

Magdalena Niewinna

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II
 Katedra Ekologii Stosowanej
 ul. Konstantynów 1H, 20–708 Lublin
 mniewinna@kul.pl

*Received: 12.05.2010**Reviewed: 14.06.2010*

WIELKOŚĆ OPADU I TEMPO ROZKŁADU ŚCIOŁKI W WYBRANYCH DRZEWOSTANACH BIESZCZADÓW

Litter fall and rate of decomposition in selected tree stands of the Bieszczady Mts

Abstract: The aim of the study was the assessment of organic matter fall from the layer of trees and shrubs, and the decomposition rate of forest litter in four types of forest stands (beech, fir, spruce, and mixed) typical for the landscape of the Bieszczady. The organic matter fall was the highest at beech and spruce stands ranging between 460 – 490 g d.m. · m⁻², while in mixed and fir stands the organic matter fall was at the level of 310 g d.m. · m⁻². The highest amount of organic matter decomposed per area unit was in mixed and spruce stands (over 430 g o.m. · m⁻²), while in beech stand the amount of decomposed organic matter was the lowest (170 g · m⁻²). High correlation was found between the initial mass of organic matter occurring within the area unit and the amount of decomposed matter (Pearson's correlation, $p < 0,000$, $r = 0,885$ for a beech stand, $r = 0,894$ for a fir stand, $r = 0,801$ for a spruce stand, $r = 0,978$ for a mixed stand). The rate of decomposition per 1 g of organic matter in studied litters decreases in a following order: mixed > spruce > beech > fir (from 4 to 1.87 mg · g o.m. ⁻¹ · 24h ⁻¹), and seems to be dependent on the chemical composition of the litter, because no differences were found between studied tree stands, in the decomposition rate of an uniform material (a hay).

Key words: litter fall, litter plots, decomposition rate, Carpathian Mts.

Wstęp

Dla obszaru Karpat lasy są dominującymi i bardzo ważnymi ekosystemami. W ekosystemach leśnych, w których ponad 90% produkcji roślinnej bezpośrednio trafia do łańcucha saprofagicznego, procesy rozkładu odgrywają decydującą rolę w krążeniu materii i przepływie energii (Singh, Gupta 1977; Maguire 1994; i in.). Problem istotnej roli procesów rozkładu dla funkcjonowania ekosystemów wciąż jest przedmiotem dyskusji i badań (Prescott 2005). W lasach strefy umiarkowanej coroczny opad z warstwy drzew i krzewów wynosi od

1,5 t·ha⁻¹ w borach suchych do ponad 6 t·ha⁻¹ w żyznych grądach i łągach (Józefaciukowa 1975; Dziadowiec, Kaczmarek 1997). Opad materii organicznej ma charakter ciągły, choć cechuje się wyraźnymi fluktuacjami w zależności od pory roku i jest uzależniony od warunków atmosferycznych, rzeźby terenu oraz składu gatunkowego i struktury zbiorowiska roślinnego. Obumierające liście, igły i roślinność runa stanowią zaledwie ok. 3% całkowitej biomasy, ale zawierają od 10 do 65% puli pierwiastków biogennych (Weiner, Grodziński 1984). Tempo rozkładu jest bardzo silnie związane z jakością rozkładanego materiału oraz ilością organizmów odpowiedzialnych za rozkład (Coûteaux i in. 1995; Aerts 1997). Szczątki roślinne cienkie i miękkie rozkładają się szybciej niż materiały twarde i skórzaste. Ogólnie można powiedzieć, że ściółki z dużą zawartością lignin i niską zawartością azotu wolniej ulegają rozkładowi niż ściółki z małą zawartością lignin i dużą zawartością azotu (Hendricks, Boring 1992). Głównymi czynnikami klimatycznymi warunkującymi tempo rozkładu są temperatura i wilgotność (Swith, Anderson 1989; Lavelle i in. 1995). Jak wiadomo wilgotność wpływa nie tylko na wyflukiwanie pierwiastków, ale także stwarza odpowiednie warunki dla życia mikroorganizmów i bezkręgowców (Swith, Anderson 1989; Tietema, Wessel 1994). Wilgotność i temperaturę integruje wskaźnik aktualnej ewapotranspiracji, z którym tempo dekompozycji dobrze koreluje, przynajmniej w fazie początkowej (Coûteaux i in. 1995). Pionowe zróżnicowanie warunków klimatycznych w obszarach górskich ma wpływ na procesy rozkładu: wraz ze wzrostem wysokości stwierdza się spowalnianie tempa dekompozycji resztek roślinnych (Coûteaux i in. 2002). Dla gleb Karpat wykazano, że o tempie rozkładu decyduje przede wszystkim zespół czynników klimatyczno-glebowych; tempo rozkładu spada konsekwentnie wraz z wysokością do piętra alpejskiego włącznie, natomiast powyżej niego ponownie rośnie (Drewnik 2006).

Literatura dotycząca tych procesów w obrębie Bieszczadów jest uboga i skupia się głównie na wpływie zanieczyszczeń na system glebowy (Fischer, Bieńkowski 1999), bądź też na specyfice gleb górskich (Drewnik 1996, 2006). Zarówno dynamika opadu organicznego jak i tempo jego rozkładu, ze względu na swą złożoność i różnorodność czynników warunkujących ich przebieg w każdym zespole roślinnym, posiadają swą własną specyfikę i wymagają odrębnych badań.

Celem niniejszej pracy jest charakterystyka opadu z warstwy drzew i krzewów oraz ocena tempa rozkładu materii organicznej w wybranych drzewostanach Bieszczadów. Badania prowadzono równocześnie, a więc w miarę jednorodnych warunkach klimatycznych, co pozwala na porównanie stanowisk między sobą, jednakże mała liczba prób nie pozwala uogólniać otrzymanych wyników do skali całych Bieszczadów.

Teren badań

Badania przeprowadzono na terenie Parku Krajobrazowego Doliny Sanu, w odległości ok. 2 km od wsi Procisne ($\lambda = 22^{\circ}39' E$, $\Phi = 49^{\circ}12' N$). Na północno-wschodnim stoku Średniego Wierchu, w oparciu o dominujące gatunki drzew, wyznaczono 4 poletka badawcze o wymiarach 50 m na 50 m (zaczynając od położonego najwyżej):

Drzewostan bukowy z wyraźną dominacją buka *Fagus sylvatica* L., w którym ok. 80% stanowią drzewa 100-letnie, występują również okazy ponad 140-letnie i nieznaczna domieszka jodły; słabo rozwinięty podrost buka i jodły, runo dość skąpo rozwinięte z jeżyną gruczołową *Rubus hirtus* L., narecznicą samczą *Dryopteris filix-mas* i bluszczikiem *Glechoma hederacea* L.; poletko to położone jest na wysokości 740 m n.p.m., na stoku o łagodnym nachyleniu i wystawie wschodniej;

Drzewostan jodłowy z wyraźną dominacją jodły pospolitej *Abies alba* Mill., ponad 90% stanowią drzewa 100-letnie, występuje podrost buka, w podszyciu leszczyna pospolita *Corylus avellana* L., a w runie leśnym jeżyna, trawy, pokrzywy; poletko to położone jest na wysokości ok. 670 m n.p.m., na stoku o nachyleniu ok. 7% ekspozycji północnej;

Drzewostan świerkowy bez domieszek innych drzew, utworzony przez ponad 40-letnie świerki *Picea abies* (L.) H. Karst; w warstwie runa występuje jeżyna oraz mszaki; poletko to położone jest na wysokości ok. 620 m n.p.m., na terenie płaskim;

Drzewostan mieszany – bez wyraźnej dominacji jednego gatunku, występuje tu olsza szara, brzoza, buk, świerk; w warstwie runa dominuje jeżyna, występują także czyściec leśny *Stachys sylvatica* L., narecznica samcza *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott; poletko to położone na tej samej wysokości co drzewostan świerkowy – 620 m n.p.m., na terenie płaskim.

Drzewostany te występują w piętrze regla dolnego, dla którego naturalnym zespołem roślinnym jest buczyna karpacka *Dentario glandulosae-Fagetum*. Drzewostan bukowy i jodłowy są częścią tego zespołu i są pochodzenia naturalnego, natomiast drzewostan świerkowy i mieszany mają charakter antropogeny i występują na terenach porolnych. Glebami charakterystycznymi dla badanych obszarów są gleby brunatne kwaśne, pod względem gatunku gleby zaliczane do glin ciężkich.

Metodyka

Opad roślinny z warstwy drzew i krzewów

Oceny opadu roślinnego dokonano metodą chwytnicy. W każdym z drzewostanów założono po 15 chwytnicy na okres sierpień 2002 – maj 2004. Chwytnice

opadu były to drewniane skrzynki wysokości 15 cm i powierzchni 0,25 m², których dno wykonano z siatki styłonowej, o wielkości oczek 0,5 x 0,5 mm. Skrzynki rozłożono w sposób losowy na powierzchni ściółki. Zawartość wybierano trzykrotnie: w październiku 2002, w maju 2003 i w maju 2004. Podczas I zbioru oszacowano tylko masę listowia, natomiast podczas dwóch kolejnych zawartość skrzynek dzielono na frakcje: miękką (łatwo rozkładalną), którą stanowiły liście, igły, kwiaty, oraz twardą (trudno rozkładalną), którą stanowiły gałązki, szyszki, kora, itp.

Oceniano suchą masę całkowitą poszczególnych frakcji, poprzez suszenie do stałej masy w temp. 60°C, natomiast w celu określenia w nich zawartości popiołu wykonywano po 30 naważek dla każdej frakcji. Materiał mielono, suszono i wykonywano naważki o masie ok. 1 – 1,5 g (ważone z dokładnością 0,001g), a następnie spalano w piecu muflowym w temperaturze 600°C przez 2 godziny.

Jako że w okresie letnim wielkość opadu, szczególnie w lasach liściastych, jest niewielka (Dziadowiec, Plichta 1985; Bednarek i in. 2004), przyjęto, że brak pomiaru wielkości opadu w okresie VI – VII 2002 nie odegrał decydującej roli w ocenie rocznej masy opadu. Dlatego też okresy VIII.2002 – V.2003, VI.2003 – V.2004 potraktowano jako dwie roczne oceny ilości opadu.

Ocena tempa rozkładu

W celu oceny tempa rozkładu posłużono się zmodyfikowaną metodą podwójnych poletek (Mason 1976; Dodd i Lauenroth 1980). Metodę przystosowano do warunków naturalnego ekosystemu leśnego. Powierzchnie do pomiaru tempa rozkładu ograniczono drewnianą ramą bez dna, o wysokości 15 cm i wymiarach 0,5 x 0,5 m, nakryto z wierzchu siatką styłonową o wielkości oczek 1 mm² przepuszczającą wodę, a znacznie ograniczającą przedostawanie się szczątków organicznych. Ramy te wkopywano w glebę i dodatkowo obsypywano dookoła ziemią, w celu ograniczenia wymywania materii organicznej poza ich obręb.

Jako materiał poddany rozkładowi wykorzystano warstwę ściółki zalegającą w maju na dnie lasu. Na każdym stanowisku badawczym w sposób losowy założono powierzchnie próbne, na których z obszaru ograniczonego ramą wybrano ściółkę (warstwa AO), włożono do worka i przewieziono do laboratorium. Oznaczano mokrą masę każdej próby (z dokładnością do 0,001g) i pobrano próbki na określenie suchej masy i materii organicznej. Zważony materiał zawieszono ponownie w teren i wyłożono do tej samej skrzynki, z której poprzednio był zebrany, a następnie zabezpieczono ją z wierzchu siatką. W laboratorium dla ściółki z każdego typu lasu wykonano po 15 naważek o wadze ok. 5 g w celu określenia suchej masy, z których po rozdrobnieniu w młynku nożowym wykonano po 30 oznaczeń zawartości popiołu w badanym materiale.

Po okresie ekspozycji w terenie materiał z każdej powierzchni zebrano do osobnego worka i przewieziono do laboratorium. Każdą próbę w całości suszono

do stałej masy; w celu określenia w niej zawartości materii organicznej, całość każdej próby ręcznie mieszano, a następnie pobierano próby, które rozdrabniano w młynku. Z tak uzyskanego materiału wykonywano po 5 naważek o wadze ok. 1,5 g w celu określenia zawartości popiołu. Na tej podstawie oznaczano ubytki materii organicznej dla każdej próby osobno.

W celu bezpośredniego porównania tempa rozkładu w badanych drzewostanach w następnym roku dokonano oceny tempa rozkładu jednorodnego materiału roślinnego, którym było siano, pochodzące z uprawowej łąki końskiej (monokultura *Dactylis glomerata* L.). Na każdym stanowisku założono losowo po 5 skrzynek rozkładowych na okres 26.VI–25.X.2003 i eksponowano ok. 150 g suchej masy powietrznej siana. Analizy przeprowadzono analogicznie jak dla ściółki. Ubytki materii organicznej wyrażono w $\text{mg} \cdot \text{1g m.o.}^{-1} \cdot \text{24 h}^{-1}$.

Wyniki uzyskane tą metodą są porównywalne z tempem rozkładu oznaczanym w warstwie ściółki metodą woreczków z listowiem (Niewinna 2009).

Wyniki i dyskusja

Opad roślinny

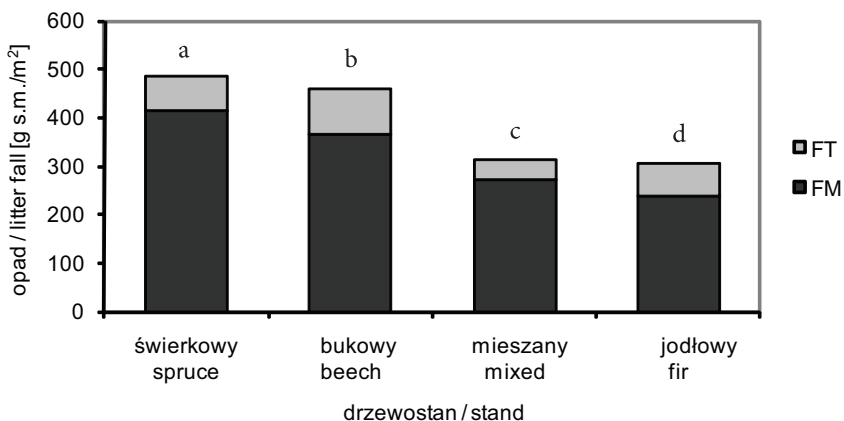
Całkowita masa opadu z warstwy drzew i krzewów w dwóch kolejnych okresach pomiarowych (VIII.2002–V.2003 i VI.2003–V.2004) była bardzo zbliżona w obrębie jednego drzewostanu (Tab. 1). Również stosunek frakcji miękkiej i twardej pozostawał na podobnym poziomie. Nie stwierdzono różnic w masie opadu frakcji twardej między kolejnymi latami w obrębie drzewostanów, jak i między badanymi drzewostanami; jej wielkość zawierała się w przedziale 41–83 $\text{g s.m.} \cdot \text{m}^{-2}$ ($p > 0,05$, test RIR Tukeya). Udział frakcji twardej w całkowitej masie opadu w kolejnych latach pomiarowych wyniósł: w drzewostanie jodłowym odpowiednio 21 i 25%, w świerkowym – 15% dla obydwu zbiorów i w mieszanym odpowiednio 12 i 15%. Jedynie w drzewostanie bukowym w drugim roku badań masa tej frakcji była znacznie wyższa, zarówno w stosunku do ubiegłego sezonu badawczego w tym drzewostanie, jak i do pozostałych drzewostanów ($p < 0,001$, test RIR Tukeya). Przyczyną tego mógł być zaobserwowany zwiększony opad bukwi, związany z rokiem intensywniejszego owocowania.

Z danych z dwóch okresów pomiarowych wyliczono średni roczny opad i porównano drzewostany pomiędzy sobą. Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie między masą opadu w drzewostanach świerkowym i bukowym oraz między mieszanym i jodłowym (Ryc. 1). Drzewostany bukowy i świerkowy cechują się zdecydowanie wyższym opadem całkowitym w stosunku do drzewostanów mieszanego i jodłowego (odpowiednio 490 – 460 $\text{g s.m.} \cdot \text{m}^{-2}$ i ok. 310 $\text{g s.m.} \cdot \text{m}^{-2}$).

Tabela 1. Całkowita masa opadu organicznego [C] w badanych drzewostanach Bieszczadów z uwzględnieniem frakcji miękkiej [FM] – liście, igły, kwiaty i frakcji twardej [FT] – kora, bukwinie, gałązki, gałązki, w dwóch okresach badawczych: VIII. 2002 – V.2003, VI.2003 – V.2004.

Table 1. Total mass of organic matter fall [C] in selected tree stands of the Bieszczady divided into a soft fraction [FM] – leaves, flowers, and hard fraction [FT] – bark, beechnuts, cones, twigs, in two periods of the study: August 2002 – May 2003, June 2003 – May 2004.

Okres Period	Frakcja Fraction	Drzewostan / Tree stand							
		Bukowy Beech		Jodłowy Fir		Świerkowy Spruce		Mieszany Mixed	
		g s.m. * m ² Śr./Mean ± SD	g m.o. * m ² Śr./Mean ± SD	g s.m. * m ² Śr./Mean ± SD	g m.o. * m ² Śr./Mean ± SD	g s.m. * m ² Śr./Mean ± SD	g m.o. * m ² Śr./Mean ± SD	g s.m. * m ² Śr./Mean ± SD	g m.o. * m ² Śr. ± SD
VIII.02 – V.03	FM	429 ± 49	405 ± 46	215 ± 43	204 ± 41	427 ± 94	403 ± 89	273 ± 46	243 ± 38
	FT	41 ± 22	40 ± 21	56 ± 28	55 ± 27	74 ± 23	72 ± 22	37 ± 22	36 ± 21
	C	470 ± 63	445 ± 60	271 ± 55	258 ± 52	501 ± 112	475 ± 106	310 ± 56	294 ± 53
VI.03 – V.04	FM	304 ± 83	284 ± 78	260 ± 48	246 ± 46	404 ± 81	480 ± 77	269 ± 45	260 ± 44
	FT	148 ± 64	145 ± 64	83 ± 55	80 ± 53	67 ± 33	65 ± 32	48 ± 22	44 ± 20
	C	452 ± 134	429 ± 125	343 ± 80	326 ± 76	471 ± 96	445 ± 90	317 ± 52	304 ± 50



Ryc. 1. Średnie roczne tempo opadu z warstwy drzew i krzewów w badanych drzewostanach ($\text{g s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$) z uwzględnieniem frakcji twardej [FT] – kora, bukowie, szyszki, gałązki oraz frakcji miękkiej [FM] – liście, igły, kwiaty (różnice istotne statystycznie: ac, ad, bc, bd – $p < 0,05$, test RIR Tukey’a).
Fig. 1. Average annual rate of litter fall from the layer of trees and shrubs in studied tree stands ($\text{g d.m.}\cdot\text{m}^{-2}$) divided into a hard fraction [FT] – bark, beechnuts, cones, twigs, and a soft fraction [FM] – leaves, flowers (significant differences: ac, ad, bc, bd – $p < 0,05$, Tukey’s test RIR).

W lasach europejskich opad martwych szczątków z warstwy drzew i krzewów wynosi od $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w borach do ponad $6,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ żyźnych grądach, łągach i buczynach (Dziadowiec, Plichta 1985; Dziadowiec, Pokojska 1988; Dziadowiec, Kaczmarek 1997; Kavvadias i in. 2001; Parzych, Trojanowski 2009). Prace poświęcone badaniom opadu organicznego w buczynach Polski wskazują, że jego wartości mogą wahać się w szerokim zakresie od ok. 3 do ok. $8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Kowalkowski, Jóźwiak 2003; Małek 2006). Średnia masa opadu organicznego na powierzchni badawczej Stacji Monitoringu Święty Krzyż w drzewostanie bukowym z podrostem jodłowym wyniosła $4,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Kowalkowski i Jóźwiak 2003), podczas gdy w drzewostanach bukowych Ojcowskiego Parku Narodowego w wariancie ubogim $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w wariancie żyźnym $3,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Małek 2006). Uzyskane wielkości opadu wydają się być dla lasów bukowego i świerkowego dość wysokie (odpowiednio $4,6$ i $4,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), podczas gdy drzewostany jodłowy i mieszany cechują się średnim opadem (odpowiednio $3,07$ i $3,14 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Wielkość opadu zależy od wielu czynników, między innymi od warunków glebowych, charakteru zbiorowiska roślinnego, wieku drzewostanu, warunków klimatycznych (Małek 2006; Kowalkowski, Jóźwiak 2007; Parzych, Trojanowski 2009). Ze względu na bliskość położenia badanych drzewostanów względem siebie i małe różnice wysokości, pozostawały one pod wpływem porównywalnych wa-

runków klimatycznych i nie różniły się pokrywą glebową. Wydaje się że głównym czynnikiem decydującym o dopływie roślinnej materii organicznej do warstwy ściółki było zagęszczenie drzewostanów, co potwierdzają obserwacje terenowe. Mimo, iż nie znaleziono bezpośredniego związku między wiekiem drzewostanów a wielkością opadu, to najwyższa średnia opadu organicznego w drzewostanie świerkowym ($4,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), może wynikać z młodego wieku i dużego zagęszczenia drzew. Masa opadu organicznego osiąga bowiem swoje maksimum do wieku lasu 40–60 lat i następnie w wieku 120–140 lat szybko maleje (Fiedler i in. 1973; Molczanov 1971). Duże różnice w masie opadu organicznego w starszych drzewostanach – bukowym i jodłowym – wydają się być uwarunkowane głównie składem gatunkowym. W badaniach Kowalkowskiego i Józwiaka (2007) również mniejszy opad wystąpił w drzewostanie jodłowo-bukowo-grabowym, o wieku buka 60–140 lat i jodły do 150 lat, w stosunku do drzewostanu bukowego w wieku 60–40 lat (odpowiednio $4,7$ i $5,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Masa ściółki i tempo rozkładu materii organicznej

Zastosowanie metody powierzchni rozkładowych pozwoliło na jednokrotną ocenę masy ściółki zdeponowanej na dnie lasu w każdym ze stanowisk badawczych. Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie w ilości materii zdeponowanej w postaci ściółki w lasach świerkowym, jodłowym i mieszanym (Tab. 2).

Tabela 2. Masa ściółki zebranej w maju 2002 oraz tempo jej rozkładu w okresie maj – październik 2002 w badanych drzewostanach [$\text{g m.o.} \cdot \text{m}^{-2}$].

Table 2. The amount of litter collected in May 2002, and its decomposition rate between May and October 2002 in studied tree stands [$\text{g o.m.} \cdot \text{m}^{-2}$]

Drzewostan Stand	Ściółka / Litter $\text{g m.o.} \cdot \text{m}^{-2}$		Rozkład / Decomposition $\text{g m.o.} \cdot \text{m}^{-2}$	
	Min. ÷ max.	Śr./Mean ± SD	Min. ÷ max.	Śr. / Mean ± SD
Bukowy <i>Beech</i>	147 ÷ 930	406 ± 208	73 ÷ 315	171 ± 80
Jodłowy <i>Fir</i>	439 ÷ 1430	802 ± 309	110 ÷ 563	267 ± 146
Świerkowy <i>Spruce</i>	338 ÷ 1400	891 ± 326	209 ÷ 695	430,3 ± 146,2
Mieszany <i>Mixed</i>	142 ÷ 908	662 ± 193	73 ÷ 599	447,7 ± 133,6

W drzewostanie bukowym zanotowano ponad 2-krotnie mniejszą ilość ściółki w stosunku do lasów iglastych. Należy zwrócić uwagę, że dla tego stanowiska uzyskano największy rozrzut wyników rzędu 51%, co świadczy o tym, że pokrywa ściółkowa stanowi tutaj najbardziej niejednorodną warstwę pod względem grubości – są miejsca z bardzo dużą i bardzo małą pokrywą ściółkową. Wydaje się

to być uwarunkowane ukształtowaniem tej powierzchni badawczej, cechującej się licznymi zagłębieniami. Jak wiadomo ściółki liściaste są podatne na wywiewanie, szczególnie w okresie jesiennym, co może prowadzić do gromadzenia się liści w zagłębieniach terenu. Natomiast ściółki iglaste, ze względu na zwartą strukturę, są mniej podatne na wywiewanie.

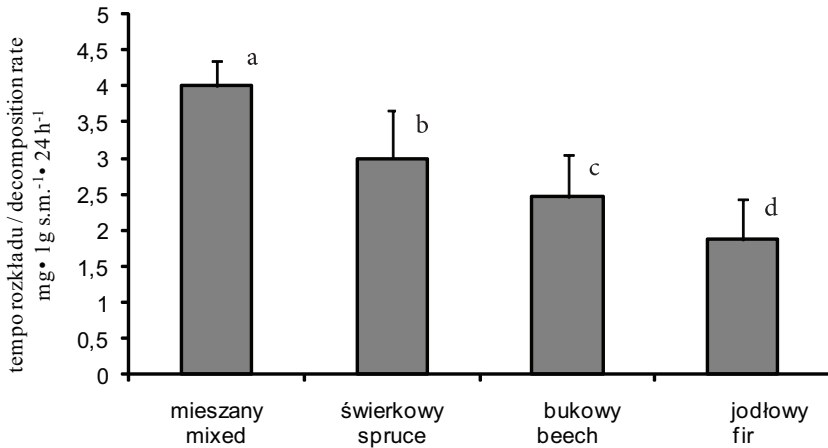
Na pozostałych stanowiskach rozrzut wyników jest niższy i przyjmuje wartości w zakresie 29%–38% (dla lasu jodłowego 38%, świerkowego 36% i mieszanego 29%).

Tempo rozkładu ściółki wyrażone ubytkami materii organicznej z każdej powierzchni rozkładowej przeliczono na 1 m². Dla poszczególnych drzewostanów ilość rozkładanej materii wahała się w szerokim zakresie, co powodowało, że wartość odchylenia standardowego również była wysoka (Tab. 2). Stwierdzono wysoki poziom korelacji między ilością materii organicznej założonej a ilością materii rozłożonej na jednostce powierzchni w okresie badawczym (korelacja Pearsona, $p < 0,000$, $r = 0,88532$ dla drzewostanu bukowego, $r = 0,89441$ dla jodłowego, $r = 0,80063$ dla świerkowego, $r = 0,97751$ dla mieszanego). Oznacza to, że ilość dostępnej materii organicznej warunkuje ilość materii rozłożonej. Oczywiście jest, że zjawisko to może występować jedynie w pewnych granicach.

W celu porównania tempa rozkładu między badanymi drzewostanami oparto się na danych z dobowego tempa rozkładu ($\text{g} \cdot \text{1g m.o.}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$). Najszybciej rozkładała się ściółka lasu mieszanego, natomiast najwolniej proces ten przebiegał dla ściółki jodłowej, przy czym różnice w szybkości rozkładu są istotne statystycznie dla wszystkich badanych ściółek (Ryc. 2).

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono zależności między wysokością danego stanowiska a tempem dekompozycji. Różnice między najwyższym położonym stanowiskiem (drzewostan bukowy – 740 m n.p.m.) i najniższymi stanowiskami – drzewostan mieszany i świerkowy (620 m n.p.m.) wynosiły 120 m i najprawdopodobniej ewentualne różnice klimatyczne na tych stanowiskach były zbyt małe, aby decydować o tempie dekompozycji.

Skład badanych ściółek był bardzo niejednorodny i zawierał, oprócz wierzchniej warstwy ubiegłorocznego opadu, części roślinne będące na różnym etapie rozkładu, również część amorficzną. Ściółki liściaste cechowały się większą zawartością materii organicznej w stosunku do ściółek iglastych. Natomiast zawartość azotu i stosunek C:N w ściółkach pochodzących z drzewostanów mieszanego, jodłowego i świerkowego pozostawały na podobnym poziomie. Jedynie w ściółce drzewostanu bukowego stosunek C:N był wyraźnie wyższy (Tab. 3).



Ryc. 2. Dobowe tempo rozkładu ściółek w badanych drzewostanach (różnice istotne statystycznie: ab, ac, ad, bd – $p < 0,001$; bd, cd – $p < 0,01$ ANOVA, Test NIR, $n = 57$)

Fig. 2. Daily rate of litter decomposition in studied tree stands (significant differences: ab, ac, ad, bd – $p < 0,001$; bd, cd – $p < 0,01$ ANOVA, Test NIR, $n = 57$)

Tabela 3. Charakterystyka ściółki zebranej w maju 2002 w badanych drzewostanach.

Table 3. Characteristics of forest litter collected in May 2002 in studied tree stands.

Materiał / Material	Popiół Ash content	Materia organiczna Organic matter	Zawartość pierwiastków Elements' contents		
	g · g s.m. ⁻¹ ± SD	%	C %	N %	C: N
ściółka bukowa beech litter	0,126 ± 0,037	87	49,06	1,38	36
ściółka jodłowa fir litter	0,191 ± 0,013	81	42,05	1,72	24
ściółka świerkowa spruce litter	0,230 ± 0,008	77	41,76	1,66	25
ściółka mieszana mixed litter	0,156 ± 0,009	85	45,02	1,86	24

Wiadomo że materia organiczna, w zależności od stanu jej przetworzenia, mineralizuje się z różną intensywnością. We wstępnej fazie rozkładu mineralizują się związki łatwo przyswajalne (cukry i białka), a lignina ulega względnej kumulacji. Dlatego też relatywny udział azotu i węgla odgrywa wiodącą rolę tylko we wczesnych stadiach mineralizacji, podczas gdy w fazach późniejszych to lignina może być odpowiedzialna za tempo rozkładu (Dziadowiec 1990). Ogólnie ściółki z wysoką zawartością lignin i niską zawartością N wolniej ulegają rozkładowi, aniżeli ściółki z niską zawartością lignin, a wysoką zawartością N (Hendricks, Boring

1992). Dlatego też przypuszcza się, że czynnikiem warunkującym tempo rozkładu badanych ściółek mogła być zawartość lignin, jednakże nie była ona oznaczana.

Aby potwierdzić hipotezę, że jakość materiału rozkładanego była czynnikiem decydującym o tempie dekompozycji, dokonano oceny tempa rozkładu jednorodnego materiału roślinnego – siana, co pozwoliło na porównanie aktywności systemu dekompozycyjnego badanych drzewostanów. Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie (ANOVA, test RIR Tukey'a, $p > 0,05$) w tempie rozkładu siana w drzewostanach bukowym, jodłowym i mieszanym; mieściło się ono w przedziale $5,16 - 5,67 \text{ mg} \cdot \text{g} \cdot \text{mo}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ (z powodów niezależnych od prowadzącego badania powierzchnie rozkładowe w drzewostanie świerkowym zostały zniszczone).

Uzyskane wyniki tempa rozkładu są zdecydowanie niższe w stosunku do danych uzyskanych na stanowiskach kontrolnych podczas badań prowadzonych w Bieszczadach, a dotyczących wpływu zanieczyszczeń z wypalarni węgla drzewnego na degradację gleby (Fischer, Bieńkowski 1999). Być może o tak szybkim tempie rozkładu w trakcie cytowanych badań ($9,3 - 11,2 \text{ mg} \cdot \text{g} \cdot \text{mo}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$), zadecydowało wyjątkowo mokre lato oraz dużo krótsza, bo 8-tygodniowa ekspozycja woreczków w warstwie gleby. Rozkład celulozy na stanowisku kwaśnej buczyny górskiej w okresie letnim dał wyższe wyniki, rzędu $3,47 - 7,50 \text{ mg} \cdot \text{g} \cdot \text{mo}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ (Drewnik 1996), w stosunku do uzyskanego rozkładu ściółki bukowej. Jednakże wyniki uzyskane tą metodą są zazwyczaj wyższe od otrzymanych metodami woreczków czy powierzchni rozkładowych (Niewinna 2009). Natomiast otrzymane tempo rozkładu ściółki bukowej i świerkowej jest porównywalne z tempem rozkładu oznaczonym w rumuńskiej części Karpat (Niewinna, Kwiatoszevska 2009). Ogólnie przyjmuje się, że tempo rozkładu liści buka jest powolne, określane na poziomie 30% ubytku początkowej masy w ciągu roku (Jørgensen 1991; Wise, Schaeffer 1994), a więc na poziomie zbliżonym do uzyskanego w tych badaniach w ciągu 6 miesięcy, co może świadczyć o dość dużej aktywności systemu glebowego. Albers i in. (2004) podczas ekspozycji woreczków z igłami świerka i liśćmi buka w warstwie ściółki w obszarze górskim w północnych Niemczech, stwierdzili że w trakcie czteroletniej ekspozycji rozkład igieł świerka jest szybszy niż rozkład liści buka. Prescott i in. (2000) twierdzi, że mimo początkowego, szybszego rozkładu listowia w stosunku do igieł po 4 latach ekspozycji różnice w ilości nie rozłożonej materii organicznej są niewielkie.

Wnioski

1. Ze względu na całkowitą wielkość opadu uzyskaną w latach 2002–2004 badane drzewostany można podzielić na dwie grupy: (1) o większym opadzie rzędu $460-490 \text{ g s.m.} \cdot \text{m}^{-2}$ – drzewostany bukowy i świerkowy;

- (2) o mniejszym opadzie rzędu $310 \text{ g s.m.} \cdot \text{m}^{-2}$ – drzewostany mieszane i jodłowy. Udział frakcji miękkiej (liście, igły, kwiaty) i twardej (kora, bukwie, szyszki, gałązki) w opadzie całkowitym w dwóch kolejnych okresach pomiarowych pozostawał na podobnym poziomie.
2. W przeliczeniu na jednostkę powierzchni najwięcej materii organicznej rozłożyło się w drzewostanach mieszanym i świerkowym (ponad $430 \text{ g m.o.} \cdot \text{m}^{-2}$), natomiast najmniej w bukowym – $170 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$.
 3. Wykazano, że w okresie badawczym ilość materii organicznej rozłożonej na jednostce powierzchni jest zależna od materii organicznej dostępnej, czyli od masy ściółki. Stwierdzono wysoki poziom korelacji między początkową ilością materii organicznej założonej, a ilością materii rozłożonej na jednostce powierzchni (korelacja Pearsona, $p < 0,000$, $r = 0,88532$ dla drzewostanu bukowego, $r = 0,89441$ dla jodłowego, $r = 0,80063$ dla świerkowego, $r = 0,97751$ dla mieszanego).
 4. Dobowe tempo rozkładu materii organicznej maleje w następującym porządku: ściółka mieszana > świerkowa > bukowa > jodłowa (od 4,0 do 1, 87 $\text{mg} \cdot \text{g m.o.}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$) i wydaje się to być uwarunkowane przede wszystkim właściwościami materiału poddanego rozkładowi. W obrębie drzewostanów bukowego, jodłowego i mieszanego nie stwierdzono różnic w tempie rozkładu jednorodnego materiału roślinnego (siana).

Literatura

- Aerts R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 9: 439–449.
- Albers D., Migge S., Schaefer M., Scheu S. 2004. Decomposition of beech leaves (*Fagus sylvatica*) and spruce needles (*Picea abies*) in pure and mixed stands of beech and spruce. *Soil Biol. Biochem.* 36: 155–164.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z. 2004. Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 343 ss.
- Coûteaux M., Bottner P., Berg B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trop. Ecol. Evol.* 10: 63–66.
- Coûteaux M. M., Sarmiento L., Bittner P., Acevedo D., Thiéry J. M. 2002. Decomposition of standard plant material along an altitudinal transect (65–3968 m) in the tropical Andes. *Soil Biol. Biochem.* 34: 69–78.
- Dodd J.L., Lauenroth W. K. 1980. Effects of low-level SO_2 fumigation on decomposition of western wheatgrass litter in mixed grass prairie. In: E.R. Preston, T.L. Gullet (eds.): Bioenvironmental impact of a coal-fired power plant, Fifth Interim. Report (Colstrip, Montana.). Corvallis Environ. Res. Lab. US/EPA Corvallis, Oregon, ss. 213–217.
- Drewnik M. 1996. Próchnica i tempo rozkładu materii organicznej w wybranych glebach Bieszczadzkiego Parku Narodowego. *Roczniki Bieszczadzkie* 5: 175–185.
- Drewnik M. 2006. The effect of environmental conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils. *Geoderma* 132: 116–130.

- Dziadowiec H. 1990. Rozkład ściółek w wybranych ekosystemach leśnych (mineralizacja, uwalnianie składników pokarmowych, humifikacja). UMK w Toruniu, Rozprawy, 137 ss.
- Dziadowiec H., Kaczmarek J. 1997. Wpływ składu gatunkowego drzewostanu na opad roślinny i zasoby glebowej materii organicznej w Górznięsko-Lidzbarskim Parku Krajobrazowym na Pojezierzu Chełmińsko-Dobrzyńskim. W: Zintegrowany monitoring Środowiska Przyrodniczego. Materiały z VIII Sympozjum ZMŚP, Suwałki-Krzywe, ss. 73-76.
- Dziadowiec H., Plichta W. 1985. The effect of nun moth (*Lymantria monacha* L.) outbreak on characteristics of litter fall in the pine forest. Ekol. Pol. 28. (1): 111-128.
- Dziadowiec H., Pokojka U. 1988. Phosphorus cycling in soil of forest ecosystems in northern Poland. In: H. Tissen (ed.): Phosphorus cycle in terrestrial and aquatic ecosystems. SCOPE and the UNEP, ss. 77-87.
- Fiedler H.J., Nebe W., Hoffman F. 1973. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. V.E.B. Gustav Fischer Verlag, Jena, 481 ss.
- Fischer Z., Bieńkowski P. 1999. Some remarks about the effect of smoke from charcoal kilns on soil degradation. Environ. Monit. Assess. 58: 349-358.
- Hendricks J. J., Boring L. R. 1992. Litter quality of native herbaceous legumes in a burned pine forest of the Georgia Piedmont. Can. J. For. Res. 22: 2007-2010.
- Jørgensen R. G. 1991. Organic matter and nutrient dynamics of litter layer on a forest řędzina under beech. Biol. Fert. Soils 19: 155-158.
- Józefaciukowa W. 1975. Variation in the fall rate of plant debris from trees in the association *Vaccinio myrtilli-Pinetum typicum* (Kobenzda 1930) Br.-Bl. et Vliгер 1939 in the Kampinos National Park. Ekol. Pol. 23 (1): 30-36.
- Kavvadias V. A., Alifragis D., Tsioutsis A., Brofas G., Stamatelos G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern. For. Ecol. Manag. 144: 113-127.
- Kowalkowski A., Józwiak M. 2003. Dynamika masy opadu organicznego w latach 1994-2002 w dwóch drzewostanach górskiej kwaśnej buczyny na głównym masywie Łysogór. Regionalny Monitoring Środowiska Geograficznego 4: 79-98.
- Kowalkowski A., Józwiak M. 2007. Czasowa zmienność opadu organicznego drzewostanach jodłowo-bukowych w latach 1994-2006 na głównym masywie Łysogór. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce. Monitoring Środowiska Przyrodniczego 8: 65-72.
- Lavelle P., Lattaud C., Trigo D., Barois I. 1995. Mutualism and biodiversity in soil. Plant Soil. 170: 23-33.
- Maguire D. A. 1994. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir trees in stands of varying density. For. Ecol. Manag. 70: 41-53.
- Małek S. 2006. Struktura i dynamika opadu organicznego w drzewostanie bukowym na powierzchni monitoringowej w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995-2000. Leśne Prace Badawcze 3: 71-82.
- Mason C.F. 1976. Decomposition. University of East Anglia. The Institute of Biology's Studies in Biology 74: 58 pp.
- Molchanov A.A. 1971. Produktivnost organiczeskoj massy w lessach rozlicznych zon. Nauka, Moskwa, 271 ss.
- Niewinna M. 2009. A comparison of selected methods for estimation of organic matter decomposition rate. Pol. J. Soil Sci. 17 (2): 183-192.
- Niewinna M., Kwiatoszewska M. 2009. The decomposition rate of organic matter in four various tree stands of Romanian Carpathians (Vanatori Neamt Nature Park). Studies and Research in Vanatori Neamt Nature Park 2: 23-27.
- Parzych A., Trojanowski J. 2009. Struktura i dynamika opadu organicznego w wybranych drzewostanach Słowińskiego Parku Narodowego w latach 2003-2005. Leśne Prace Badawcze 70 (1): 41-48.
- Prescott C.E. 2005. Do rates of litter decomposition tell us anything we really need to know? For. Ecol. Manage. 220: 66-74.

- Prescott C. E., Zabek L. M., Staley C. L., Kabzem R. 2000. Decomposition of broadleaf and needle litter in forests of British Columbia: influences of litter type, forest type, and litter mixtures. *Can. J. For. Res.* 30: 1742–1750.
- Singh J.S., Gupta S.R. 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems – *Bot. Rev.* 43 (4): 449 – 528.
- Swift M. J., Anderson J. M. 1989. Decomposition. In: H. Lieth, M. Werger (eds.). *Tropical Rain Forest Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, pp. 547–569.
- Tietema A., Wessel W. 1994. Microbial activity and leaching during initial oak leaf litter decomposition. *Biol. Fert. Soils* 18: 49–54.
- Weiner J., Grodziński W. 1984. Energy, nutrient, and pollutant budgets of forest ecosystems. In: W. Grodziński, J. Weiner, P.F. Maycock (eds.). *Forest Ecosystems in Industrial Regions*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. *Ecol. Stud.* 49: 201–229.
- Wise D. H., Schaeffer M. 1994. Decomposition of leaf litter in mull beach forest: comparison between canopy and herbaceous species. *Pedobiologia* 34: 269–288.

Summary

The aim of the study was the evaluation of the organic matter fall from the layer of trees and shrubs, and the decomposition rate of forest litter in four types of forest stands (beech, fir, spruce and mixed) typical for the landscape of the Bieszczady. The total mass of the organic matter fall and the proportion of soft and hard fraction in two following periods of the study (August 2002 – May 2003, June 2003 – May 2004) were very similar within the same tree stand (Table 1). Only in a beech stand, in the second studied period an increase of hard fraction was found, both in relation to the former year and remaining types of stands. It could be a result of higher amount of beechnuts connected with the mast year. It has been found that the average annual litter fall in beech and spruce stands was higher by about 60% than in mixed and fir stands (respectively 490 – 460 g d.m. · m⁻² and about 310 g d.m. · m⁻² (Fig. 1).

On the basis of the assessment of forest litter mass, performed once in May 2002, no differences were found in its amount between spruce, fir and mixed stands, but in a beech stand its amount was over twice lower than in coniferous stands (Table 2). It has to be mentioned that in this stand the deviation of obtained results was the higher which suggests irregular distribution of the layer of forest litter which could be a result of a specific microrelief of the terrain. It was found, that in deciduous litters the organic matter content was higher than in coniferous ones. However the nitrogen content and the proportion C:N in litters from mixed, fir and spruce stands were at similar level, only in the litter from the beech stand lower nitrogen content and higher proportion C:N were found (Table 3). The highest amount of organic matter per area unit decomposed was in mixed and spruce stands (over 430 g o.m. · m⁻²), while in a beech stand the amount of decomposed organic matter was the lowest (170 g · m⁻²). High correla-

tion was found between the initial mass of organic matter occurring within the area unit and the amount of decomposed matter (Pearson's correlation, $p < 0,000$, $r = 0,88532$ for a beech stand, $r = 0,89441$ for a fir stand, $r = 0,80063$ for a spruce stand, $r = 0,97751$ for a mixed stand). The rate of decomposition per 1 g of organic matter in studied litters decreases in a following order: mixed > spruce > beech > fir (from 4 to $1.87 \text{ mg} \cdot \text{g o.m.}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$). No differences were found in the decomposition rate of an uniform material (a hay) between studied tree stands. This may be a proof that the ability for decomposition of soil microorganisms are comparable in studied tree stands, and differences in the decomposition rate of the litter result from their various chemical composition.