wraz z atmosferą [Schlesinger 1997; Jabbágy, Jackson 2000]. W związku z dużym arealem lasów gleby leśne odgrywają bardzo ważną rolę w globalnym obiegu węgla [Lal 2005]. Państwa, które są sygnatariuszami UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), są zobligowane do implementacji krajowych systemów raportowania ilości oraz zmian w sekwestracji węgla w rolnictwie, leśnictwie i innych sektorach użytkujących grunty [Schlup i in. 2008; Zasada i in. 2008], m.in. zobowiązane są do określenia ilości, zmienności przestrzennej i zmian w ilości Corg. w glebie. Inwentaryzacja mająca na celu wiarygodne określenie

* Projekt sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/NZ9/06879.

ilości węgla w glebie jest utrudniona przez dużą zmienność przestrzenną i związaną z tym konieczność pobierania bardzo licznych prób [Schlup i in. 2008].

Akumulacja węgla organicznego jest również procesem o kluczowym znaczeniu dla ekosystemów leśnych. Odgrywa on szczególne znaczenie w obiegu pierwiastków i żyzności gleb. Wzrost zawartości materii organicznej w glebie wpływa między innymi na zwiększenie zawartości azotu [Gruba, Pacanowski 2010], wzrost pojemności sorpcyjnej, w tym zawartości kationów zasadowych i kwasowości [McBride 1994]. Akumulację i obieg materii organicznej w glebach użytkowanych rolniczo można oszacować przy pomocy relatywnie prostego modelu (np. RothC [Coleman, Jenkinson 1999]), dysponując takimi danymi jak roczna wielkość dopływu szczątków organicznych, zawartość ilu w glebie, średnia roczna temperatura i wielkość opadów. Akumulacja węgla w ekosystemie leśnym jest procesem bardziej złożonym, a o jego specyfice w dużej mierze decyduje obecność poziomu organicznego [Jandl i in. 2007].

W pewnym uproszczeniu można stwierdzić, że w warunkach klimatycznych Polski mechanizm akumulacji materii organicznej w glebie przebiega dwutorowo, prowadząc do powstania dwóch frakcji [Six i in. 2002]. Pierwsza frakcja to substancja organiczna trwale połączona z cząstkami ilastymi i pylistymi (cząstki o $\varnothing < 0,05$ mm). Przylegająca do powierzchni minerałów warstwa organiczna stanowi podłoże pozwalające wiązać kolejne warstwy substancji [Sollins i in. 2006]. Druga frakcja to niezwiązane z minerałami, słabo rozłożone cząstki organiczne pochodzące z rozkładu korzeni lub z poziomu organicznego przemieszanego z glebą mineralną w efekcie aktywności organizmów glebowych [Gurmesa i in. 2013]. Można zatem przyjąć, że gleby posiadające więcej frakcji pyłu i ilu akumulują więcej substancji organicznej w postaci związanej z frakcją mineralną. Zwykle też gleby ilaste cechują się większą aktywnością biologiczną, która sprzyja rozkładowi poziomu organicznego, zwiększając dodatkowo zawartość węgla organicznego w poziomach mineralnych. W glebach piaszczystych natomiast, ze względu na brak frakcji pyłu i ilu, zawartość związanej materii organicznej jest znikoma, a niska aktywność biologiczna prowadzi do powstawania grubej warstwy poziomu organicznego. Zapas węgla zgromadzony w warstwie organicznej jest mało trwały i ulega dość szybkiemu rozkładowi, szczególnie w efekcie pozyskania drewna, natomiast węgiel zgromadzony w mineralnej części profilu glebowego uważa się za relatywnie trwały [Sollins i in. 2006]. Pomimo że łączny zapas węgla w glebach z dużą i małą zawartością drobnych frakcji mineralnych może być podobny, to tendencja do akumulacji w warstwie organicznej i mineralnej znacznie różnicuje te gleby pod względem ich potencjalnej zdolności do sekwestracji węgla. Zatem do wiarygodnego prognozowania potencjału gleb leśnych do sekwestracji węgla konieczne wydaje się uwzględnienie rodzaju skały macierzystej, a szczególnie składu granulometrycznego powstałej z niej gleby. Potrzebne jest jednak wcześniejsze ilościowe określenie związku pomiędzy uziarnieniem gleb a alokacją węgla organicznego.

Celem pracy jest określenie wpływu uziarnienia i innych właściwości gleb oraz składu gatunkowego drzewostanów na przestrzenne zróżnicowanie zasobów węgla organicznego w obszarze leśnym o zróżnicowanej litologii. W analizach zastosowano narzędzia geostatystyczne, takie jak wariogramy i wariogramy krzyżowe.

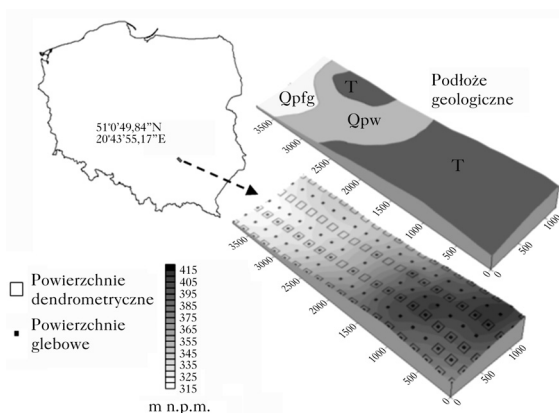
Materiał i metody

Teren badań obejmował centralny fragment kompleksu Puszczy Świętokrzyskiej administrowanego przez Nadleśnictwo Suchedniów. Obszar o powierzchni 4,56 km² obejmował część leśnictwa Osieczno oraz Wilczy Bór. Wielkość i lokalizacja powierzchni badawczej była podyktowana zmiennością geologiczną tego rejonu. Teren jednostajnie obniżał się w kierunku NW, a wysokość

wahała się w zakresie 290-412 m n.p.m. (ryc. 1). Ukształtowanie powierzchni terenu jest ściśle związane ze zmiennością geologiczną. Najwyższe wzniesienie jest wykształcone z osadów dolnego triasu (T): piaskowców i iłowców o charakterystycznej czerwonej barwie, będącej efektem domieszki hematytu. W niższych położeniach skały triasowe są przykryte warstwą czwartorzędowych piasków pochodzących z wietrzenia i rozmywania piaskowców (Qpw). Wreszcie w najniższym położonym fragmencie powierzchni badawczej pojawiają się czwartorzędowe piaski akumulacji wodno-lodowcowej (Qpfg) [Krajewski 1955]. Różnorodności geologicznej towarzyszyła duża różnorodność składu gatunkowego drzewostanu, tworzonego głównie przez jodłę pospolitą (*Abies alba* Mill.) i buk pospolity (*Fagus sylvatica* L.), z domieszką sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.), brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Ehrh.) i grabu pospolitego (*Carpinus betulus* L.).

Teren badań był prostokątem o wymiarach 3800×1200 m. Na tym obszarze, przy pomocy odbiornika GPS, założono powierzchnie badawcze w regularnej siatce 200×200 m. Z różnych powodów, głównie ograniczonej dostępności oraz pracochłonności, niektóre węzły siatki zostały pominięte. Prace glebowe przeprowadzono na 110 powierzchniach badawczych, natomiast prace dendrometryczne na 82 (ryc. 1). Na każdej powierzchni badawczej wykonano płytką odkrywkę glebową, z której pobrano objętościowo (przy pomocy ramki o wymiarach 20×20 cm) próbkę poziomu organicznego. Następnie określono granicę pomiędzy poziomem organicznym i warstwą mineralną. Z warstwy mineralnej pobrano dwie próbki: pierwszą z poziomu próchnicznego (A), kolejną z występującego poniżej poziomu – zwykle poziomu B (wzbogacania) lub G (glejowego) – do głębokości 40 cm od powierzchni gleby mineralnej. Ostatni poziom był zawsze określany symbolem B, niezależnie od kierunku procesu glebotwórczego. Gleby podzielono pod względem wilgotności na cztery grupy (suche, świeże, wilgotne i bagienne). Uwilgotnienie gleb określono na podstawie występowania roślin wskaźnikowych.

W oczkach siatki założono stałe kołowe powierzchnie próbne o wielkości od 3 do 10 arów. Wielkość powierzchni próbnych ustalono, zakładając, że na każdej powierzchni powinno się znajdować około kilkudziesięciu drzew. Poszczególne drzewa zostały zlokalizowane względem środka powierzchni za pomocą odległości i azymutu. Na kolejnych powierzchniach wykonano pomiar pierśnicy, wysokości oraz bieżącego rocznego przyrostu grubości każdego drzewa. Ponadto na podstawie dordzeniowych odwiertów pobranych na 6 najgrubszych drzewach gatunku głównego ustalono wiek drzewostanów. Nadziemną biomasę poszczególnych drzewostanów ustalono jako sumę wartości suchej biomasy poszczególnych drzew, którą wyliczono na podstawie pierśnicy i wysokości, korzystając z dostępnych wzorów empirycznych opracowanych dla Polski



Ryc. 1.

Lokalizacja terenu badań, jego hipsometria i geologia oraz rozmieszczenie powierzchni badawczych

Localization of the study site, its altitude and geology, and study plots distribution

T – piaskowce i iłowce triasowe; Qpw – czwartorzędowe piaski wietrzeniowe; Qpfg – czwartorzędowe piaski fluwio-glacialne

T – Triassic sandstones and claystones; Qpw – Quaternary weathering sands; Qpfg – Quaternary fluvio-glacial sands

lub Europy [Socha, Wężyk 2004, 2007; Muukkonen, Mäkipää 2006; Zasada i in. 2008; Bronisz i in. 2009].

Analizie poddano próbki gleb pochodzące z poziomów mineralnych. Próbkę z poziomów organicznych posłużyły jedynie określeniu suchej masy tego poziomu na jednostkę powierzchni (na podstawie suchej masy próbki każdorazowo pobranej z powierzchni 20×20 cm). Próbkę z poziomów mineralnych zostały przesiane przez sito o średnicy oczek 2 mm. Następnie oznaczono pH w zawiesinie próbka-woda sporządzonej w proporcji 1:5. Wymienne formy kationów (Ca, Mg, K, Na) zostały oznaczone w 1 M octanie amonu (pH=7) przy użyciu spektrometru ICP. Uziarnienie oznaczono dyfraktometrem laserowym (Fritsch Analysette 22), obliczono zawartość frakcji o średnicy cząstek mniejszej niż 0,05 mm, tj. frakcji pyłu i ilu. Zawartość węgla i azotu oznaczono przy użyciu aparatu LECO TrueMac.

Statystyki podstawowe obliczono przy pomocy programu Statistica 10. Związek pomiędzy zawartością Corg. w poziomie O oraz poziomach A+B i O+A+B przeanalizowano wstępnie metodą regresji wielorakiej. Interpolacja zmienności przestrzennej właściwości gleby została wykonana metodą krigingu. Zastosowanie krigingu składa się z dwóch etapów. W pierwszym określa się przestrzenną korelację opisywanego zjawiska przy zastosowaniu wariogramu. W drugim etapie na podstawie modelu wariogramu dokonuje się interpolacji i kreśli mapę. Wariogram jest wykresem przedstawiającym zależność między semiwariancją (połową wariancji) obliczoną dla wszystkich N par pomiarów danej zmiennej znajdujących się w odległości h od siebie a tą odległością [Namysłowska-Wilczyńska 2006]. Pokazuje on, jak zmienia się wartość semiwariancji wraz ze wzrostem odległości między rozpatrywanymi punktami pomiarowymi. Semiwariancja została obliczona według wzoru [Wackernagel 2003]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [A_i(x_i) - A_i(x_i + h)]^2 \quad [1]$$

gdzie:

$N(h)$ – liczba par punktów oddalonych od siebie o dystans h ,

$A_i(x_i)$ oraz $A_i(x_i+h)$ – wartości cechy zmierzone w miejscach x_i oraz x_i+h oddalonych od siebie o odległość h .

W celu zbadania zależności przestrzennych pomiędzy różnymi zmiennymi, zastosowano wykres wariogramu krzyżowego, który stanowi kombinację semiwariancji dwóch zmiennych [Nielsen, Wendroth 2003]:

$$\Gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [A_i(x_i) - A_i(x_i + h)] \times [B_i(x_i) - B_i(x_i + h)] \quad [2]$$

gdzie:

$A_i(x_i)$, $B_i(x_i)$ – wartości zmiennej A i zmiennej B w punkcie (x_i) ,

$A_i(x_i+h)$, $B_i(x_i+h)$ – wartości zmiennej A i B w punkcie x_i+h .

Przed analizą dane zostały zestandaryzowane. Analizę geostatystyczną wykonano przy pomocy programu Gama Design GS 9+. Mapy wykreślono przy użyciu programu Golden Software Surfer 11.

Wyniki

Zmienność geologiczna terenu badań przekładała się bezpośrednio na zmienność uziarnienia gleb. Gleby w najwyższej położonych partiach obszaru badań zbudowanych z piaskowców miały zwietrzelinę gliniasto-piaszczystą. Nieco niżej, w kierunku NW, pojawiają się ciężkie zwietrze-

Tabela 1.

Podsumowanie pomiarów dendrometrycznych i analiz gleboznawczych
Summary of forest stand measurements and soil analysis

	N	Średnia	Min.	Maks.	Odch. st.	Skośność
Jodła – udział [%]	82	40	0	93	28	0,22
Buk – udział [%]	82	16	0	86	21	1,53
Sosna – udział [%]	82	19	0	90	25	1,30
Dąb+Grab – udział [%]	82	9	0	81	15	2,60
Biomasa nadziemna [t/ha]	82	201	103	327	56	0,64
Zapasy Corg. w O [t/ha]	110	50,1	1,8	207,0	43,8	1,49
Zapasy Corg. w A+B [t/ha]	110	51,3	4,7	147,3	30,9	0,68
Zapasy Corg. w O+A+B [t/ha]	110	102,1	36,9	239,7	40,7	1,08
frakcje o $f < 0,05$ mm (A) [g/kg]	110	230	14	970	188	1,48
pH (A)	110	4,21	3,57	4,71	0,24	-0,05
C:N (A)	110	19,80	12,13	34,08	5,11	0,70
Y (A) [cmol ₍₊₎ /kg]	110	8,44	1,32	23,64	4,37	0,58
S (A) [cmol ₍₊₎ /kg]	110	0,62	0,06	4,07	0,63	2,55

rodnością składu gatunkowego, z dużym udziałem grabu. Udział sosny wzrastał stopniowo, wraz ze zwiększaniem się frakcji piasku w glebie, osiągając najwyższy udział w NW krańcu obszaru badań (fragment drzewostanu zagospodarowany zrębowo).

Uśredniony zapas węgla zgromadzonego w glebie wynosił około 100 t/ha, przy czym był on w przybliżeniu równomiernie rozłożony w poziomie próchnicy nadkładowej (poziom O) i części mineralnej profilu (poziomy A+B). Ogólnie można stwierdzić, że w glebach bardziej piaszczystych większe zasoby węgla są zgromadzone w poziomie organicznym. Największy zapas Corg. zakumulowany w poziomie organicznym stwierdzono w strefie przejścia utworów triasowych w piaski zwietrzelinowe (ryc. 2b). Najmniej materii organicznej zakumulowanej w poziomach O stwierdzono w glebach powstałych z utworów triasowych, szczególnie iłowców. Analiza regresji wielorakiej wykazała, że istotny wpływ na zasobność poziomu organicznego miał również skład gatunkowy oraz wielkość biomasy nadziemnej. Stwierdzono ujemną korelację z udziałem buka ($p=0,0046$) i grabu ($p=0,0001$) w biomacie nadziemnej oraz ilością biomasy ($p=0,0136$). Zapas węgla zakumulowanego w mineralnej części profilu glebowego wykazywał dodatni związek z zawartością drobnych frakcji (ryc. 2c). Największy zapas zakumulowany w glebie stwierdzono w strefie występowania iłowców, najniższy natomiast w glebach wytworzonych z piasków o niskiej zawartości frakcji $\varnothing < 0,05$ mm. Na tej podstawie można stwierdzić, że sumaryczna akumulacja węgla organicznego w glebie jest wypadkową zapasu w poziomie organicznym i zasobów zgromadzonych w warstwie mineralnej, które w przeciwstawnym sposób korelują z uziarnieniem gleby (ryc. 2d). Jeśli przyjąć, że zawartość węgla w biomacie nadziemnej wynosi 50%, to akumulacja węgla organicznego w biomacie nadziemnej była niemal idealnie równa zasobom węgla organicznego w glebie, a łączny zapas Corg. w biomacie nadziemnej i w glebie wynosi około 200 t/ha, przy czym bilans ten nie uwzględnia biomasy korzeni.

Udział drobnych frakcji w poziomie próchnicznym (A) był skorelowany z sumą kationów zasadowych oraz kwasowością hydrolytyczną, ujemnie z wartością stosunku C:N. Wartość pH była typowa dla wierzchnich poziomów gleb leśnych, tj. zbliżona do wartości 4,5, nie była jednak skorelowana z typem skały macierzystej ani jej uziarnieniem, a jedynie z kwasowością hydrolytyczną. Stopień uwilgotnienia siedliska określony w skali 1-4 (suche, świeże, wilgotne, bagienne) w oparciu o rośliny wskaźnikowe nie wykazywał istotnego związku z żadną z badanych cech.

Dyskusja

Uziarnienie jest pierwotną właściwością gleby odziedziczoną ze skały macierzystej. Ma ono konsekwentny wpływ na większość z pozostałych cech i kluczowe znaczenie siedliskotwórcze [Brożek i in. 2007]. Szczegółne znaczenie ma zawartość frakcji pyłu i łu, która decyduje o zdolności gleby mineralnej do akumulacji materii organicznej [Sollins i in. 2006]. Dzięki dużej powierzchni właściwej i zdolności do tworzenia połączeń z grupami funkcyjnymi materii organicznej cząstki ilaste i pylaste wpływają dodatnio na akumulację materii organicznej w mineralnej części profilu glebowego, tym samym oddziałując na niemal wszystkie właściwości gleb. Pośrednio wpływają również na miąższość poziomu organicznego. Jednak nie wszystkie znane z literatury zależności znalazły potwierdzenie w istotności współczynników korelacji liniowych (tab. 2).

Analiza wariogramu krzyżowego pozwala oszacować współczynnik korelacji liniowej pomiędzy zmiennymi, ale również określić strukturę przestrzennej tej zależności. Wykres semiwariancji krzyżowej pomiędzy zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$ mm a innymi cechami pozwala prześledzić wpływ uziarnienia na inne ważne właściwości gleb. Stopień korelacji jest określony położeniem wykresu w odniesieniu do wartości $\Gamma = 0$ – brak korelacji a krzywymi korelacji doskonałej: im bliżej krzywej, wartości dodatniej lub ujemnej, współczynnik korelacji (+/-) jest wyższy [Borůvka i in. 2007]. Zasadniczo przebieg krzywych korelacji doskonałej oblicza się dla każdej pary porównywanych zmiennych [Wackernagel 2003], jednak dzięki standaryzacji danych ich przebieg był zbliżony, co umożliwiło przedstawienie kilku serii danych na jednym wykresie. Oceny struktury przestrzennej, podobnie jak w przypadku zwykłego wariogramu, dokonuje na podstawie przebiegu wykresu [Gruba i in. 2013].

Zapas węgla w poziomie organicznym był ujemnie skorelowany z zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$, choć w niewielkich odległościach korelacja jest bliska 0. Oznacza to, że na mniejszym obszarze badań (np. mniej niż 1 km) zależność ta pozostałaby nieuchwycona. Jej istotność jest zatem efektem obserwacji silnie skontrastowanych danych pochodzących z gleb ilastych i piaszczystych. Podobny, lecz dodatnio skorelowany związek, obserwuje się pomiędzy zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$ mm a zapasem węgla w glebie mineralnej, przy czym jest to zależność bezpośrednia, na którą w głównej mierze wpływa zdolność drobnych cząstek mineralnych do adsorpcji związków organicznych. Relatywnie niski współczynnik korelacji jest efektem oddziaływania dodatkowych czynników, tj. wilgotności i składu gatunkowego drzewostanów, które poza uziarnieniem mają także wpływ na zapas węgla w glebie, choć w tym przypadku nie stwierdzono istotnych zależności.

Tabela 2.

Macierz korelacji liniowej pomiędzy badanymi właściwościami gleb
Correlation matrix between the selected soil properties

Cecha	Zapas O	Zapas A+B	Zapas O+A+B	C:N (A)	Wilgotność	pH (A)	Y (A)	S (A)
Frakcje o $\varnothing < 0,05$ mm (A)	-0,31*	0,30*	-0,03	-0,43*	-0,20	-0,09	0,36*	0,42*
Zapas O		-0,32*	0,62*	0,28	0,24	-0,02	-0,21	-0,46*
Zapas A+B			0,55*	-0,39*	-0,11	-0,26	0,71*	0,50*
Zapas O+A+B				-0,07	0,12	-0,23	0,40*	0,00
C:N (A)					0,14	-0,04	-0,35*	-0,51*
Wilgotność						-0,12	-0,08	-0,11
pH (A)							-0,56*	-0,13
Y (A)								0,63*

* istotne przy $p < 0,05$; significant at $p < 0,05$

Dla odmiany wartość stosunku C:N, która również ujemnie korelowała z zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$, zasadniczo nie prezentowała korelacji przestrzennej, tzn. jej przebieg jest w przybliżeniu płaski. Oznacza to, że korelacja pomiędzy zawartością części drobnych i C:N jest obserwowana w skali mniejszej niż ta prezentowana na wykresie, została by więc odnotowana nawet w przypadku próbek pobranych w relatywnie niewielkiej odległości. Nie wiąże się ona ze stopniową zmianą zawartości frakcji o $\varnothing < 0,05$, lecz prawdopodobnie z mikrozmiennością powodowaną głównie przez zakłócenia ciągłości gleby, np. wykroty [Šamonil i in. 2011]. Pozostałe składowe siedliskowego indeksu glebowego – suma kationów zasadowych i kwasowość hydrolityczna – wykazywały słabą, dodatnią korelację z zawartością materii organicznej w mineralnej części profilu.

Całkowity zapas węgla organicznego w poziomach O+A+B nie wykazywał związku z zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$ mm w glebie. Jest to ważna obserwacja, pozwalająca oszacować aktualną akumulację węgla w glebach leśnych, jednak wiele ważnych danych pozostaje ukrytych. Ogólna informacja o zawartości Corg. w glebach leśnych jest niewystarczająca. Ze względu na różną stabilność Corg. ważne są szczegółowe informacje o zasobach Corg. zgromadzonych w warstwie organicznej i mineralnej oraz zasobach Corg. związanych z poszczególnymi frakcjami granulometrycznymi [Brogowski, Chojnicki 2013]. Zawartość węgla w tych poziomach wydaje się dobrze odzwierciedlać lokalne warunki siedliskowe i może stanowić źródło informacji o nich.

Otwartym pozostaje pytanie dotyczące wpływu poszczególnych gatunków na zasoby Corg. w glebie, szczególnie w mineralnej części profilu. Jest to kwestia o tyle ważna, że rozwiązanie jej pozwoliłoby odpowiedzieć na pytanie, czy poprzez zabiegi gospodarcze i modyfikację składu gatunkowego drzewostanu można zwiększyć zasoby glebowe zasoby Corg. Przeprowadzone badania nie wykazały zróżnicowanego wpływu składu gatunkowego drzewostanów na alokację Corg., trzeba jednak zauważyć, że z wyjątkiem jodły występowanie poszczególnych gatunków było ściśle powiązane z uziarnieniem gleb – np. grab i buk praktycznie nie występowały na glebach o lżejszym uziarnieniu, co uniemożliwiało porównanie wpływu tych gatunków z wpływem sosny, która pojawiała się tylko na glebach piaszczystych.

Wnioski

- ✦ Determinowana rodzajem skały macierzystej zawartość drobnych frakcji mineralnych o $\varnothing < 0,05$ mm jest kluczowa dla zmienności przestrzennej zasobów węgla organicznego w glebach leśnych, przy czym większa zawartość drobnych frakcji sprzyja akumulacji w mineralnej części profilu glebowego, natomiast większy udział frakcji piasku ma pośredni wpływ na akumulację Corg. w poziomie organicznym, w którym decydujące znaczenie mają skład gatunkowy i wielkość nadziemnej biomasy drzewostanu.
- ✦ W kontekście zmienności geologicznej terenu badań i specyfiki związków pomiędzy różnymi właściwościami gleb, wielkość obszaru badań ma kluczowe znaczenie dla istotności obserwowanych zależności. Związek pomiędzy zapasem węgla w poziomie organicznym i mineralnym a zawartością frakcji ilu i pyłu był istotny dzięki uwzględnieniu danych z punktów pomiarowych odległych od siebie o około 2000 m, natomiast korelacja między S lub Y a zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$ mm osiągała stały poziom na obszarze o średnicy około 1000 m. Jedynie korelacja wartości stosunku C:N z zawartością frakcji o $\varnothing < 0,05$ mm uwidaczniała się w skali mniejszej niż 200 m.
- ✦ Informacja o alokacji zapasu węgla organicznego w warstwie organicznej i warstwie mineralnej ma wysoką wartość i może być stosowana jako jeden z indykatorów jakości siedliska.

✚ Badania wykazały, że wpływ składu gatunkowego drzewostanu na zasoby Corg. w glebach zaznacza się jedynie w poziomie organicznym, nie można jednak ostatecznie odrzucić hipotezy, że oddziałuje również na zasoby zgromadzone w mineralnej części profilu glebowego. Badania w tym kierunku powinny być kontynuowane w warunkach drzewostanów o różnym składzie gatunkowym, lecz przy niewielkiej zmienności geologicznej, a szczególnie uziarnienia gleb.

Literatura

- Borůvka L., Mládková L., Penížek V., Drábek O., Vašát R. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. *Geoderma* 140: 374-382.
- Brogowski Z., Chojnicki J. 2013. Rozmieszczenie materii organicznej i azotu we frakcjach granulometrycznych poziomów genetycznych gleby brunatnej wylugowanej Lasu Kabackiego. *Sylvan* 157 (6): 470-480.
- Bronisz K., Bronisz A., Zasada M., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. *Sylvan* 153 (11): 758-767.
- Brożek S., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Lasota J. 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylvan* 151 (2): 26-34.
- Coleman K., Jenkinson D. S. 1999. RothC 26.3 – A model for the turnover of carbon in soil. ISBN 0951445685.
- Gruba P., Pacanowski P. 2010. Wpływ składu gatunkowego drzewostanu i uziarnienia na wartość stosunku C:N w glebach leśnych. *Rocz. Glebozn.* 61 (4): 57-68.
- Gruba P., Pacanowski P., Mulder J. 2013. Czynniki kształtujące zróżnicowanie przestrzenne pH gleb leśnych na przykładzie gleb płowych podścielonych marglami. *Sylvan* 157 (2): 149-157.
- Gurmesa G. A., Schmidt I. K., Gundersen P., Vesterdal L. 2013. Soil carbon accumulation and nitrogen retention traits of four tree species grown in common gardens. *Forest Ecology and Management*.
- Jabágyy E. G., Jackson R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10: 423-436.
- Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D. W., Minkinen K., Byrne K. A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253-268.
- Krajewski R. 1955. Szczegółowa mapa geologiczna Polski. Arkusz 778 – Odrowąż. Państwowy Instytut Geologiczny.
- Lal R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220: 242-258.
- McBride M. 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press.
- Muukkonen P., Mäkipää R. 2006. Biomass equations for European trees: addendum. *Silva Fennica* 40 (4): 763-773.
- Namysłowska-Wilczyńska B. 2006. Geostatystyka. Teoria i zastosowania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Nielsen D. R., Wendroth O. 2003. Spatial and temporal statistics – sampling field soils and their vegetation. Catena Verlag, Reiskirchen.
- Šamonil P., Valtera M., Bek S., Šebková B., Vrška T., Houška J. 2011. Soil variability through spatial scales in a permanently disturbed natural spruce-fir-beech forest. *European Journal of Forest Research* 130: 1075-1091.
- Schlesinger W. H. 1997. Biogeochemistry, an analysis of global change. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Schulp C. J. E., Nabuurs G. J., Verburg P. H., de Waal R. W. 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management* 256: 482-490.
- Six J., Conant R., Paul E., Paustian K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.
- Socha J., Wężyk P. 2004. Empirical formulae to assess the biomass of the aboveground part of pine trees. *El. J. Pol. Agr. Univ., Forestry* 5 (2).
- Socha J., Wężyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *European Journal of Forest Research* 126: 263-270.
- Sollins P., Swanston C., Kleber M., Filley T., Kramer M., Crow S., Caldwell B. A., Lajtha K., Bowden R. 2006. Organic C and N stabilization in a forest soil: Evidence from sequential density fractionation. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 3313-3324.
- Wackernagel H. 2003. Multivariate geostatistics. An introduction with applications. Springer-Verlag, Berlin – New York.
- Zasada M., Bronisz K., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 2008. Wzory empiryczne do określania suchej biomasy nadziemnej części drzew i ich komponentów. *Sylvan* 152 (3): 27-39.

SUMMARY**Influence of parent material on the spatial distribution of organic carbon stock in the forest soils**

The investigations focused on the influence of texture and other soil properties as well as forest species composition on distribution of organic carbon stock in the area of contrasted geology. The analysis was performed with application of geostatistical tools such as variograms and cross-variograms. Soil sampling was done on 110 plots, while tree measurements were conducted on 82 plots. The content of fine fraction (<0.05 mm) determined by the type of parent material played a key role for the distribution of carbon stock in soils. Higher content of fine fraction favoured the accumulation in mineral soil, while higher sand content had an indirect influence on accumulation of carbon in the organic horizon, where forest species composition and biomass volume are more important. In the aspect of geological heterogeneity and specifics of relationships between soil properties, the size of investigation area played a prominent role for the statistical significance of the observed correlations. Relationship between the carbon stock in the organic horizon and the content of fine fractions was significantly correlated when observations separated for at least 2000 m were taken into consideration. In the other hand, significant correlation between fine fraction content and sum of base cations or total acidity become significant already at the distance about 1000 m. Only the correlation between C:N ratio and fine fraction content was revealed at the distance shorter than 200 m. The results showed a significant influence of forest species composition on amounts and distribution of organic carbon in the O horizons only, however, the hypothesis on the influence of forest tree species on carbon stock in mineral soil cannot be definitely rejected. Such investigations should be continued in forest stands with contrasted forest species composition and little variable parent material