

Zasoby drobnej frakcji martwego drewna leżącego w różnowiekowych drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych

Beata Woziwoda

Abstrakt. Zasoby drobnych leżących szczątków drzewnych (FWD) i innych komponentów ściółki badano w antropogenicznych monokulturach sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L., posadzonych 41–60, 61–80 i ponad 80 lat temu na gruntach porolnych. Analizowano masę FWD oraz udział FWD w biomacie ściółki. Stwierdzono, że najwięcej drobnych gałązek sosnowych zalegało w drzewostanach najmłodszych, a ich masa była prawie trzykrotnie wyższa od masy FWD zdeponowanej w drzewostanach najstarszych. Procentowy udział FWD w biomacie ściółki także zmniejszał się wraz z wiekiem drzewostanu. Innym ważnym komponentem zdrewniałej frakcji ściółki były szyszki sosnowe. Ich masa i udział procentowy zwiększał się wraz z wiekiem zalesienia. Tak duże ilości FWD i szyszek sosnowych zdeponowane w lasach porolnych są niewątpliwie ważnym źródłem biogenów w procesie tworzenia się gleb leśnych.

Słowa kluczowe: biomasa, zdrewniała frakcja ściółki, las gospodarczy, las wtórny, regeneracja siedliska leśnego.

Abstract. The amounts of fine woody debris (FWD) in Scots pine stands planted on post-agricultural lands. The amounts of fine woody debris (FWD) and other litter components were studied in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests planted 41–60, 61–80 and over 80 years ago on post-agricultural lands. The mass of FWD and its proportion in the total litter biomass was analysed. The results showed that the mean FWD mass was the highest in the youngest stands, and it decreased gradually with the age of pine monocultures. The FWD proportion in litter biomass decreased with the age of stand as well. The pine cones were another important components of fine woody litterfall. However, cone mass increased with the age of Scots pine trees, and in the mature stands it was even higher than the mass of FWD. Such high amounts of FWD and cones deposited in young post-agricultural forests are undoubtedly an important source of humus for soils.

Key words: biomass, fine woody litterfall, timber forest, recent forest, habitat restoration.

Wstęp

Drobne leżące szczątki drzewne, z ang.: *fine woody debris* lub *fine woody detritus* (FWD), są komponentem martwego drewna (*dead woody debris*, DWD), a dokładniej martwego drewna

leżącego (*down dead wood*, DDW) (Harmon i in. 1986, Woodall, Monleon 2008, Wolski 2002). Ze względu na niewielkie rozmiary gałązek drobne frakcje FWD są często pomijane w badaniach zasobów martwego drewna w lesie i traktowane jako element składowy materii organicznej gleb. Jednak w badaniach glebowych dające się odróżnić fragmenty drewna zdeponowane w poziomach organicznych są z reguły wyłączane z analiz (Bednarek i in. 2005).

Wyniki dotychczasowych badań, w których uwzględniono także najdrobniejsze elementy FWD (wyodrębniane niekiedy jako *very fine woody debris*, VFWD; Hegetschweiler i in. 2009) wskazują, że ich rola w ekosystemach leśnych jest znacząca i to zarówno w zbiorowiskach antropogenicznych, jak i naturalnych (Stevens 1997, Vávřová i in. 2009, Paletto i in. 2012, Wolski 2012). Drobne pędy zdeponowane na dnie lasu tworzą minikonstrukcje o skomplikowanej architekturze ze zróżnicowanym mikroklimatem, mającym swe odzwierciedlenie w skali makro. Badania prowadzone przez Page-Dumroese i innych (1991) oraz Laiho i Prescott (1999) wykazały, że FWD poprawia wilgotność ściółki i gleby leśnej, zwłaszcza w miesiącach suchych. Mikrosiedliska tworzone przez FWD są stopniowo zasiedlane przez specyficzną biotę grzybów, florę bakterii i mszaków oraz faunę owadów saproksylicznych (np.: Andersson, Hytteborn 1991, Boddy, Watkinson 1995, Stevens 1997, Nordén i in. 2004, Küffer, Senn-Irlet 2005). Rozkładająca się materia organiczna FWD jest dla nich źródłem wody, węgla, azotu i innych składników odżywczych. Kolonizacja drewna przez grzyby i wzrost aktywności bezkręgowców przyspieszają proces jego rozkładu (Breymer i in. 1998), a produkty dekompozycji FWD zwiększają żywność siedliska leśnego (Harmon i in. 1986, Laiho, Prescott 1999, Qualls i in. 2003, Vávřová i in. 2009).

W zalesieniach porolnych obecność drobnych frakcji FWD może więc sprzyjać odtwarzaniu się ekosystemu leśnego. Prawdopodobnie może też przyspieszać proces tworzenia się gleb leśnych. Jasne określenie roli FWD w zbiorowiskach antropogenicznych wymaga – w pierwszej kolejności – oszacowania jego zasobów.

Celem niniejszej pracy jest ocena zasobów drobnej frakcji martwego drewna leżącego w różnowiekowych drzewostanach sosnowych posadzonych na gruntach porolnych.

Material i metody

Badania zasobów FWD prowadzono w zalesieniach porolnych leśnictwa Sworawa (Nadleśnictwo Poddębice, RDLP Łódź) w roku 2012 (sierpień). Powierzchnie badawcze ($n = 75$) zlokalizowano w monokulturach sosnowych reprezentujących trzy klasy wieku: 41–60, 61–80 i powyżej 80 lat (fot. 1–3).

W drzewostanie należącym do danej klasy wieku pobrano po 25 próbek ściółki z powierzchni 25 x 25 cm. Ściółkę posortowano oddzielając pędy o średnicy $< 2,5$ cm (FWD), szyszki, igliwie sosnowe oraz liście brzozy i dębu. Próbkę wysuszone do stałej masy w temperaturze 65°C, a następnie zważono z dokładnością do 0,01 g. Porównano masę (g/m^2) i udział procentowy FWD oraz innych komponentów w biomacie ściółki badanych drzewostanów sosnowych.



Fot. 1–3. Monokultury sosnowe rosnące na gruntach porolnych, w których prowadzono badania zasobów drobnej frakcji martwego drewna leżącego FWD; Nadleśnictwo Poddębice, RDLP Łódź (fot. B. Woziwoda)
Photo 1–3. Scots pine monocultures growing on former agricultural lands, where the FWD amounts were studied (Poddębice Forest District, Regional Directorate of the State Forests in Lodz, Central Poland)

Wyniki

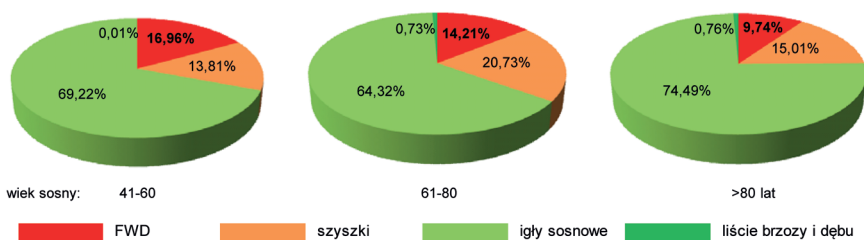
W badanych antropogenicznych monokulturach sosnowych zasoby drobnej frakcji FWD zmniejszają się wraz z wiekiem drzewostanu (tab. 1). Średnia masa drobnych pędów sosnowych zdeponowana w drzewostanach najmłodszych, 41–60-letnich, była prawie trzykrotnie większa niż masa FWD notowana w drzewostanach w wieku powyżej 80 lat. Maksymalna masa FWD (odnotowana na powierzchni z kategorii 41–60 lat) wyniosła 617 g/m².

Tab. 1. Biomasa (g/m²) ściółki i jej poszczególnych komponentów w różnowiekowych drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych (sierpień, 2012)

Table 1. Biomass (g/m²) of litter and litter components in Scots pine stands at the age of 41–60, 60–80 and >80 years growing on post-agricultural lands (samples n=75 were collected in August 2012)

wiek drzewostanów tree stand age	41–60			61–80			>81		
	średnia ± SD	min	max	średnia ± SD	min	max	średnia ± SD	min	max
pędy o średnicy < 2,5 cm FWD	265,7 ± 184,1	34,2	617,0	171,9 ± 92,5	11,2	320,6	100,2 ± 92,1	7,2	257,4
szyszki cones	216,3 ± 158,5	0,0	604,8	250,8 ± 189,7	0,0	545,3	154,4 ± 72,7	60,5	291,7
igły sosnowe pine needles	1084,4 ± 218,9	731,0	1460,3	778,3 ± 100,6	608,2	976,0	766,1 ± 175,8	400,8	1058,2
liście brzozy i dębu leaves of birches and oaks	0,2 ± 0,5	0,0	1,6	8,9 ± 10,4	0,0	37,0	7,9 ± 15,3	0,0	64,5
ogółem ściółka litterfall in total	1566,5 ± 392,3	815,4	2205,8	1209,9 ± 197,6	814,2	1648,3	1028,5 ± 229,7	610,1	1510,9

We wszystkich badanych drzewostanach reprezentujących różne klasy wieku masa FWD była kilkakrotnie niższa od masy igliwia (tab. 1). Na 1/5 powierzchni badawczych zlokalizowanych w drzewostanach 41–60-letnich FWD stanowiło poniżej 10% biomasy ściółki. W drzewostanach starszych stan taki notowany był na 1/4 powierzchni badawczych, a w drzewostanach ponad 80-letnich – na 3/5 powierzchni. Średni udział FWD w biomasy ściółki zmniejszał się stopniowo i był prawie dwukrotnie wyższy w drzewostanach najmłodszych w porównaniu z drzewostanami najstarszymi (ryc. 1). Maksymalny notowany udział FWD w biomasy ściółki kolejnych kategorii wiekowych wyniósł odpowiednio: 32,4%, 27,8% oraz 26,9%.



Ryc. 1. Udział procentowy drobnej frakcji martwego drewna leżącego (FWD), szyszek, igieł sosnowych oraz liści brzozy i dębu w biomasy ściółki w różnowiekowych drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych

Fig. 1. The proportion of fine woody debris (FWD), cones, pine needles and leaves of birches and oaks in total litter biomass in divers-in-age Scots pine stands growing on post-agricultural lands

Ważnym komponentem zdrewniałej frakcji ściółki (*fine woody litterfall*) w badanych monokulturach sosnowych są także szyszki. Zasoby szyszek zdeponowane na dnie lasu różniły się w poszczególnych klasach wieku (tab. 1), przy czym w drzewostanach starszych ich udział przewyższał udział FWD (ryc. 1). Najwyższą średnią wartość ich masy i jednocześnie największy udział szyszek w biomacie ściółki zanotowano w drzewostanach 61–80-letnich. Notowane różnice wynikają z biologii sosny, u której kulminacja wytwarzania nasion (= szyszek) przypada właśnie na wiek 50–80 lat (Białobok i in. 1993).

Dyskusja i wnioski

Uzyskane wyniki badań w zestawieniu z danymi z innych regionów Polski (Wolski 2012) wskazują, że znacząco wyższe notowania masy FWD w drzewostanach młodych w porównaniu z drzewostanami dojrzewającymi i dojrzałymi charakteryzują zarówno lasy gospodarcze, jak i lasy wyłączone z gospodarczego użytkowania. Zmniejszanie się zasobów FWD wraz z wiekiem drzewostanu wykazano także w borach sosnowych Polski północnej, gdzie masę drobnej frakcji FWD oszacowano (Wolski 2012) na 4370 kg/ha w drzewostanach 37-letnich (Puszcza Białowieska), na 1950 kg/ha w drzewostanach 70-letnich (Puszcza Białowieska) oraz na 1250–1510 kg/ha w drzewostanach 90-letnich (Puszcza Białowieska, Bory Tucholskie, Bory Lubuskie). W drzewostanach sosnowych ponad 150-letnich (Puszcza Białowieska) masa FWD znów wzrosła i osiągnęła 1650 kg/ha, jednak dane te nie mają odniesienia do drzewostanów gospodarczych na gruntach porolnych, gdzie wiek rębności sosny wynosi 120 lat.

W 41–60-letnich monokulturach sosnowych duże ilości FWD (tab. 1) zostały zdeponowane w trakcie prowadzonych w nich trzebieży wczesnych. W odróżnieniu od pni, konarów i grubszych gałęzi usuwanych z powierzchni cięć (Andersson, Hyttborn 1991, Kirby i in. 1998, Verkerk i in. 2011), drobne fragmenty drewna są z reguły pozostawiane w obrębie lasu. Według Page-Dumroese i innych (1991) na powierzchniach z drzewostanami objętymi intensywnymi zabiegami gospodarczymi frakcja FWD może stanowić ponad połowę materii organicznej zalegającej w wierzchnich warstwach gleby. Zmniejszenie zakresu i intensywności zabiegów hodowlanych prowadzonych w drzewostanach starszych klas wieku przekłada się na spadek udziału FWD w ściółce (Duvall, Grigal 1999).

Stopniowy spadek masy FWD w drzewostanach 60–80-letnich i starszych wynika także z faktu, że tempo naturalnego obumierania pędów sosnowych zmniejsza się wraz z wiekiem drzew (Berg i in. 1999, Laiho i in. 2004, Lehtonen i in. 2004a). Najintensywniejszy naturalny proces oczyszczania się pni sosny w wyniku obumierania dolnych gałęzi zachodzi w fazach młodnika (drzewostany w wieku 20–25 lat) i tyczkowiny (25–35 lat) (Białobok i in. 1993). Badania Kellomäki i Väisanena (1988) oraz Mäkinena (1999) prowadzone w borach sosnowych Finlandii wykazały, że minimalny wiek obumierających gałęzi wynosi 6–10 lat, a roczny opad martwych pędów starszych sosen (osiągających pierśnicę powyżej 15 cm) stanowi poniżej 5% całkowitej masy ich korony (Laiho i in. 2004, Lehtonen i in. 2004b). Tempo obumierania gałęzi sosnowych jest wyższe w drzewostanach silniej zwartych (Viro 1955), co w przypadku monokultur objętych badaniami odnosi się do drzewostanów najmłodszych. Opad gałęzi jest opóźniony ze względu na ich pozostawianie na pniu. Dodatkowo, po odpadnięciu od pnia część martwych gałęzi może być nadal zawieszona w obrębie zwartych koron drzew (DeAngelis i in. 1981, Liski i in. 2002). Masa obumarłych gałęzi nie jest więc równoważna masie martwego drewna zalegającego na dnie lasu. W borealnych borach sosnowych (w Finlandii i Estonii)

roczny dopływ FWD szacowany jest średnio na 5,7–15,6 g/m² (Vávřová i in. 2009). Znacząco wyższe notowania masy martwych gałęzek sosnowych – maksymalnie 510 g/m² – powiązano z prowadzonymi w drzewostanach cięciami prześwietlającymi. W borach sosnowych Polski (dane z powierzchni zlokalizowanych na transekcie W-Z, wzdłuż równoleżnika 52°N z lat 1994–1996) średni roczny opad drewna wynosił 172,2 g/m² (Brey Mayer 2001). Podobne wartości – 1800 kg/ha, wykazano w drzewostanach sosnowych w Hiszpanii (Santa Regina, Tarazona 2001).

Odnotowane w badanych monokulturach niskie wartości masy FWD w stosunku do masy igliwia (tab. 1), wykazano także w badaniach ściółki borealnych borów sosnowych Finlandii i Estonii (Mäkkönen 1974, Laiho i in. 2003; Vávřová i in. 2009). Znacząco większą rolę drobnych gałęzi sosnowych w tworzeniu ściółki stwierdzono w lasach Hiszpanii, gdzie udział FWD oszacowano średnio na około 30% (Santa Regina, Tarazona 2001).

Zalegające na dnie lasu drewno ulega procesom dekompozycji. W borealnych lasach sosnowych niemal połowa (48%) masy drobnej frakcji FWD rozkłada się po około 4 latach (Vávřová i in. 2009). Tempo dekompozycji FWD jest wyższe w cieplejszych regionach geograficznych (w gradiencie północ–południe oraz wschód–zachód) i w warunkach wysokiej wilgotności podłoża (Brey Mayer i in. 1997, Vucetich i in. 2000, Vávřová i in. 2009). Badania przeprowadzone w lasach północno-wschodniej Polski wykazały, że tempo rozkładu celulozy w lesie iglastym zagospodarowanym jest 3-krotnie szybsze niż w lesie iglastym chronionym (Brey Mayer 2001). Wyniki te są zbieżne z danymi innych autorów wskazujących na fakt, że tempo rozkładu drewna jest nieco większe w drzewostanach gospodarczych niż w drzewostanach wyłączonych z użytkowania (Lundmark-Thelin, Johansson 1997, Hyvönen i in. 2000, Palviainen i in. 2004).

Z upływem czasu resztki drzewne wbudowywane są w ściółkę i glebę, gdzie proces rozkładu materii organicznej przebiega kilkakrotnie szybciej w porównaniu z powierzchnią ziemi (Brey Mayer 2001). Stosunkowo szybka całkowita dekompozycja analizowanej frakcji FWD (szacowana na około 20 lat) jest warunkowana m.in. jego składem chemicznym (Berg, Meentemeyer 2002). W drobnych pędach sosny notowane są mniejsze – w porównaniu z grubszymi frakcjami FWD i CWD (*coarse woody debris*) – ilości trudno rozkładalnych związków celulozowych oraz nieco wyższe ilości ligniny i związków azotu (Brey Mayer 2001). Biorąc pod uwagę fakt, że proces dekompozycji obumarłych gałęzi rozpoczyna się w czasie, gdy są one jeszcze integralną częścią drzewa (Berg i in. 1982; Berg 2000), chemiczny skład FWD deponowanego w sposób naturalny może być różny od składu FWD pochodzącego z czyszczeń i trzebieży. Można założyć, że zawartość biogenów i materii organicznej jest wyższa, gdy drewno zostało zdeponowane w krótkim czasie w trakcie intensywnych zabiegów gospodarczych, a niższa, gdy zasoby FWD są wynikiem naturalnych procesów obumierania gałęzi sosny. Generalnie, udział analizowanej frakcji DWD w akumulacji węgla w borach sosnowych oceniany jest jako nieistotny (Vávřová i in. 2009) w porównaniu z zasobami C związanego w drewnie (Thomas, Martin 2012) czy w igliwiu sosnowym (Lorentz i in. 2004; Laiho i in. 2004). Jednak w przypadku zalesień porolnych stopniowe kumulowanie nawet niewielkich ilości C organicznego i biogenów zawartych w FWD może okazać się niezwykle istotne w procesie formowania gleb leśnych.

W ostatnim dwudziestoleciu wyraźnie wzrosło zainteresowanie wykorzystywaniem biomasy drzewnej do celów energetycznych (Kellomäki i in. 2013). Stosowanie coraz doskonalszych technik umożliwia efektywne pozyskiwanie także drobnych gałęziowo-chrutowej (Jodłowski, Kalinowski 2013), będącej dotychczas głównym źródłem FWD. Negatywnym skutkiem tych działań jest zwiększony odpływ biogenów z ekosystemu leśnego (Gornowicz, Pilarek 2013) i zmniejszanie się zasobów kumulowanego węgla (Kellomäki i in. 2013). Wobec powyższych

faktów, rozpoznanie siedliskotwórczej roli FWD w zalesieniach porolnych i ewentualne zmodyfikowanie zasad pozyskiwania pozostałości zrębowych z takich powierzchni jest zadaniem pilnym.

Wnioski

Drobna frakcja martwego drewna leżącego (FWD) jest istotnym komponentem ściółki w monokulturach sosnowych na gruntach porolnych.

Zasoby FWD zmniejszają się wraz z wiekiem drzewostanu sosnowego. Procentowy udział FWD w całkowitej biomase ściółki jest prawie dwukrotnie większy, a masa FWD trzykrotnie większa w drzewostanach 40-letnich w porównaniu z drzewostanami 80-letnimi.

Szyszki sosnowe są ważnym komponentem zdrewniałej frakcji ściółki, szczególnie w drzewostanach 61–80-letnich.

Rozpoznanie siedliskotwórczej i biocenotycznej roli FWD w lasach porolnych jest ważnym zadaniem badawczym, a jego wyniki będą miały zastosowanie praktyczne w hodowli lasu.

Literatura

- Andersson L.I., Hytteborn H. 1991. Bryophytes and decaying wood – a comparison between managed and natural forest. *Ecography* 14: 121–130.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojka U., Prusinkiewicz Z. 2005. *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. PWN, Warszawa.
- Berg B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecol. Manage.* 133: 13–22.
- Berg B., Albrektson A., Berg M.P., Cortina J., Johansson M., Gallardo A., Madeira M., Pausas J., Kratz W., Vallejo R., McLaugherty C. 1999. Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Ann. For. Sci.* 56: 625–639.
- Berg B., Hannus K., Popoff T., Theander O. 1982. Changes in organic chemical components during decomposition. Long term decomposition in a Scots pine forest I. *Can. J. Bot.* 60: 1310–1319.
- Berg B., Meentemeyer V. 2002. Litter quality in a north European transect versus carbon storage potential. *Plant and Soil* 242: 83–92.
- Białobok S., Boratyński A., Bugała W. (red.). 1993. *Biologia sosny zwyczajnej*. Wydawnictwo Sorus, Poznań – Kórnik.
- Boddy L., Watkinson S.C. 1995. Wood decomposition, higher fungi, and their role in nutrient redistribution. *Can. J. Bot.* 73 (1): 1377–1383.
- Breymeyer A. 2001. Tempo dekompozycji ściółki leśnej ze szczególnym uwzględnieniem frakcji zdrewniałej. s. 1-7. https://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/projekty/martwe_drewno/breymeyer_drewno.pdf
- Breymeyer A., Degórski M., Reed D. 1997. Decomposition of pine-litter organic matter and chemical properties of upper soil layers: transect studies. *Environ. Pol.* 98 (3): 361–367.
- Breymeyer A., Mróz G., Reed D., Degórski M. 1998. Warunkowanie tempa dekompozycji ściółki sosnowej przez zmieniający się klimat i skład chemiczny substratu. *Badania na transektach*. W: Breymeyer A., Roo-Zielińska E. (red.), *Bory sosnowe w gradiencie*

- kontynentalizmu i zanieczyszczeń w Europie Środkowej – badania geoekologiczne. Dok. Geogr. 13: 187–205.
- De Angelis D.L., Gardner R.H., Shugart H.H. 1981. Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: the woodlands dataset. In: Reichle D.E. (Ed.), Dynamics of Forest Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 567–672.
- Duvall M.D., Grigal D.F. 1999. Effects of timber harvesting on coarse woody debris in red pine forests across the Great Lakes states, U.S.A. Can. J. For. Res. 29: 1926–1934.
- Gornowicz R., Pilarek Z. 2013. Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogenych ze środowiska leśnego. W: Biomasa leśna na cele energetyczne. Gołos P., Kaliszewski A. (red.). Prace IBL, Rozprawy i Monografie. Sękocin Stary.
- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N. H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack, Jr. K., Cummins K. W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Adv. Ecol. Res. 15: 133–302.
- Hegetschweiler, K.T., van Loon, N., Ryser A., Rusterholz H.P., Baur, B. 2009. Effects of fireplace use on forest vegetation and amount of woody debris in suburban forests in northwestern Switzerland. Environ. Manage. 43 (2): 299–310.
- Hyvönen R., Olsson B.A., Lundkvist H., Staaf H. 2000. Decomposition and nutrient release from *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L. logging residues. For. Ecol. Manage. 126: 97–112.
- Jodłowski K., Kalinowski M. 2013. Podręcznik dobrych praktyk w zakresie pozyskiwania biomasy leśnej do celów energetycznych. IBL, Sękocin Stary.
- Kellomäki S., Kilpeläinen A., Alam A. (Eds.). 2013. Forest BioEnergy Production. Management, Carbon Sequestration and Adaptation. Springer, NewYork-Heidelberg-Dordrecht-London.
- Kellomäki S., Väisänen H. 1988. Dynamics of branch population in the canopy of young Scots pine stands. For. Ecol. Manage. 24: 67–83.
- Kirby K.J., Reid C.M., Thomas R.C., Goldsmith F.B. 1998. Preliminary estimates of fallen dead wood and standing dead trees in managed and unmanaged forests in Britain. J. Appl. Ecol. 35 (1): 148–155.
- Küffer N., Senn-Irlet B. 2005. Influence of forest management on the species richness and composition of wood-inhabiting basidiomycetes in Swiss forests. Biodiver. Conserv. 14: 2419–2435.
- Laiho R., Laine J., Trettin C.C., Finér L. 2004. Scots pine litter decomposition along drainage succession and soil nutrient gradients in peatland forests, and the effects of interannual weather variation. Soil Biol. Biochem. 36: 1095–1109.
- Laiho R., Vasander H., Penttilä T., Laine J. 2003. Dynamics of plantmediated organic matter and nutrient cycling following waterlevel drawdown in boreal peatlands. Global Biogeochem. Cycles 17: 1053.
- Laiho R., Prescott C.E. 1999. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. Can. J. For. Res. 29: 1592–1603.
- Lehtonen A., Mäkipää R., Heikkinen J., Sievänen R., Liski J. 2004a. Biomass expansion factors (BEF) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. For. Ecol. Manage. 188: 211–224.
- Lehtonen A., Sievänen R., Mäkelä A., Mäkipää R., Korhonen K.T., Hokkanena T. 2004b. Potential litterfall of Scots pine branches in southern Finland. Ecol. Model. 180: 305–315.

- Liski J., Perruchoud D., Karjalainen T. 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *For. Ecol. Manage.* 169: 159–175.
- Lorenz K., Preston C.M., Krumrei S., Feger K.-H. 2004. Decomposition of needle/leaf litter from Scots pine, black cherry, common oak and European beech at a conurbation forest site. *Eur. J. Forest. Res.* 123: 177–188.
- Lundmark-Theelin A., Johansson M.B. 1997. Influence of mechanical site preparation on decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle litter and slash needles. *For. Ecol. Manage.* 96:101–110.
- Mäkinen H. 1999. Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Can. J. For. Res.* 29: 585–594.
- Mälkönen E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 84 (5): 1–87.
- Nordén B., Ryberg M., Götmark F., Olausson B. 2004. Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broadleaf forests. *Biol. Conserv.* 117 (1): 1–10.
- Page-Dumroese D.S., Harvey A.E., Jurgensen M.F., Graham R.T. 1991. Organic matter function in the inland Northwest forest soil system. W: Management and productivity of western montane forest soils. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT 280: 95–100.
- Paletto A., Ferretti F., De Meo I., Cantiani P., Focacci M. 2012. Ecological and environmental role of deadwood in managed and unmanaged forests. In: Diez J.J. (Ed.), *Sustainable Forest Management – Current Research*. InTech, Italy, pp.: 219–238.
- Palviainen M., Finér L., Kurka A.-M., Mannerkoski H., Piirainen S. and Starr M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53–67.
- Qualls R.G., Takiyama A., Wershaw R.L. 2003. Formation and loss of humic substances during decomposition in a pine forest floor. *Soil Science Society of American Journal* 67: 899–909.
- Santa Regina I., Tarazona T. 2001. Nutrient pools to the soil through organic matter and throughfall under a Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda, Spain. *Eur. J. Soil Biol.* 37: 125–133.
- Stevens V. 1997. The ecological role of coarse woody debris. An overview of the ecological importance of CWD in BC forests. Working Paper 30, Victoria: B.C. Ministry of Forests, 26 pp.
- Thomas S.C., Martin A.R., 2012. Carbon content of tree tissue: a synthesis. *Forests* 3: 332–352.
- Vávřová P., Penttilä T., Laiho R. 2009. Decomposition of Scots pine fine woody debris in boreal conditions: implications for estimating carbon pools and fluxes. *For. Ecol. Manage.* 257 (2): 401–412.
- Verkerk, P.J., Lindner, M., Zanchi G., Zudin S. 2011. Assessing impacts of intensified biomass removal on deadwood in European forests. *Ecol. Ind.* 11 (1): 27–35.
- Viro P. J. 1955. Investigations on forest litter. *Comm. Inst. For. Fenn.* 45 (6): 1–142.
- Vucetich J.A., Reeda D.D., Breymeyer A., Degórski M., Mróz G.D., Solon J., Roo-Zielinska E., Noble R. 2000. Carbon pools and ecosystem properties along a latitudinal gradient in northern Scots pine (*Pinus sylvestris*) forests. *For. Ecol. Manage.* 136: 135–145.
- Wolski J. 2002. Metoda pomiarów leżącego martwego drewna w lesie – założenia teoretyczne i przebieg prac terenowych. *Prace IBL, Ser. A, vol. 2*, 932: 27–45.

- Wolski J. 2012. Down dead wood in a forest – still an obstacle to forest management or already an ecological issue? *Geographia Polonica* 85 (2): 97–121.
- Woodall C.W., Monleon V.J. 2008. Sampling protocols, estimation, and analysis procedures for down woody materials indicator of the FIA Program. Gen. Tech. Rep. NRS-22. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 68 pp.

Beata Woziwoda

Uniwersytet Łódzki

Wydział Biologii i Ochrony Środowiska

Katedra Geobotaniki i Ekologii Roślin

woziwoda@biol.uni.lodz.pl