

WŁAŚCIWOŚCI PRÓCHNIC NADKŁADOWYCH GLEB LEŚNYCH WOKÓŁ DĘBÓW POMNIKOWYCH NA TERENIE OPOLSZCZYZNY

Izabella Pisarek¹, Elżbieta Gołabek¹

¹ Samodzielna Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi, Uniwersytet Opolski, ul. Oleska 22, 45-052 Opole, e-mail: izapis@uni.opole.pl, Elzbieta.Golabek@uni.opole.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy było określenie wpływu siedliska leśnego na zróżnicowanie jakościowe substancji humusowych w poziomach próchnic nadkładowych gleb leśnych tworzących się w pobliżu starodrzewu *Quercus robur* (200 – 600 lat). Analizowane gleby były zlokalizowane na terenie obszaru chronionego krajobrazu – w Borach Niemodlińskich i Lasach Stobrawsko-Turawskich. Badane gleby reprezentowały 15 profili zaliczanych do bieliec, gleb brunatnych właściwych i kwaśnych. Specyfika i troficzność siedliska leśnego wpłynęły na ukształtowanie właściwości fizykochemicznych i chemicznych analizowanych gleb leśnych, co wyrażało się przede wszystkim w ich kwaśnym odczynie, zróżnicowanym zasoleniu jak i właściwościach optycznych substancji humusowych. Jednocześnie stwierdzono ilościowe zróżnicowanie materii organicznej w analizowanych poziomach gleb wyrażone wartością współczynnika zmienności (V) równą 61%. Uzyskane wyniki analiz chemicznych i wartości indeksów $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$, $\Delta\log K$ oraz współczynników korelacji wskazują, iż w badanych glebach procesy transformacji materii organicznej prowadzą do wytworzenia substancji humusowych o niskim stopniu humifikacji i ilościowym zróżnicowaniu w profilach. Zmienność analizowanych właściwości charakteryzujących jakość substancji humusowych wskazuje, iż transformacja materii organicznej poziomów ektohumusowych zależy w dużym stopniu od jakości siedliska, w tym od rodzaju dopływającej materii organicznej.

Słowa kluczowe: *Quercus robur*; gleby leśne, próchnica.

PROPERTIES OF ECTOHUMUS OF THE FOREST SOILS LOCATED AT MANUMENTAL OAKS OF FOREST AREAS IN THE OPOLE REGION

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the diversity of qualitative humic substances in the ectohumus horizon of the forest soil profiles. The analyzed soils were located in protected landscape areas and nature parks – Bory Niemodlińskie and Lasy Stobrawsko-Turawskie, and occurred under the tree stands of trees which were 200 – 600 years old – *Quercus robur*. The analyzed soils represent 15 soil profiles belonging to Podzols, Cambisols and Dystric Cambisols. Properties of forest habitat specificity influenced the physicochemical and chemical properties of the analyzed soils. We observed particularly strong expressions of acidity, pH and salinity, and a diversity of chemical and optical properties of humic substances. The content of organic matter in the analyzed soil horizons showed considerable variation, as indicated by a coefficient of variation (V) equal to 61%. The composition of humic substances of forest litter is characterized by a gradual change of functional groups that usually consists in the decrease of carbohydrates, the relative increase of carboxyl and alkyl carbon, and decay of lignin. In the investigated soils, we observed that the transformation processes of organic matter led to humic substances which were predominantly humus with a lower level of humification, as evidenced by the indexes: $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$, $\Delta\log K$. Therefore, variation of the observed properties of humic substances indicates a different direction in the transformation process of organic matter. Such a transformation depends very much on the habitat and nature of supplied organic matter.

Keywords: *Quercus robur*; forest soil, humic substances.

WSTĘP I CEL PRACY

Materia organiczna pełni w środowisku przyrodniczym szereg istotnych funkcji, wśród których udział w tworzeniu warunków wzrostu i rozwoju dla zbiorowisk roślinnych oraz ochrona przed szkodliwym wpływem czynników antropogenicznych wydają się najistotniejsze. Zrównoważony rozwój gleb odgrywa ważną rolę w utrzymywaniu stabilnych właściwości siedliska i zachowania różnorodności biologicznej. W ekosystemach leśnych bardzo ważnym ogniwem w przepływie energii i składników w profilu są poziomy ektopróchnicy [Jamroz 2012, Qualls 2000, Yanaia i in. 2000]. W ekosystemach leśnych dystrybucja w profilu substancji organicznych i organiczno-mineralnych może znacznie zmienić dynamikę węgla i azotu i powodować ewentualne zmiany ich stężeń lub dostępności dla roślin i mikroorganizmów oraz modyfikować aktywność biologiczną gleby [Leski i in. 2009, Traversa i in. 2008]. W badaniach naukowych podkreśla się pozytywny wpływ zadrzewień na kierunek procesu glebotwórczego, humifikacji materii organicznej oraz zdolność do naturalnej sekwestracji węgla organicznego [Pisarek 2013, Schlesinger 1990, Strahm i in. 2009]. Ważnym elementem w tych procesach jest przetrzymywanie drzewostanów bardzo starych, które mają obecnie więcej niż 150 lat i są pozostałością form genetycznie „dzikich”. Ich wartość, zarówno dla nauki, jak i dla gospodarki leśnej, wynika z tego, że są one relikdami rodzimych dzikich populacji powstałych w procesie naturalnej selekcji i mają dużą zdolność adaptacyjną, dzięki której dożyły tak sędziwego wieku [Korczyk 2008]. Procesy transformacji materii organicznej w takich ekosystemach prowadzą do zatrzymywania znacznych ilości węgla organicznego w postaci substancji humusowych w poziomach epihumusowych.

Na terenie Opolszczyzny występują wielko-przestrzenne kompleksy leśne stanowiące pozostałości dawnej Puszczy Śląskiej o licznych starodrzewach, które zostały objęte ochroną prawną jako pomniki przyrody. Terenem badań objęto gleby klasyfikowane [Klasyfikacja gleb leśnych 2000] jako bielice, gleby brunatne właściwe i kwaśne występujące na terenie Borów Niemodlińskich oraz Lasów Stobrawsko-Turawskich (obszary chronionego krajobrazu w województwie opolskim).

Celem pracy było określenie wpływu siedliska leśnego na stopień kumulacji węgla organicz-

nego w poziomach próchnic nadkładowych gleb leśnych oraz na jakość substancji humusowych tworzących się w pobliżu starodrzewu.

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Analizowane gleby leśne były zlokalizowane na terenie Borów Niemodlińskich i Lasów Stobrawsko – Turawskich (tab. 1). Były reprezentowane przez 15 profili glebowych zaliczanych do bielicy (profile 7, 9, 11, 15), gleb brunatnych właściwych (profile 1, 2, 3, 4, 5, 10) i gleb brunatnych kwaśnych (profile 6, 8, 12, 13, 14). Próbkę glebową pobierano z wszystkich poziomów próchnicy nadkładowej oraz z warstwy A gleb zaliczanych do gleb brunatnych obu typów. Gleby były pobierane z poszczególnych powierzchni badawczych, za pomocą laski glebowej w kilku (co najmniej trzech) powtórzeniach, w promieniu 2 metrów od drzew pomnikowych (200 – 600 letnich) – dębów (*Quercus robur* L.). Na wybranym terenie drzewa pomnikowe występują jako pojedyncze egzemplarze w borach iglastych, mieszanych lub na terenie łąk.

Według Systematyki gleb Polski [Roczn. Gleb. 2011] w określeniu typu materii organicznej gleb leśnych uwzględnia się zarówno materię organiczną zakumulowaną w postaci ektopróchnicy w poziomach organicznych jak i endopróchnicę występującą głównie w poziomach akumulacyjno-próchnicznych. Dlatego analizie chemicznej poddano poziomy A, Oh, Of, Ofh jako zawierające substancje humusowe charakteryzujące się z definicji największym stopniem humifikacji materii organicznej dla wybranych typów glebowych i pozwalające na określenie warunków troficznych danego siedliska leśnego.

Dla terenu objętego badaniami, we wcześniejszym opracowaniu, opisano w terenie warunki topograficzne i cechy makro- i mikroreliefu [Gołabek, Aleksandrowicz 2004].

METODYKA BADAŃ

W próbkach glebowych z poziomów surowinowych, detrytusowych, butwinowych, epihumusowych i próchnicznych wykonano następujące analizy fizykochemiczne i chemiczne:

- pH w KCl;
- skład granulometryczny poziomów mineralnych wg PTG 2009 (na analizatorze cząstek Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd. UK);

Tabela 1. Wybrane właściwości analizowanych gleb**Table 1.** Same properties of investigated soils

No profilu	Poziom	pH _{KCl}	λ [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	Skład granulometryczny % [ϕ w mm]			MO [%]	C/N
				2-0,05	0,05-0,002	<0,002		
1	Ol	4,29	206	materia organiczna			39,24	25
	A	4,33	138	91	7	2	8,32	11
2	Ol	3,90	94	materia organiczna			45,92	28
	A	3,69	32	92	7	1	8,12	12
3	Ol	3,75	205	materia organiczna			83,37	29
	A	2,95	277	94	5	1	13,56	16
4	Ol	4,04	286	materia organiczna			56,44	23
	A	3,28	63	95	4	1	11,80	11
5	Ol	3,35	193	materia organiczna			68,83	27
	Ah	2,97	142	97	2	1	16,54	16
6	Ol	3,68	251	materia organiczna			94,85	35
	Ofh	3,42	180				87,25	22
	A	3,58	155	95	3	2	9,35	12
7	Ol	4,01	440	materia organiczna			86,41	29
	Of	4,60	345				78,15	18
	Oh	4,89	96				48,05	26
8	Ol	4,53	408	materia organiczna			86,06	33
	Ofh	4,11	189				53,05	25
	A	3,74	53	94	3	3	9,03	14
9	Ol	4,30	640	materia organiczna			91,88	38
	Of	4,08	284				67,40	27
	Oh	3,37	149				21,13	18
10	Ol	3,69	202	materia organiczna			51,28	24
	A	3,12	140	94	5	1	12,59	15
11	Ol	4,13	560	materia organiczna			96,59	31
	Of	3,28	256				56,44	22
	Oh	3,10	146				42,69	22
12	Ol	4,50	878	materia organiczna			64,28	26
	Ofh	3,54	292				39,33	19
	A	3,17	63	88	9	3	14,48	17
13	Ol	4,84	690	materia organiczna			88,44	35
	Ofh	3,96	356				69,88	26
	A	3,14	55	95	4	1	18,21	19
14	Ol	4,45	522	materia organiczna			86,80	29
	Ofh	3,22	177				60,93	22
	A	3,02	157	93	5	2	19,79	21
15	Ol	4,25	459	materia organiczna			87,89	36
	Of	3,84	229				45,94	26
	Oh	2,79	117				30,55	22
V[%]	–	16	74	–	–	–	61	31

- przewodnictwo właściwe (λ) ekstraktów wodnych (5:1) metodą konduktometryczną;
- zawartość materii organicznej (MO) metodą suchego spalania (straty prażenia w temperaturze 550 °C) wg PN-ISO 10694 (2002);
- zawartość węgla organicznego z zastosowaniem analizatora Multi N/C 3100 (Analytical-jena, Niemcy).
- zawartość azotu ogółem metodą Kjeldahla [wg PN-ISO-11261, 2002]; w oparciu o zawartość węgla organicznego i azotu ogółem obliczono wskaźnik humifikacji glebowej materii organicznej C/N;
- właściwości optyczne substancji humusowych w alkalicznym wyciągu wg metody Sapka i Sapka [1999]: wartości indeksów $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$. Wartość współczynnika humifikacji materii organicznej według Kumady ($\Delta\log K$) obliczono w oparciu o wartości absorbancji alkalicznego wyciągu przy długości fali 400 i 600 nm [Kumada 1975].

Wiek badanych drzew pomnikowych wyznaczono zgodnie z metodą stosowaną przez Pacyniaka [Pacyniak 1967, Pacyniak 1968], a więc na podstawie wywierćników uzyskanych za pomocą

świdra Presslera (o długości 40 cm). Drzewa nawiercano z 4 kierunków: od wschodu, zachodu, północy i południa na wysokości 1,3 m od powierzchni gruntu.

Wszystkie analizy wykonano w trzech powtórzeniach, wyniki przedstawione w tabelach są ich średnią arytmetyczną. Obliczenia statystyczne: współczynnik korelacji (r) i zmienności (V) zostały wykonane przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excel.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Bory Niemodlińskie to największy kompleks leśny w zachodniej części górnej Odry obejmujący powierzchnię 480 km² cennych przyrodniczo lasów będących pozostałością Przesieki Śląskiej, z wciąż jeszcze zachowanymi fragmentami typowych dla polskiego niżu lasów mieszanych i liściastych. Obszar ten stanowi największy kompleks leśny na nizinach lewostronnego dorzecza górnej i środkowej Odry. Główną cechą Lasów Stobrawsko-Turawskich, stanowiących pozostałość po Puszczy Śląskiej, są dość dobrze zachowane, zróżnicowane gatunkowo i siedliskowo lasy. Występują tu siedliska boru mieszanego wilgotnego i świeżego, z dominacją drzewostanu sosnowego, natomiast w dolinach rzecznych, gdzie znajdują się ich najcenniejsze fragmenty, których unikatowość związana jest z okresowymi zalewami, zalegają grądy, łęgi i olsy, a poza nimi buczyny, dąbrowy i liściaste lasy mieszane.

Analizowane profile glebowe reprezentowały według Systematyki gleb leśnych [2000] trzy jednostki glebowe: bielice (Ol-Of-Oh-Ees-Bhs-Bs-C), gleby brunatne właściwe (Ol-A-Bbr-C-C2) i gleby brunatne kwaśne (Ol-Ofh-A-Bhs-Bbr-C). Uziarnienie części ziemistych poziomów mineralnych badanych gleb pozwala zaliczyć je do piasków i piasków gliniastych. W naturalnych glebach leśnych w wyniku pierwotnej sukcesji roślinnej zachodzi akumulacja materii organicznej do osiągnięcia stanu równowagi charakterystycznej dla danego typu glebowego i siedliska roślinnego. Jak podaje Brożek [2011] gleby leśne są efektem wieloletniego funkcjonowania ich wzajemnej relacji z drzewostanem. Najłatwiej dostrzegalnym efektem oddziaływania lasu na gleby są różnorodne typy próchnic leśnych.

Dla małego obszaru, jakim jest obszar chronionego krajobrazu objętego zakresem badań najistotniejszym elementem środowiska geogra-

ficznego są warunki glebowe określające typ siedliska, czyli warunki życia drzew w lesie. Analiza wielu operatów glebowo-siedliskowych [cyt. za Brożek 2011] potwierdza tę zależność.

W glebach leśnych, w zależności od rozmieszczenia materiału organicznego w profilu glebowym wyróżnia się trzy główne typy morfologiczne próchnicy: mull, moder i mor, które charakteryzuje odmienny typ obiegu biologicznego oraz zróżnicowanie ilościowe i jakościowe związków próchnicznych. Analizowane gleby leśne wykazywały dużą różnorodność w stosunku do jakości siedliska i typu próchnic, co przedstawiono w tabeli 1. Reprezentowały gleby o odmiennej troficzności i zróżnicowaniu morfologicznym próchnic, które zaliczono do typu mull (profile 1,2,3,4,10), moder-mull (profil 5), moder (profile 6,8,12,13,14), mor-moder (profile 7,11) oraz mor (profile 9,15).

Skład chemiczny dostającego się do gleby opadu roślinnego uwarunkowany jest zarówno składem gatunkowym jak i warunkami fizykochemicznymi i klimatycznymi siedliska i jednocześnie wpływa na całokształt właściwości fizykochemicznych i chemicznych gleb. Badane gleby leśne charakteryzowało zróżnicowanie tych właściwości (tab. 1) i wyrażało się to przede wszystkim w ich kwaśnym i bardzo kwaśnym odczynie, którego wartości pH_{KCl} wahały się od 2,79 (w poziomie Oh profilu 15) do 4,89 (w poziomie A profilu 7). Transformacja materii organicznej poziomów ektohumusowych jest efektem działalności szerokiej gamy mikroorganizmów, których działalność fizjologiczna wpływa także na ukształtowanie kwaśnego odczynu gleb leśnych i jest powodem zwiększenia udziału jonów wodorowych w glebie [Drozd 1973]. Wartość przewodności właściwej w analizowanych poziomach genetycznych gleb leśnych była zróżnicowana, co wyrażało się współczynnikiem zmienności równym 74%. Najwyższe wartości tego parametru odnotowano w poziomach surowinowych profili 9,11,12,13,14,15, co może być związane z dopływem zanieczyszczeń antropogenicznych związanych z transportem kołowym i położeniem analizowanych profili w pobliżu ciągów komunikacyjnych. Jednocześnie wartość przewodnictwa właściwego pozwala na obliczenie zawartości kationów w roztworze glebowym, która w profilu 13 osiągnęła najwyższą wartość równą 8,8 cmol(+)/dm³.

Jak podkreślono wcześniej, humifikacja prowadzi w glebach leśnych do nagromadzeń materii

organicznej w postaci ektohumusu. W trakcie rozkładu materii organicznej poziomów surowinowych następuje transformacja materii organicznej wewnątrz struktur tkankowych bez wyraźnych widocznych zmian fizycznych analizowanego materiału [Muscolo i in. 2007].

Akumulacja próchnicy w poziomach podpowierzchniowych jest efektem transportu w profilu substancji humusowych, a głównie ich form labilnych [Jamroz 2012, Muscolo i in. 2007, Pisarek, Głowacki 2009, Traversa i in. 2008].

Jakość materii organicznej stanowi o żyzności gleby, jest wskaźnikiem jej jakości oraz obrazuje oddziaływanie antropopresji na środowisko. We wszystkich analizowanych poziomach profili gleb leśnych zawartość materii organicznej (MO)

wykazywała istotne zróżnicowanie ($V = 61\%$). W poziomach surowinowych (Ol) średnia zawartość MO kształtowała się na poziomie 75%, detrytusowych (Ofh) i butwinowych (Of) po 62%, w epihumusowych 35,6%, a w poziomach akumulacyjnych (A) 12,1%.

Analiza składu frakcyjnego materii organicznej gleb leśnych wykonana metodą Sapek i Sapek [1986] wskazuje na zróżnicowanie jakościowe substancji humusowych wchodzących w skład poszczególnych warstw ściółki (tab. 2). Według założeń tej metody stosuje się jednorazowo ekstrakcję gleby 0,5 M wodorotlenkiem sodu. W tak przygotowanym roztworze, zawierającym substancje humusowe (0,02%) wykonano oznaczenie absorbancji w ultrafiolecie (A_{280}) i w świetle

Tabela 2. Właściwości optyczne badanych gleb

Table 2. Some optical properties of investigated soils

No profilu	Poziom	A_{280}	A_{472}	A_{664}	A_2/A_4	A_2/A_6	A_4/A_6	$\Delta \log K$
1	Ol	5,70	0,55	0,07	10,33	85,10	8,24	1,04
	A	31,03	2,77	0,36	4,52	85,43	7,63	0,99
2	Ol	9,42	1,10	0,16	8,56	58,88	6,88	0,92
	A	27,89	3,72	0,58	7,50	48,17	6,42	0,80
3	Ol	6,13	0,60	0,07	10,23	92,88	9,08	1,07
	A	9,07	0,99	0,13	9,20	69,80	7,65	0,97
4	Ol	6,10	0,59	0,07	10,34	84,70	8,20	1,01
	A	19,88	2,34	0,41	8,50	48,49	5,71	0,82
5	Ol	6,77	0,67	0,08	10,16	85,75	8,44	1,03
	A	13,38	1,91	0,29	6,99	45,36	6,49	0,87
6	Ol	6,20	0,56	0,07	11,11	95,34	8,60	1,05
	Ofh	4,90	0,49	0,05	9,54	80,67	8,36	1,02
	A	29,11	3,77	0,58	7,72	50,19	6,50	0,81
7	Ol	5,96	0,61	0,07	9,80	81,64	8,36	1,05
	Of	5,90	0,52	0,06	11,35	98,33	8,67	1,03
	Oh	5,50	0,18	0,02	31,10	250,00	8,05	0,94
8	Ol	4,90	0,49	0,05	9,90	92,45	9,34	1,09
	Ofh	6,49	0,68	0,09	9,54	68,32	7,16	0,94
	A	17,64	2,18	0,35	8,10	51,13	6,32	0,76
9	Ol	5,06	0,52	0,05	10,50	93,70	9,63	1,08
	Of	6,10	0,58	0,07	9,73	87,14	8,29	0,99
	Oh	10,69	1,38	0,20	7,75	53,45	6,9	0,89
10	Ol	6,44	0,67	0,09	9,62	70,00	7,28	0,97
	A	18,69	2,45	0,42	7,57	44,50	5,90	0,81
11	Ol	4,94	0,50	0,06	9,87	82,30	8,33	1,06
	Of	7,83	0,86	0,11	9,10	71,20	7,82	0,98
	Oh	15,11	1,70	0,22	8,91	63,68	7,71	0,92
12	Ol	5,16	0,49	0,05	10,52	107,58	10,23	1,00
	Ofh	17,37	1,96	0,29	8,86	59,90	7,94	1,00
	A	7,92	0,82	0,10	3,66	36,99	6,76	0,87
13	Ol	4,89	0,39	0,04	12,44	135,83	10,92	1,12
	Ofh	7,20	0,73	0,08	9,87	90,13	9,13	1,02
	A	15,59	1,98	0,30	7,87	51,28	6,51	0,81
14	Ol	5,86	0,43	0,05	13,63	124,70	9,15	1,07
	Ofh	7,76	0,81	0,11	9,59	70,58	7,36	0,96
	A	15,26	2,06	0,31	7,40	49,23	6,65	0,78
15	Ol	5,09	0,48	0,04	10,61	127,25	12,00	1,20
	Of	7,83	0,76	0,09	10,25	87,00	8,49	1,04
	Oh	10,92	1,34	0,17	8,16	63,10	7,73	0,96
V [%]	–	70	79	93	40	45	17	11

widzialnym (A_{472} i A_{664}), co pozwoliło na ocenę stopnia humifikacji materii organicznej. Wartość współczynników zmienności obliczonych dla analizowanych form substancji humusowych wykazuje istotne zróżnicowanie w poszczególnych profilach glebowych i ich poziomach genetycznych. Wartość A_{280} zależy od zawartości w wyciągu alkalicznym związków typu lignin. Wyższa wartość tego wskaźnika wskazuje na obecność związków trudno ulegających humifikacji. Na podstawie wartości A_{280} wykazano, iż w badanych glebach leśnych następuje wzbogacenie głębszych warstw profilu w związki trudno ulegające humifikacji, czego wyrazem są wyższe wartości tego indeksu w poziomach epihumusowych. Podobny kierunek transformacji materii organicznej w glebach leśnych wykazano w pracy Sapek i Sapka [1986] oraz Fröberg i in. [2011]. Odmiennie kształtowały się te zależności profilu 12 wskazując na wyraźne wzbogacenie poziomu detrytusowego we wszystkie rodzaje substancji humusowych.

Wartość absorbancji alkalicznego wyciągu przy długości fali 472 nm (A_{472}) wskazuje na obecność substancji humusowych w początkowym stadium humifikacji. Wielkość tego indeksu jest dodatnio skorelowana z ilością młodych form kwasów huminowych tworzących się we wczesnym stadium transformacji materii organicznej. Frakcja ta charakteryzuje się dużą mobilnością w profilach glebowych ze względu na silnie wyrażony charakter alifatyczny. W badanych glebach leśnych niżej zalegające poziomy ektohumusu wykazywały wyraźne wzbogacenie w tę frakcję (tab. 2).

Wartość współczynnika A_{664} wskazuje na udział związków o ciemniejszym zabarwieniu a więc o najwyższym stopniu humifikacji. Według Drozda [1973], Chena i in. [1977] maksima absorpcji odpowiadające określone ugrupowaniu atomów w cząsteczce są stałe. Ulegają one przesunięciu pod wpływem innych grup funkcyjnych, użytego rozpuszczalnika i warunków wykonywania pomiarów.

W badanych glebach leśnych zawartość substancji zaliczanych do dojrzałych form kwasów huminowych była niewielka, co wyrażono wartością A_{665} . Wartość indeksów $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$ pozwala na określenie stopnia humifikacji materii organicznej [Bastida i in. 2008, Gigliotti 1999, Pisarek, Głowacki 2009, Sapek, Sapka 1986, Traversa i in. 2008]. Wzrost wartości każdego z tych wskaźników wskazuje na obniżenie tempa transformacji i niższy stopień humifikacji materii organicznej.

Chen i in. [1977] wykazali, że wartość indeksu $A_{4/6}$ jest ujemnie skorelowana z rozmiarem cząsteczek kwasów huminowych (ciężarem cząsteczkowym) i większym zagęszczeniem struktur aromatycznych pochodnych benzenu. Wartość współczynnika $A_{4/6}$ jest kształtowana także odczynem roztworu zawierającego kwasy humusowe, ilością wolnych rodników kwasów huminowych i wielkością węgla w badanym roztworze. Analiza wartości omawianych wskaźników wskazuje, iż poziomy epihumusowe i akumulacyjne badanych gleb, charakteryzują się zawartością bardziej dojrzałych substancji humusowych w stosunku do ilości substancji trudno ulegających humifikacji (tab. 2). Zależność tą potwierdzają badania naukowe [Bastida i in. 2008, Gołębiowska 2004, Gigliotti 1999, Jamroz 2012, Pisarek 2007, Traversa i in. 2008]. W miarę pogłębiania się procesu humifikacji zwiększa się bowiem udział kwasów huminowych wchodzących w skład związków próchnicznych ektohumusu, co według Działowiec [2004] jest tendencją powszechną, gdyż jako bardziej stabilna frakcja są one selektywnie akumulowane w humifikowanym materiale.

Kumada [1975] zaawansowanie procesu humifikacji wiąże z wartością $\Delta \log K$. Bardziej podatna na utlenianie jest alifatyczna część substancji humusowych. Zmiany właściwości optycznych kwasów huminowych pod wpływem utleniania mogą być spowodowane zmniejszeniem ich masy, całkowitym utlenieniem, zmianami jakościowymi i ilościowymi grup funkcyjnych czy selektywnym utlenianiem struktur alifatycznych i aromatycznych. Wartość współczynnika $\Delta \log K$ mieszcząca się w zakresie od 0,8 do 1,1 świadczy o dominacji w glebie kwasów huminowych charakteryzujących się niskim stopniem humifikacji, mieszcząca się w zakresie 0,6–0,8 o średnim stopniu humifikacji. Wartość tego parametru w badanych glebach leśnych kształtuje się w zakresie od 0,81 do 1,20. Jedynie w poziomach A profili 2 i 8 transformacja materii organicznej prowadzi do wytworzenia form substancji humusowych o większych ciężarach atomowych [Gołębiowska 2004, Kumada 1975].

Wartość stosunku C:N w glebach obrazuje zasobność próchnicy w azot i mówi o stopniu jej humifikacji. Wartość tego parametru jest typowa dla większości gleb. Rozszerzenie stosunku C:N powyżej wartości 15 w badanych glebach (tab. 1) jest efektem procesów transformacji świeżej, stale dopływającej w ekosystemach leśnych materii organicznej (o znacznej zawartości tylko częściowo

Tabela 3. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy wybranymi właściwościami badanych gleb leśnych
Table 3. Correlation coefficient (r) between some parameters of analyzed forest's soil

Cecha										
	(X)					(Y)				
	A ₂₈₀	A ₄₇₂	A ₆₆₄	A _{2/4}	A _{2/6}	A _{4/6}	ΔlogK	pH	λ	OM
A ₄₇₂	0,973									
A ₆₆₄	0,951	0,992								
A _{2/4}	-0,389	-0,438	-0,409							
A _{2/6}	-0,431	-0,534	-0,537	0,908						
A _{4/6}	-0,566	-0,624	-0,663	0,317	0,612					
ΔlogK	-0,649	-0,729	-0,767	0,270	0,537	0,895				
pH	-0,369	-0,456	-0,457	-0,490	0,642	0,534	0,516			
λ	-0,479	-0,496	-0,510	0,169	0,391	0,789	0,674	0,519		
MO	-0,700	-0,730	-0,740	0,343	0,508	0,793	0,839	0,445	0,682	
C/N	-0,703	-0,709	-0,719	0,368	0,523	0,788	0,776	0,395	0,641	0,873

n = 40

Istotność (powyżej) / significant at – p = 0,001 (above value 0.432).

Istotność (powyżej) / significant at – p = 0,05 (above value 0.306).

rozłożonych resztek organicznych) i jednocześnie zachodzących przemianach związków azotowych [Bastida i in. 2008, Drozd i in. 2003, Gołębiowska 2004, Gigliotti 1999, Oyonarte i in. 2008, Pisarek 2007, Pisarek 2013, Schlesinger 1990, Strahm i in. 2009, Traversa i in. 2008]. Analiza istotnych współczynników korelacji pomiędzy wszystkimi analizowanymi wskaźnikami jakości materii organicznej gleb leśnych wskazuje na podobny kierunek humifikacji materii organicznej w badanych poziomach genetycznych gleb Borów Niemodlińskich i Lasów Stobrawsko-Turawskich (tab. 3). Kwaśny odczyn wpływa na kumulację w profilu form substancji humusowych trudno ulegających humifikacji i jednocześnie na obniżenie ilości substancji humusowych charakteryzujących się wyższym stopniem humifikacji, w tym dojrzałych form kwasów huminowych.

WNIOSKI

1. Specyfika i troficzność siedliska leśnego wpłynęły na ukształtowanie właściwości fizykochemicznych i chemicznych analizowanych gleb leśnych, co wyrażało się przede wszystkim w ich kwaśnym odczynie i jakości materii organicznej.
2. We wszystkich analizowanych poziomach profili gleb leśnych jakość materii organicznej wykazywała istotne zróżnicowanie
3. W badanych glebach leśnych proces transformacji materii prowadzi do wytworzenia sub-

stancji humusowych o przewodzie labilnych form i substancji trudno podlegających transformacji, co potwierdzają istotne współczynniki korelacji.

LITERATURA

1. Bastida F., Zslnay A., Hernandez T., Garcia C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma* 147, 159–171.
2. Brożek S., 2011. Gleby I siedliska leśne nizin I wyżyn Polski – ujęcie klasyczne I numeryczne. *Roczn. Gleb.* 62/4, 7–21.
3. Chen, Y., Senesi, N., Schnitzer, M., 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 352–358.
4. Drozd J., 1973. Związki próchniczne niektórych gleb na tle ich fizykochemicznych właściwości. *Roczn. Gleb.* 24/1, 3–5.
5. Dziadowiec H., 2004. Proces humifikacji w glebach leśnych. Gołębiowska D. (red.) *Metody badań substancji humusowych ekosystemów wodnych i lądowych*. AR, Szczecin, 117–124.
6. Fröberg M., Hansson K, Kleja D.B., Alavi G., 2011. Dissolved organic carbon and nitrogen leaching from Scots pine, Norway spruce and silver birch stands in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 262, 1742–1747.
7. Gigliotti G., Businelli D., Giusquiani P.L., 1999. Composition changes of soil humus after Massie application of Urban waste kompost: a comparison between FT-IR spectroscopy and humification pa-

- rameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55, 23–28.
8. Gołąbek E., Aleksandrowicz M., 2004. Ocena wieku i stanu zdrowotnego drzew pomnikowych na Obszarze Chronionego Krajobrazu Bory Niemożlińskie. *Studia i Monografie UO* nr 350, ss. 64.
 9. Gołębiowska D., 2004. Spektrometria absorpcyjna w zakresie UV-VIS: parametry i sposoby analizy widm absorpcji związków humusowych. Gołębiowska D.(ed.) *Metody badań substancji humusowych ekosystemów wodnych i lądowych*. AR, Szczecin. 15–26.
 10. Jamroz E. 2012. Właściwości próchnic gleb leśnych pod zaroślami kosodrzewiny w Rezerwacie Śnieżnik Kłodzki *Sylwan* 156 (11), 825–832.
 11. Klasyfikacja gleb leśnych Polski. 2000. CILP. Warszawa, ss. 122.
 12. Korczyk A.F., 2008. Inwentaryzacja drzew starych i drzew gatunków ginących w Puszczy Białowiejskiej. *Forest Research Papers* 69 (2), 117–126.
 13. Kumada K., 1987. *Chemistry of soil organic matter*. Ed. Japan Scientific Societies Press Tokyo, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo. 41–46.
 14. Leski T., Rudawska M., Aucina A., Skridaila A., Riepsas E., Pietras M. 2009. Wpływ ściółki sosnowej i dębowej na wzrost sadzonek sosny i zbiorowiska grzybów mikoryzowych w warunkach szkółki leśnej. *Sylwan* 153 (10), 675–683.
 15. Muscolo A., Sidari M., Mercurio R., 2007. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio*, Poiret) stands. *Forest Ecology and Management* 242, 412–418.
 16. Oyonarte C., Aranda V., Durante P., 2008. Soil surface properties in Mediterranean mountain ecosystems: Effects of environmental factors and implications of management. *Forest Ecology and Management* 254, 156–165.
 17. Pacyniak C. 1967. Wiek najokazalszych drzew rosnących w Polsce. *Sylwan* 6-7, 155–161.
 18. Pacyniak C. 1968. Najstarsze drzewa w Polsce. *Wszechświat* 2, 29–32.
 19. Pisarek I., 2013. Zróżnicowanie pokrywy glebowej Opolszczyzny. *Inż. Ekolog.* 35, 126–136.
 20. Pisarek I., Głowacki M., 2009. Soil and water humic substances in groundwater reservoir area no 333 in Opole district (Poland). *Roczn. Gleb.* 60/2, 73–78.
 21. Pisarek I. 2007. Wpływ osadu ściekowego na kierunki transformacji związków próchnicznych i wybrane elementy żyzności gleby brunatnej wytworzonej z pyłu. *Studia i Monografie UO*, 385, ss. 130.
 22. PTG 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. *Roczn. Glebozn.*, 60, 2, 5–16.
 23. PN, 2002. Jakość gleb. PN-ISO-11261.
 24. PN, 2002. Jakość gleb. PN-ISO-10694.
 25. Systematyka gleb Polski. 2011. *Roczn. Glebozn.* 62/3, ss. 193.
 26. Qualls R.G., 2000. Comparison of the behavior of soluble organic and inorganic nutrients in forest soils. *Forest Ecology and Management* 138, 29–50.
 27. Strahm B.D., Harrison R.B., Terry T.A., Harrington T.B., Adams A.B., Footen P.W., 2009. Changes in dissolved organic matter with depth suggest the potential for postharvest organic matter retention to increase subsurface soil carbon pools. *Forest Ecology and Management* 258, 2347–2352.
 28. Sapek B., Sapek A., 1986. The use of 0,5M sodium hydroxide extract for characterizing humic substances from organic formations. *Roczn. Gleb.* 37/2-3, 139–147.
 29. Schlesinger W.H. 1990. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils. *Nature* 348, 232–234.
 30. Traversa A, D’Orazio V., Senesi N., 2008. Properties of dissolved organic matter in forest soils: Influence of different plant covering. *Forest Ecology and Management* 256, 2018–2028.
 31. Wrobel Z, Sagala J. 1999. Oznaczanie węgla organicznego w glebach metodą Altana (in Polish) Determination of organic carbon in organic soil by Alten method. *Methodology for determination of soil organic matter*. Warszawa. PTG No 120, 15–16.
 32. Yanaia R.D., Arthur M.A., Siccamac C., Federer A., 2000. Challenges of measuring forest organic matter dynamics: Repeated measures from a chronosequence. *Forest Ecology and Management* 138, 273–283.