

Stanisław MAŁEK*

**STRUKTURA I DYNAMIKA OPADU ORGANICZNEGO
W DRZEWOSTANIE BUKOWYM NA POWIERZCHNI
MONITORINGOWEJ W OJCOWSKIM PARKU NARODOWYM
W LATACH 1995–2000**

THE STRUCTURE AND DYNAMIC OF LITTERFALL IN BEECH STAND
IN OJCOWSKI NATIONAL PARK MONITORED AREA IN 1995–2000

***Abstract.** The study of litterfall in *Dentario glandulosae-fagetum* both in fertile and poor variant was carried out in Ojcowski National Park in 1995–2000 period. It was found that in fertile variant the litterfall mass was much higher than in poor one. The major litterfall fractions were leaves, followed by seeds' coats, shoots, seeds and 'other'. The time of particular fraction fall was different: seeds in the mass year were fallen with the highest intensity in October, whereas there was no regulatory in shoots and 'other' fraction fall.*

***Key words:** litterfall, structure, dynamics, *Fagus sylvatica* L., Ojców National Park.*

* Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie, 31-425 Kraków, Al. 29 Listopada 46, rlmalek@cyf-kr.edu.pl

I. WSTĘP

Opad organiczny jest jednym z ważniejszych elementów w procesie obiegu materii w ekosystemach leśnych (Kowalkowski 1994). W jego skład wchodzi nadziemne organy roślin lub ich część (tj. pędy, łuski pąków liściowych, liście, nasiona, kwiatostany, kora) oraz drobne bezkręgowce docierające do powierzchni ziemi. Opad materii organicznej odbywa się ciągle, z różnicującym się fluktuacyjnie natężeniem w czasie, w określonej objętości powietrza atmosferycznego, między górną granicą warstwy roślin a określoną powierzchnią gleby, i zależy od przebiegu warunków atmosferycznych, rzeźby powierzchni ziemi oraz składu gatunkowego i struktury zbiorowiska roślinnego (Schimming, Stamm 1993, Glatzel 1983). Największy opad występuje późną jesienią, od października do grudnia (Hunger 1970, Puchalski, Prusinkiewicz 1975), oraz – w mniejszej ilości – wiosną, od marca do czerwca (Hunger 1970). Ilość opadu organicznego zależy przede wszystkim od żyzności gleby, składu gatunkowego, bonitacji, wieku, zagęszczenia i zwarcia drzewostanów (Goršenin, Švidenko 1977).

Celem badań prowadzonych w latach 1995–2000 było określenie ilości, struktury i dynamiki opadu organicznego w drzewostanie bukowym oraz wpływu żyzności siedliska lasu górskiego na wyżej wymienione cechy opadu.

II. MATERIAŁ I METODY

Prace badawcze prowadzono na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego (OPN), na powierzchni doświadczalnej „Chełmowa Góra” (oddział 30a) założonej w 1984 r. (Mariałowicz i in. 1984). Sześć powierzchni obserwacyjnych, o wielkości 40×40 m każda, zlokalizowano w dwóch wariantach żyzności. Każdy wariant reprezentowany był przez trzy kolejne powierzchnie:

- wariant ubogi: pow. nr: I, II oraz III, na wysokości 430 m n.p.m,
- wariant żyzny: pow. nr: IV, V oraz VI, na wysokości 350 m n.p.m.

Zespół *Dentario glandulosae-Fagetum typicum*, wariant ubogi z *Asperula odorata* L. występuje w partii szczytowej Chełmowej Góry. Ten typ buczyny odznacza się brakiem gatunków charakterystycznych dla zespołu *Dentario glandulosae-Fagetum* i ponadto domieszką roślin acidofilnych. Występuje on przeważnie na glebach brunatnych o pH 6,0 (Mariałowicz i in. 1984). W drzewostanie osiągamym duże zwarcie (80–90%) gatunkiem dominującym jest *Fagus sylvatica*

* Prace były częściowo finansowane w ramach grantu KBN 5 P06M00711: „Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach bukowych w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy”.

L. Badany drzewostan cechował się (według stanu na 1998 r.) wiekiem 80-100 lat, zasobnością 596,2 m³/ha i zagęszczeniem 394 drzew/ha.

Zespół *Dentario glandulosae-Fagetum typicum* – wariant żyzny z *Dentaria glandulosa* W.K., znajduje się na dnie Doliny Sąspowskiej. Zajmuje on żyzne i bardziej próchniczne gleby typu rędzin właściwych o pH około 7,0 (Medwecka-Kornaś 1967). W drzewostanie osiagającym zwarcie około 90% panuje *Fagus sylvatica* L. ze sporadyczną domieszką *Acer pseudoplatanus* L. Pozostałe cechy omawianego drzewostanu kształtowały się następująco (stan na 1998 r.): wiek – 80–100 lat, zasobność – 532,2 m³/ha, i zagęszczenie – 364 drzew/ha (Małek i in. 2000a, b).

Na każdej z sześciu powierzchni obserwacyjnych (I–VI) w kwietniu 1994 r. zainstalowano po 16 chwytników opadu organicznego o powierzchni wlotowej 0,1697 m² każdy. Zbioru dokonywano w latach 1995–2000 co 30 dni, a jesienią – co 15 dni. Całość zebranego opadu organicznego poddano suszeniu w temperaturze 65°C, a następnie podzielono na frakcje: liście, okrywy nasienne, nasiona, pędy oraz „inne” (tj. łuski pąków liściowych, kwiatostany, korę oraz drobne bezkręgowce) i zważono (ICP–Forest Manual 1998). W ramach prac kameralnych dokonano obliczeń masy opadu organicznego zebranego w poszczególnych okresach. Przy analizie wyników brano pod uwagę wartości średnie z trzech powierzchni położonych w jednym z wariantów żyzności.

III. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania dotyczące ilości opadu organicznego w buczynach prowadzone są od ponad 100 lat. Ebermayer (za Nielsen 1977) podaje, że drzewostan bukowy w wieku 60–90 lat dostarcza przeciętnie 3370 kg/ha opadu organicznego w ciągu roku, a ponad 90-letni – 3270 kg/ha. Na podstawie badań współczesnych określono wielkości rocznego opadu organicznego: 1570–2860 kg/ha (Bonnie-Svendsen, Gjelmis 1957), 2000–2700 kg/ha (Chalupa 1961), około 2600 kg/ha (Donov 1964), około 2900 kg/ha (Myczkowski 1967) oraz 3106–5366 kg/ha (Nielsen 1977). Na terenie Niemiec w buczynach w wieku 60–120 lat roczny opad organiczny waha się od 3000 do 3400 kg/ha (Heller 1971). Na powierzchni badawczej Stacji Monitoringu Święty Krzyż w latach 1994–2002 w drzewostanie bukowym z podrostem jodłowym roczny opad organiczny wahał się od 3197 do 7990 kg/ha (Kowalkowski i Józwiak 2003). Średnia masa opadu organicznego w drzewostanach bukowych Ojcowskiego Parku Narodowego w latach 1995–2000 była pod względem wielkości podobna do średniej europejskiej i wynosiła w wariantcie ubogim 3052 kg/ha, a w żyznym 3580 kg/ha. W okresie sześciu lat badań stwierdzono większą całkowitą jego masę w wariantcie żyznym w każdym roku (tab. 1 i 2).

W strukturze opadu organicznego w latach 1995–2000 dominowały liście (87,4% w wariantcie ubogim i 86,2% w wariantcie żyznym), następnie okrywy

Tabela 1. Struktura opadu organicznego w latach 1995–2000 na powierzchni badawczej Chelmowa Góra wariant ubogi (część przyszczytowa) w Ojcowskim Parku Narodowym

Table 1. The litterfall structure in 1995–2000 period in Chelmowa Góra research plot in poor variant (near to peak) in Ojcowski National Park

Rok Year	Opad organiczny [kg/ha]/% udziału Litterfall [kg/ha] % share					
	liście leaves	okrywy seeds coats	nasiona seeds	pędy shoots	„inne” ‘other’	Ogółem Total
1995	2813,0 / 74,0	532,1 / 14,0	428,5 / 11,3	0,0 / 0,0	27,5 / 0,7	3801,1 / 100
1996	2520,6 / 87,3	162,5 / 5,6	25,5 / 0,9	106,7 / 3,7	72,5 / 2,5	2887,8 / 100
1997	2130,7 / 92,1	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	161,8 / 7,0	20,1 / 0,9	2312,5 / 100
1998	2570,6 / 100,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	2570,6 / 100
1999	2904,5 / 93,3	56,5 / 1,8	18,6 / 0,6	74,0 / 2,4	58,1 / 1,9	3111,7 / 100
2000	3072,6 / 84,7	15,1 / 0,4	3,4 / 0,1	236,5 / 6,5	300,3 / 8,3	3627,8 / 100
Śr. z 6 lat/ Śr. udziału Mean from 6 years/ Mean share	2668,7 / 87,4	127,7 / 4,2	79,3 / 2,6	96,5 / 3,2	79,7 / 2,6	3051,9 / 100

Tabela 2. Struktura opadu organicznego w latach 1995–2000 na powierzchni badawczej Chelmowa Góra – wariant żyzny (część dolna) w Ojcowskim Parku Narodowym

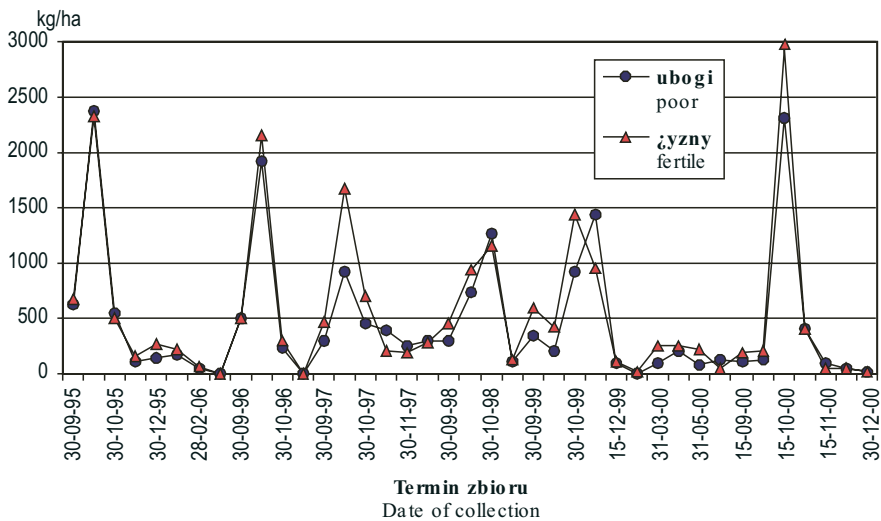
Table 2. The litterfall structure in 1995–2000 period in Chelmowa Góra research plot in fertile variant (bottom part) in Ojcowski National Park

Rok Year	Opad organiczny [kg/ha]/ % udziału Litterfall [kg/ha] % share					
	liście leaves	okrywy seeds coats	nasiona seeds	pędy shoots	„inne” ‘other’	Ogółem Total
1995	2660,2/68,0	716,9/18,3	528,1/13,5	0,0/0,0	7,0/0,2	3912,1/100
1996	2885,9/88,9	289,8/8,9	35,1/1,1	33,7/1,0	1,2/0,1	3245,6/100
1997	2968,3/91,7	0,0/0,0	0,0/0,0	236,6/7,3	31,7/1,0	3236,6/ 100
1998	2827,8/100,0	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0	2827,8/100
1999	3375,0/92,6	49,5/1,4	37,3/1,0	49,5/1,4	134,5/3,6	3645,7/100
2000	3797,2/82,3	51,7/1,1	5,8/0,1	373,8/8,1	383,5/8,4	4612,0/ 100
Śr. z 6 lat/ Śr. udziału Mean from 6 years/ Mean share	3085,7/86,2	184,7/5,2	101,1/2,8	115,6/3,2	93,0/2,6	3580,0/100

(odpowiednio: 4,2 i 5,2%), pędy (3,2% w obu wariantach), nasiona (2,6 i 2,8%) oraz „inne” (2,6% w obu wariantach) (tab. 1 i 2). Uzyskane wartości dla głównej frakcji opadu organicznego były średnio o około 20% większe niż w Świętokrzyskim Parku Narodowym, prawdopodobnie w związku z innym składem gatunkowym oraz wiekiem drzewostanu (Kowalkowski i Józwiak 2003). Badania

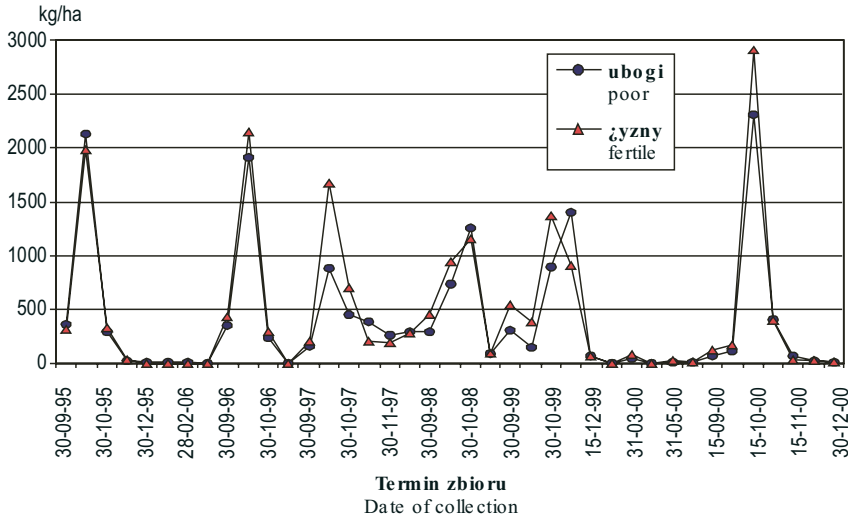
prorowadzone w latach 1967–1975 w 90-letnich drzewostanach bukowych w Danii dały szerokie spektrum wyników obrazujących zmienność ilości całkowitego opadu organicznego, jak też jego frakcji w siedmiu kolejnych latach (Nielsen 1977). Średnia ilość opadających liści, nasion i okryw w duńskich drzewostanach bukowych była większa od danych uzyskanych w OPN (tab. 1 i 2, ryc. 1–6). Wyniki badań z lat 1995–2000 wykazują dużą zbieżność pod względem ilości opadu całkowitego i liści w porównaniu do danych uzyskanych przez Myczkowskiego (1967). Porównywane drzewostany różnią się znacznie ilością opadłych nasion. Różnica ta jest jednak zrozumiała, jeżeli weźmie się pod uwagę wiek drzewostanu. Urodzajny w nasiona rok 1964 był dla części drzew 60–90-letniego drzewostanu najprawdopodobniej jednym z pierwszych lat nasiennych, natomiast w 1995 r. drzewostan starszy o ponad 30 lat owocował w pełni swoich możliwości.

Masa opadu organicznego w latach 1995–2000 w wariacie ubogim kształtowała się podobnie jak masa liści, natomiast w wariacie żyznym nastąpił znaczny spadek masy opadu po roku nasiennym, a od 1998 r. zaznaczył się wzrost. Interesujący jest fakt, że w 1995 r. w wariacie ubogim masa liści była wyższa niż w wariacie żyznym, natomiast masa całego opadu organicznego była wyższa w wariacie żyznym. Można to tłumaczyć faktem, iż rok 1995 był rokiem nasiennym i masa innych frakcji opadu była znacznie wyższa w wariacie żyznym (Małek i in. 1998, 2000c). W analizowanych latach tylko w roku 1999 masa okryw nasiennych i pędów była większa w wariacie ubogim, natomiast masa liści, nasion i innych była większa w wariacie żyznym; w roku 2000 masa wszystkich frakcji wyraźnie spadła w wariacie żyznym (ryc. 1–6).



Ryc. 1. Dynamika opadu organicznego w dwóch wariantach żyzności lasu górskiego na powierzchni monitoringowej Chelmowa Góra w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995–2000

Fig. 1. Dynamic of litterfall in two fertility variants of mountain forest in Chelmowa Góra monitoring plot in Ojcowski National Park (1995–2000)

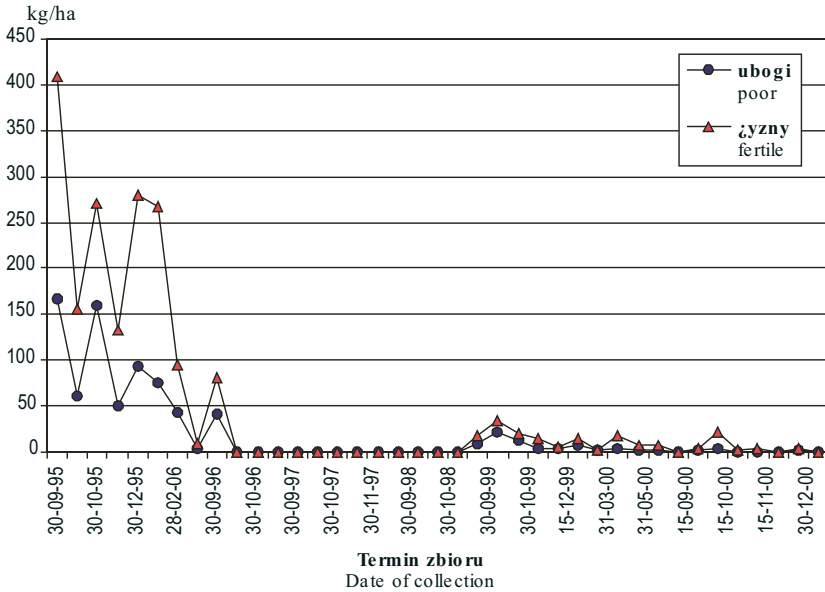


Ryc. 2. Dynamika opadania liści w dwóch wariantach żyzności lasu górskiego na powierzchni monitoringowej Góra Chelmowa w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995–2000

Fig 2. Dynamic of leaves fall in two fertility variants of mountain forest in monitory plot Chelmowa Góra in Ojcowski National Park (1995–2000)

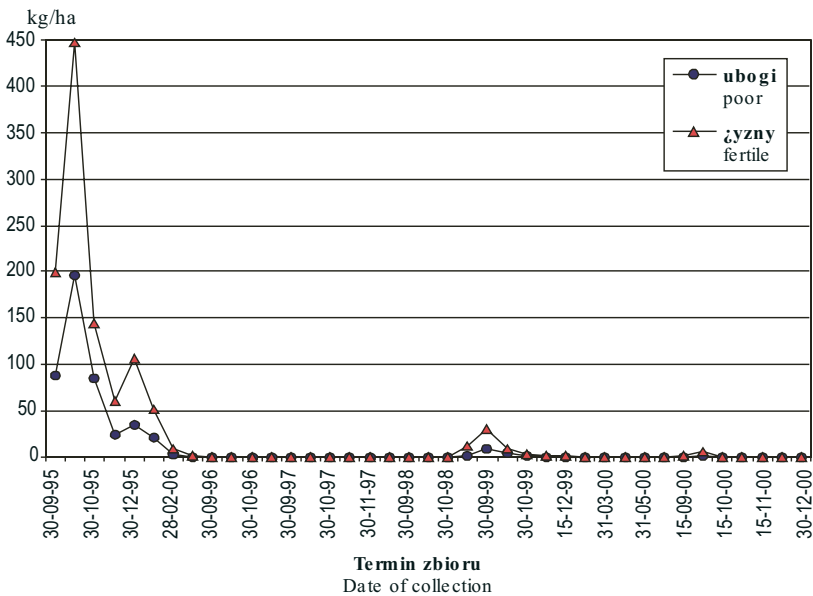
Analizując okres opadania materiału roślinnego stwierdzono, że inaczej rozłożony jest w czasie opad liści w stosunku do okryw nasiennych, nasion, pędów oraz „innych”. Okres od września do końca października jest decydujący dla całkowitego opadu. U drzew liściastych charakterystyczne jest jedno duże jesienne maksimum. Głównie występujące w październiku podobnie do zaobserwowanego na powierzchni badawczej w Świętokrzyskim Parku Narodowym (Kowalkowski i Józwiak 2003). Najwięcej liści w poszczególnych latach opadło w październiku z wyjątkiem 1999 roku w wariantcie ubogim (tab. 1 i 2). Zaobserwowane przesunięcie kulminacji opadu w stosunku do lat wcześniejszych należy tłumaczyć wyjątkowo korzystnymi warunkami atmosferycznymi panującymi jesienią 1999 r. szczególnie w części przyszczytowej Góry Chelmowej (ryc. 1 i 2).

Okrywy nasienne i nasiona pojawiają się tylko w latach nasiennych lub bezpośrednio po nich. W okresie badawczym lata nasienne zaobserwowano, podobnie jak w badaniach Kowalkowskiego i Józwiaka (2003), w 1995 i 1999 roku na stacji badawczej Święty Krzyż. W pierwszym z nich udział okryw nasiennych był znaczny (ponad 14%), podczas gdy w drugim nie przekroczył 2% udziału w opadzie organicznym w żadnym z wariantów (tab. 1 i 2). Okrywy nasienne stwierdzono również w opadzie z lat następujących bezpośrednio po danym roku nasiennym (tab. 1 i 2). Najwięcej nasion opadło w 1995 r.: 428,5 kg/ha w wariantcie ubogim (11,3% ogółu opadu organicznego) i 528,1 kg/ha w wariantcie żyznym (udział 13,5%). Znacznie mniej nasion opadło w 1999 r.: 18,6 kg/ha (0,6% opadu) w wariantcie ubogim, oraz 37,3 kg/ha (1% opadu) w wariantcie żyznym. Część nasion opadła również w okresie zimowym bezpośrednio po latach nasiennych. W



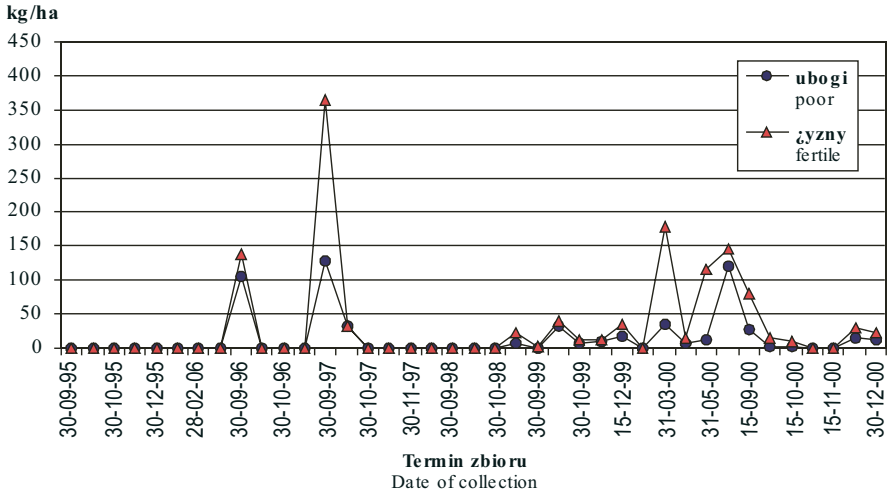
Ryc. 3. Dynamika opadania okryw nasiennych w dwóch wariantach żyzności lasu górskiego na powierzchni monitoringowej Chelmowa Góra w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995–2000

Fig. 3. Dynamic of seeds coats fall in two fertility variants of mountain forest in monitoring plot Chelmowa Góra in Ojcowski National Park (1995–2000)



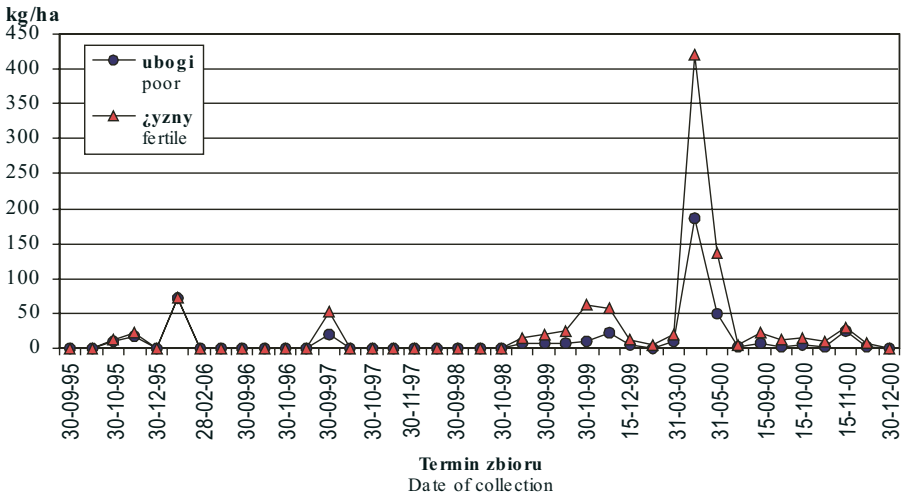
Ryc. 4. Dynamika opadania nasion w dwóch wariantach żyzności lasu górskiego na powierzchni monitoringowej Chelmowa Góra w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995–2000

Fig. 4. Dynamic of seeds fall in two fertility variants of mountain forest in monitoring plot Chelmowa Góra in Ojcowski National Park (1995–2000)



Ryc. 5. Dynamika opadania pędów w dwóch wariantach żyzności lasu górskiego na powierzchni monitoringowej Chelmowa Góra w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995–2000

Fig. 5. Dynamic of shoots fall in two fertility variants of mountain forest in monitory plot Chelmowa Góra in Ojcowski National Park (1995–2000).



Ryc. 6. Dynamika opadania frakcji „inne” w dwóch wariantach żyzności lasu górskiego na powierzchni monitoringowej Chelmowa Góra w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1995–2000

Fig. 6. Dynamic of 'other' fall in two fertility variants of mountain forest in monitory plot Chelmowa Góra in Ojcowski National Park (1995–2000)

1996 roku opadło 25,5 kg/ha w wariantcie ubogim oraz 35,1 kg/ha w wariantcie żyznym (około 1 % całkowitej masy opadu organicznego w obu wariantach). W roku 2000 w wariantcie ubogim zebrano 3,4 kg/ha nasion (0,1% opadu) oraz 5,8 kg/ha (1% opadu) w wariantcie żyznym) (ryc. 3–4).

Fracje pędy i „inne” opadały bez widocznych prawidłowości. Opad pędów nie wystąpił w 1995 i 1998 r. (tab. 1 i 2). W 2000 r. w kwietniu i maju wystąpiła kulminacja opadu frakcji „inne” – 236,57 kg/ha (6,52% opadu całkowitego) w wariantcie ubogim, oraz 320,37 kg/ha (6,95% opadu całkowitego) w wariantcie żyznym, przy czym główny w niej udział stanowiły kwiaty (ryc. 5–6).

Porównując wyniki badań uzyskane w OPN z otrzymanymi przez Nielsena (1977) można stwierdzić, że proces opadania był najintensywniejszy w październiku, mniej intensywny we wrześniu i listopadzie, a w pozostałych miesiącach mało znaczący. W październiku i listopadzie spadło ogółem 80–90% całkowitego rocznego opadu organicznego, z czego w samym październiku 65–75%. W buczynach Europy obserwuje się niewielkie zróżnicowanie w dynamice opadania liści. Buczyny w Anglii, Szwecji, Czechach i Słowacji kończą proces opadania liści w październiku, a najpóźniej na początku listopada (Nielsen 1977).

IV. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

W wyniku prowadzonych badań stwierdzono, iż masa opadu organicznego była znacznie wyższa w żyznym wariantcie *Dentario glandulosae-Fagetum typicum* niż w ubogim.

Po nasiennym roku 1995 nastąpił znaczny spadek produkcji materii organicznej w obu wariantach (minimum w wariantcie ubogim zanotowano w 1997 r., natomiast w wariantcie żyznym w 1998 r.). Od momentu osiągnięcia minimum zanotowano w obu wariantach stałą tendencję do zwiększania opadu organicznego, aż do 2000 r. roku.

Liście stanowiły główną frakcję opadu organicznego (około 90%), na drugim miejscu były okrywy nasienne, pędy, nasiona i frakcja „inne”.

Stwierdzono różny termin opadania wyróżnionych frakcji:

– najwięcej liści w poszczególnych latach opadło w październiku. Wyjątkiem był opad w 1999 r. zarówno w wariantcie ubogim jak i żyznym, gdy nastąpiło przesunięcie kulminacji opadu związane z wyjątkowo korzystnymi warunkami atmosferycznymi panującymi jesienią 1999 r., szczególnie w części przyszycowej Chełmowej Góry;

– okrywy nasienne kończyły opadanie dopiero w okresie rozpoczęcia opadu organicznego w roku następnym;

– nasiona w roku nasiennym (1995) najintensywniej opadały w październiku, następnie ich ilość zmniejszała się, lecz wolniej niż w przypadku liści (niewielkie ilości nasion notowano jeszcze w styczniu następnego roku);

– wielkość opadu pędów i frakcji „inne” pozbawiona była regularności, przy czym w nasiennym roku 2000, w kwietniu i maju, opadło około 80 % frakcji „inne” (szczególnie kwiatów) w obu wariantach, najprawdopodobniej w związku z wystąpieniem późnych przymrozków.

Sumaryczna wielkość opadu organicznego w OPN jest podobna jak w drzewostanach bukowych Europy środkowej i południowej Szwecji.

Serdecznie dziękuję: dr inż. Piotrowi Wężykowi, mgr inż. Markowi Kroczkowi, mgr inż. Bożydarowi Nerojowi i mgr inż. Markowi Karasiowi za pomoc w pracach terenowych i laboratoryjnych oraz kameralnych w różnych latach badawczych.

Praca została złożona 6.02.2006 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 25.04.2006 r.

THE STRUCTURE AND DYNAMIC OF LITTERFALL IN BEECH STAND IN OJCOWSKI NATIONAL PARK MONITORED AREA IN 1995–2000.

Summary

The research works were carried on in Ojcowski National Park in 1995-2000 period. In Chełmowa Góra experimental plot 6 sample plots with 0.16 ha each (40 x 40 m) were established in two *Dentario glandulosae-fagetum* fertility variants. Three sample plots represented each of the variants (poor variant: sample plots number I, II and III at 430 m a.s.l., and fertile variant: sample plots number IV, V and VI at 350 m a.s.l.). On each sample plot 16 litterfall catches with 0.1697 m³ inlet diameter were placed schematically every 10 m. The litterfall was collected in 1995-2000 period every 30 days whereas during an autumn every 15 days. The material was dried and divided into fractions i.e. leaves, seeds coats, seeds, shoots and 'other'.

It was found that the mass of litterfall in fertile variant was far higher than in poor one (Tab. 1 and 2). After a mass year in 1995 a significant decrease of organic litter was noticed both in fertile and poor variant (a minimum in poor and fertile variant in 1997 and 1998, respectively). However, the constant tendency in litterfall increase was noticed since the minimum points. The main fraction of the litterfall were leaves (90%) followed by seeds coats, shoots, seeds and 'other' fractions. The total amount of the litterfall in Ojcowski National Park is similar to that in Central European and southern Sweden beech stands.

The date of particular fraction fall was also different. The highest amount of leaves has been falling in following years in October except of year 1999 where the fall culmination was moved forward due to exceptionally good atmospheric conditions especially in Chełmowa Góra close to peak part (Fig. 1 and 2). The end of the seeds coats fall was at the same time when the litterfall starts in the next year. In the mass year 1995, the seeds were fallen in the highest intensity in October, their amount decreased afterwards but slower than leaves (small number of seeds was observed even in January the next year). The falls of shoots and 'other' fraction were irregular while in the mass year 2000 (April – May) in two variants fell ca 80% of 'other' fraction (mostly flowers), probably due to late frost occurrence (Fig. 3-6).

(transl. M. T.)

LITERATURA

- Bonnevie-Svedsen C., Gielms D. 1957. Amount and chemical composition of the litter from larch, beech, Norway spruce and Scots pine stands and its effect upon the soil. *Medr. Norske Skogsfors. Ves.* 48: 111-174.
- Chalupa V. 1961. Príspevek k poznání listové produkce bukový a dubnových porostu. *Prace Výzk. Ustavu Lesn. CSSR.* 23: 35-62.
- Donov V. 1964. Über die Menge des Abfalls in den Buchen, Äspen und Heibuchenbeständen. *Naucni Trud. Vissh Lesotekh. Inst.* 12: 33-40.
- Glatzel G., 1983. Die Messung der Deposition Langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldern. *Österreichischer Forstverein, Wien:* 165.
- Goršenin N. M., Švidenko A. J. 1977. *Lesovodostvo.* Lvov. Izd. Višča Škola.
- Heller H. 1971. Estimation of biomass of forests. [W:] *Integrated Experimental Ecology* (H. Ellenberg red.). Springer, Berlin: 45-47.
- Hunger W. 1970. Über den Ernährungszustand alterer Fichtenreinbestände auf Pseudogleystandarten in Jahren mit stark unterschiedlichen Niederschlagsverhältnissen. *Arch. Forstwesen,* 19: 937-961.
- ICP-Forest Manual (1998). (4th ed.) Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UN-ECE, Fed. Res. Centre for Forestry and Forest products (BFH).
- Kowalkowski A. 1994. Metodyka badań ilościowo-jakościowych cech opadu organicznego na stacjach ekologicznych Święty Krzyż i Góra Malik. *Monitoring środowiska regionu świętokrzyskiego,* 1: 47-52.
- 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 Przyrodniczego,* 4: 79-98.
- Małek S., Wężyk P., Neroj B. 1998. Struktura i dynamika opadu organicznego drzewostanu bukowego w różnych wariantach żyzności siedliska w Ojcowskim Parku Narodowym w latach: 1995 i 1996. *Acta Agraria et Silvestris,* 36: 63-76.
- Małek S., Wężyk P., Kroczek M. 2000a. Lokalizacja i charakterystyka powierzchni badawczych oraz założenia metodyczne w Ojcowskim Parku Narodowym i Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Krynicy. [W:] *Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy* (S. Małek, P. Wężyk red.). Katedra Ekologii Lasu Akademii Rolniczej w Krakowie oraz Popradzki Park Krajobrazowy, 7–18.
- Małek S., Wężyk P., Kroczek M., 2000b. Charakterystyka drzewostanów bukowych oraz zmian ich struktury w latach 1996–1998 na podstawie powierzchni doświadczalnych w Ojcowskim Parku Narodowym i Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Krynicy. [W:] *Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy* (S. Małek, P. Wężyk red.). Katedra Ekologii Lasu Akademii Rolniczej w Krakowie oraz Popradzki Park Krajobrazowy, 27–36.
- Małek S., Wężyk P., Nowak W. 2000c. Analiza ilościowa i jakościowa opadu organicznego drzewostanów bukowych na powierzchniach doświadczalnych w Ojcowskim Parku Narodowym i Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Krynicy w latach: 1996–1998. [W:] *Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy* (S. Małek, P. Wężyk red.). Katedra Ekologii Lasu Akademii Rolniczej w Krakowie oraz Popradzki Park Krajobrazowy, 93–112.
- Mariałowicz W., Pilipowicz W., Skawiński P. 1984. Dokumentacja dendrometryczna drzewostanu na powierzchni badawczej „Góry Chełmowej” w Ojcowskim Parku Narodowym MSK. OPN.

- Medwecka-Kornaś A. 1967. Ogólne założenia prac zespołowych w Ojcowskim Parku Narodowym. Stud. Nat., A., Zakład Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 7-16.
- Myczkowski S. 1967. Skład florystyczny, struktura i produktywność roślinności drzewiastej płatu *Fagetum carpaticum*. Stud. Nat., A., Zakład Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 61-93.
- Nielsen B. O. 1977. Seasonal and annual variation in litter fall in a beech stand 1967–75. Forst. Forsogsvaesen i Danmark, 35: 15-38.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1975. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.
- Schimming C. G., von Stamm S., 1993. Arbeitsbericht 1988–1991. Anhang I Untersuchung-Smethoden. Interne Sitteilungen. Kiel 1-257.