

## Dynamika opadu organicznego na terenie rezerwatu przyrody Jaskinia Raj

### The dynamics of organic fall in the Paradise Cave sanctuary

MAREK JÓŹWIAK<sup>1</sup>, MAŁGORZATA ANNA JÓŹWIAK<sup>2</sup>,  
RAFAŁ KOZŁOWSKI<sup>1</sup>

**Summary.** In the years 1994–2000, research on dynamics of organic deposition in two biogroups of *Tilio cordatae*-*Carpinetum betuli* was conducted. The beech wood comprises 2-layer hornbeam-beech stand with linden, maple, oak addition and pinus is between 95–105 years old (“A” biogroup), and pinus-stand with hornbeam, beech, oak addition (“B” biogroup).

The research was carried out on the Geocological Station Malik in the SE Świętokrzyskie Mountains at heights from 263 to 265 m ASL.

From organic deposition were selected components – assimilation organs of pinus, beech, hornbeam, oak.

In the time of the dynamics of organic deposition, the key role was played by quantitative ratios of assimilation organs of pinus and deciduous trees occasionally with those aged 1 or 2 years (seminal years).

**Key words:** organic fall, temporary variability, fructification years, minimum of fall, compound quantity

**Słowa kluczowe:** opad organiczny, czasowa zmienność, lata nasienne, minima opadu, skład ilościowy

<sup>1</sup> *Marek Józwiak, Rafał Kozłowski Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiskaul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, e-mail: marjo@ujk.edu.pl, rafalka@ujk.edu.pl*

<sup>2</sup> *Małgorzata Anna Józwiak I Ogólnokształcące Liceum Akademickie im. Janiny Kossakowskiej-Debickiej w Kielcach, e-mail: malgorzata.jozwiak@vp.pl*

## WPROWADZENIE

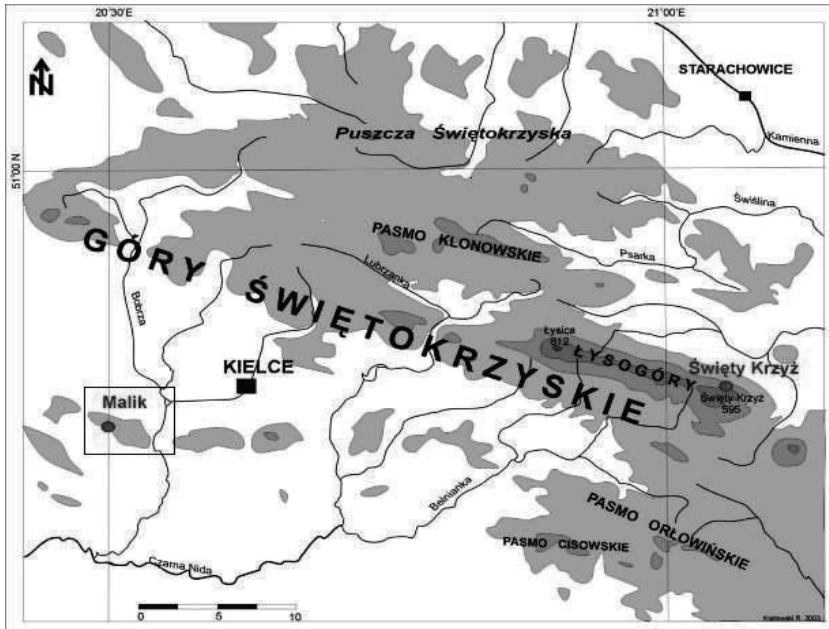
Ekosystemy leśne są miejscami naturalnych integracyjnych interakcji między różnymi formami życia zbiorowisk organizmów z otaczającym je środowiskiem funkcjonującym w czasie (Cleland i in. 1997). W objętościach przestrzeni ekologicznych poszczególnych jednostek funkcjonują biogrupy roślinne młode, dojrzałe i zestarzałe, z odpowiadającymi asocjacjami znajdującymi się w różnych stadiach sukcesji do klimaksowego włącznie. Jednym ze wskaźników stanu rozwojowego tych asocjacji jest ilościowo-jakościowy skład masy opadu organicznego docierającego z drzewostanu do powierzchni gleby.

Jego poznanie jest elementem pozwalającym przybliżyć relacje między faktycznym stanem drzewostanu a warunkami panującymi w biotopie, a szczególnie w glebach. Wiadomo, że masa i skład pierwiastkowy opadu organicznego są uzależnione od splotów czynników edaficznych i biocenotycznych (Wójcik 1970; Prusinkiewicz i in. 1974; Stachurski i Zimka 1977, 1981; Jenny 1983; Trofimow i in. 1995), a ostatnio także od natężenia i czasu działania emisji przemysłowych (Ulrich 1983; Kreutzer i Pröbstele 1991; Heitz 1998) oraz zmian klimatycznych (Kowalkowski, Józwiak 2007).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie dynamiki masy opadu organicznego w dwóch drzewostanach zespołu grądu subkontynentalnego – *Tilio cordatae-Carpinetum betuli*, bukowo-grabowo-sosnowym i sosnowo-bukowo-grabowym. Drzewostany te od lat 70. XX wieku znajdują się pod wpływem wielkoobszarowej, silnej alkalizacji przez pyły cementowe i wapniowe w tzw. Białym Zagłębiu o powierzchni 1032 km<sup>2</sup>. W tej fazie stanu rozwojowego zbiorowisk roślinnych wzrosła pulsacyjnie wielkość entropii i jednocześnie zwiększa się zawartość informacji funkcjonalnych w systemie biocenozy. Nawet częściowe ich poznanie może stanowić przyczynek do zgłębienia trendów zachodzących przemian przystosowawczych i przeżycia zarówno zbiorowisk roślinnych, jak i gleb w nowych warunkach środowiska.

## OBIEKT BADAŃ I METODY

Obiektem badań był zespół grądu subkontynentalnego *Tilio cordatae-Carpinetum betuli* (Stachurski i in. 2007) występujący na wzgórzu Malik w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich (ryc. 1).

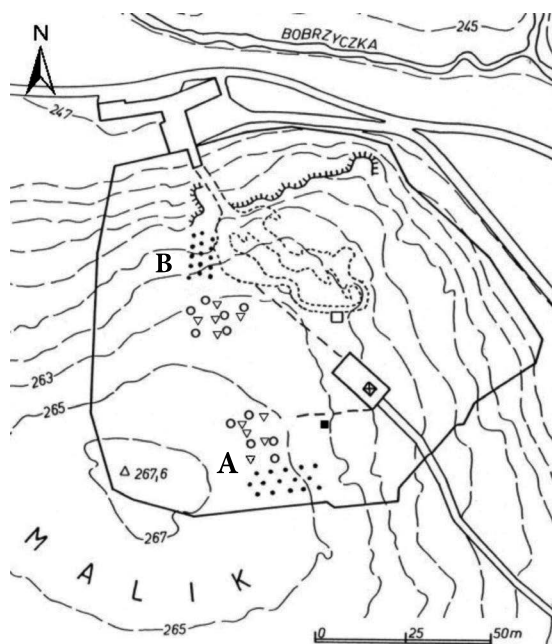


Ryc. 1. Położenie obszaru badań

Fig. 1. Research area

Badania opadu organicznego prowadzone były na terenie Stacji Geoekologicznej Malik Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w latach 1994–2000 na dwóch powierzchniach badawczych A i B o areale 200 m<sup>2</sup> każda (ryc. 2). Powierzchnie te są zlokalizowane na spłaszczonej wierzchołkowej ograniczonej od NW i NE pasmami wychodni skałek, w części wyższej o niespokojnym krasowym mezoreliefie powierzchni. Łagodnie nachylone w kierunku północno-wschodnim porośnięte są starodrzewiem sosnowym z domieszką pojedynczą i kępową sosny II i III klasy wieku antropogenicznego pochodzenia. W wielogatunkowym drugim piętrze i zwartych podrostach znajdują się: buk, grab, dąb, klon, lipa, świerk z leszczyną i kępy podsadzonych jodły, buka, grabu i świerka.

Powierzchnia A na wysokościach od 263 do 264 m n.p.m. znajduje się w zasięgu drzewostanu bukowo-grabowego z domieszką lipy, klonu i dębu oraz sosny II i III klasy wieku z pojedynczymi zastojami sosny 95–105-letniej. W słabo rozwiniętej roślinności runa znajdują się duże skupienia kopytnika, a na wychodniach skałek dewońskich występują kalcifilne rośliny w warunkach kserotermicznych.



Ryc. 2. Rozmieszczenie powierzchni badawczych opadu organicznego

- chwytacz opadu organicznego

Fig. 2. Location of research area

- container on organic fall



Fot. 1. Chwytacze opadu organicznego na powierzchni A

Photo 1. Organic fall containers on the plot A

Powierzchnia B na wysokościach od 263 do 265 m n.p.m. charakteryzuje się dominacją starodrzewia sosnowego z pojedynczą i kępową domieszką grabu, buka, klonu, dębu oraz podsadzoną kępowo jodłą.

Do pozyskiwania opadu organicznego zastosowano zmodyfikowane polietylenowe chwytacze w kolorze białym, umocowane na metalowych statywach (fot. 2). Ich powierzchnia chwytana to 56,8 cm<sup>2</sup>, wysokość krawędzi górnej 70–80 cm, wysokość 27 cm. W dnach usytuowanych na wysokości 40–50 cm nad powierzchnią gruntu zostały wykonane otwory, których przekroje wynosiły 2 mm. Otwory te służyły do odprowadzania okresowo pojawiających się wód opadowych.



Fot. 2. Chwytacz opadu organicznego  
*Photo 2. Organic fall container*

Na każdej z powierzchni rozmieszczono po 15 chwytaczy w 3 szeregach po 5 sztuk w odległości 3 m od siebie. Całkowita powierzchnia chwytana wynosiła 0,7065 m<sup>2</sup>. Zawartość chwytaczy była opróżniana w cyklu miesięcznym.

#### DYNAMIKA OPADU MASY ROŚLINNEJ

Od pierwszych ustaleń Ebermayera (1876), dotyczących rocznych ilości opadu organicznego w lasach, istotnie wzrosła wiedza o tym elemencie obiegu składników w ekosystemie, głównie w wyniku badań efektywności nawożenia mineralnego

lasów, a szczególnie wpływu emisji przemysłowych na obiegi masy i składników mineralnych w ekosystemach znajdujących się w zasięgu emisji i skażonego nimi powietrza atmosferycznego. Ilość i skład opadu organicznego podlegają znacznym rocznym wahaniom. Ilość corocznie opadającej masy organicznej w lasach, z ich części nadziemnej, wynosi od 1,5 do 7 t suchej masy na ha.

W warunkach edaficznych badanych drzewostanów zespołu grądu subkontynentalnego średnie wieloletnie sumaryczne masy opadu organicznego na obu porównawczych powierzchniach za okres 1994–2000 wynosiły 4848,20 i 5222,86 kg\*ha<sup>-1</sup>. W ich czasowym rozkładzie na obu powierzchniach zaznacza się prawidłowość przechodzenia od wysokiego opadu w latach 1994–1995, wynoszącego od 6016,45 do 6225,98 kg\*ha<sup>-1</sup>, do minimalnego w roku 1997, wynoszącego 3095,09 i 3863,15 kg\*ha<sup>-1</sup>, i następnie do kolejnego wysokiego opadu w latach 1998–2000 z maksimum w roku 1998 na powierzchni A z 4643,21 kg\*ha<sup>-1</sup> i na powierzchni B z 5939,93 kg\*ha<sup>-1</sup> (tab. 1).

W drzewostanach w ogólnej masie opadu organicznego dominuje bogaty w składniki mineralne opad organów asymilacyjnych, na powierzchni A średnio wynoszący 68,16% i 71,06% na powierzchni B ogólnej masy opadu (tab. 2–3). Na badanych powierzchniach średnia za lata 1994–2000 wynosiła od 3430,22 kg\*ha<sup>-1</sup> do 3674,57 kg\*ha<sup>-1</sup>. W latach 1994 i 1995 opad organów asymilacyjnych był bardzo wysoki od 4143,66 kg\*ha<sup>-1</sup> do 4781,40 kg\*ha<sup>-1</sup>, w roku 1997 osiągał najniższe wartości od 2716,04 kg\*ha<sup>-1</sup> do 2174,41 kg\*ha<sup>-1</sup>. Już w roku 1998 wystąpiło kolejne maksimum opadu organów asymilacyjnych z 3948,60 kg\*ha<sup>-1</sup> i 4688,66 kg\*ha<sup>-1</sup>, aby następnie do roku 2000 zmaleć do 2769,74 kg\*ha<sup>-1</sup> i 3297,82 kg\*ha<sup>-1</sup>. W opadzie tym na obu powierzchniach przeważa igliwie sosny z 38,66% na powierzchni A i 42,50% ogólnej masy opadu na powierzchni B, z udziałem masy liści w ogólnej masie opadu odpowiednio 29,15% i 28,07% (tab. 4). Ilościowe stosunki opadu igieł i liści były w poszczególnych latach na obu powierzchniach bardzo zróżnicowane, np. 34,36% igliwia i 41,24% liści w roku 1994 na powierzchni A oraz w tym samym roku na powierzchni B igliwia 44,89% i liści 27,98% w stosunku do ogólnej masy opadu. W dynamice opadu liści buka, grabu, dębu na powierzchni A zaznacza się pewna prawidłowość. W latach 1994 i 1995 oraz 1999–2000 opad liści grabu był wysoki, a niski dębu i buka. W latach 1996 i 1997 małowemu opadowi liści grabu towarzyszył stosunkowo wysoki opad liści buka i dębu. Na powierzchni B z drzewostanem bukowo-grabowo-sosnowym występuje stosunkowo wysoki opad liści grabu w latach 1995–1997, przy niskim opadzie liści dębu i buka, a więc sytuacja odwrotna do powierzchni A. Przyczyn tego należy szukać w warunkach edaficznych kształtowanych przez gleby. Z przebiegu linii masy opadu organicznego łącznie oraz opadu organów asymilacyjnych można wnioskować, że proces dopływu do powierzchni

gleb materii organicznej z drzewostanu jest zrównoważony i pozytywny. Znamienne jest, że w latach 1996–1998 wystąpił bardzo mały opad owoców, od  $56,49 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  do  $121,75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , natomiast w latach 1994, 1995 oraz 1999 i 2000 opad owoców był stosunkowo wysoki i wynosił od  $206,55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  do  $483,17 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Opad gałęzi i kory na powierzchni A, wynoszący  $407,35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i  $338,73 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i na powierzchni B średnio  $524,90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i  $389,78 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , związany jest z rosnącym ocienieniem dolnej części drzewostanów przez bujnie rozwijające się podrosty liściaste pod koronami sosen.

#### DYNAMIKA SEZONOWA OPADU ORGANICZNEGO

Na powierzchniach badanego zespołu *Tilio cordatae-Carpinetum betuli* na ogół w podobnych terminach występują od 1 do 3 małych maksimum opadu igliwia sosny oraz jedno duże jesienne maksimum opadu liści. Pierwsze małe maksimum występowało na ogół w marcu, wyjątkowo w 1999 roku w lutym, a w 2000 roku w ogóle nie wystąpiło. Drugie, większe małe maksimum opadu igliwia pojawiało się zazwyczaj w maju lat 1994 i 1997 lub czerwcu 1995 i 1996, w pozostałych latach nie wystąpiło. W lipcu lat 1994, 1997 i 2000 wystąpiło trzecie jeszcze większe maksimum małe, po którym na ogół regularnie we wszystkich latach kształtowało się duże maksimum opadu igliwia, jedno z określonymi przesunięciami w czasie. Miało ono miejsce we wrześniu 1995 roku, we wrześniu–październiku lat 1994, 1998 i 2000 lub w październiku lat 1996, 1997 i 1999.

Wielkości małych maksimum opadu igliwia wzrastały wyraźnie w kolejnych latach 1994 i 1995 od  $288,14 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  do  $325 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i następnie malały do roku 1998 z opadem  $145 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , po czym znów wzrastały do roku 2000 do  $298 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Z dynamiką wielkości małych maksimum opadu igliwia nie był związany przebieg dużych maksimum. Od 1994 roku wzrastały one od  $775,33 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  do roku 1995 z  $1158,75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , malejąc do 1997 roku do  $520,60$  i  $624,92 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i skokowo wzrastając do  $779,40$  i  $1124,09 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w roku 1999. W 2000 roku opad ten znów znacznie zmalał. Opad liści, na ogół sporadyczny w pierwszej połowie roku, koncentrował się w maksimum jesiennym, zbiegającym się z maksimum opadu igliwia.

W latach 1994 i 1999 na powierzchni A wystąpiły wczesne maksima opadu liści we wrześniu, w październiku w latach 1995, 1997, 1998 i 2000, spóźnione maksimum wystąpiło w listopadzie 1996 roku. Na powierzchni B natomiast maksima opadu liści były na ogół o miesiąc późniejsze – w październiku lat 1996, 1997, 1998 i 2000, spóźnione maksimum w 1996 roku wystąpiło w miesiącach październik–listopad.

## ZAKOŃCZENIE

Opad organiczny jest zjawiskiem ciągłym, choć jego natężenie jest zróżnicowane w czasie i zależy od takich czynników, jak: struktura i skład gatunkowy roślin tworzących zbiorowisko, warunki atmosferyczne i okres wegetacyjny (Schimmnig, Stamm 1993; Kowalkowski, Józwiak 2003, 2007). Wyniki wielu badań wskazują również na silną zależność opadu organicznego od klimatu. Przykładowo w środowisku tropikalnym największą obfitość opadu organicznego obserwuje się w końcowej części pory suchej i na początku pory deszczowej (Spain 1984). Jednak nawet na obszarach o analogicznym klimacie obfitość opadu organicznego może być zróżnicowana w zależności od właściwości gleby i obecności charakterystycznych zbiorowisk roślinnych (Pardo i in. 1997, Diaz-Maroto, Vila-Lameiro, 2006). Opad roślinny wpływa również znacząco na morfologię, właściwości gleb oraz stan odżywienia roślin i organizmów zasiedlających glebę. Dzięki nagromadzonemu materiałowi roślinnemu na powierzchni gleba charakteryzuje się wyższą wilgotnością, niższą temperaturą poziomów powierzchniowych, płytszą głębokością zamarzania oraz ma lepiej wykształcony poziom organiczny (Bednarek i in. 2005). Najważniejszy jest jednak fakt, że dzięki opadowi organicznemu do gleby powracają takie biogeny, jak: azot, fosfor czy potas. Pierwiastki dostarczone w ten sposób łatwo wchodzą do obiegu i równie łatwo są pobierane przez rośliny. Biogeny uwolnione ze ściółki należą do pierwiastków o dużej ekologicznej ruchliwości. Dotyczy to zwłaszcza tych pierwiastków biofilnych, które stanowią składniki materiałów budulcowych tkanek i które w nieznacznym stopniu zostają dostarczone z opadami atmosferycznymi. Dlatego tak ważny jest dopływ pierwiastków ze ściółki, stanowiący znaczący element zaopatrywania roślin w pierwiastki. W trakcie dekompozycji ściółki w procesach fizykochemicznych i biochemicznych, tj. rozpuszczania cukrów prostych w wodzie, mineralizacji przez mikroorganizmy cukrów złożonych i ligniny, polimeryzacji fragmentów materii organicznej, zostaje uwolniona szeroka pula pierwiastków od razu możliwych do przyswojenia przez florę. Zatem od tempa wyżej wymienionych procesów oraz od ilości uwolnionych w ten sposób pierwiastków zależy dostępność pierwiastków biofilnych dla roślin, a w następstwie produktywność ekosystemu (Grodzińska, Laskowski 1996).



Tabela 1. Roczne i średnie wieloletnie masy opadu organicznego w kg s.m. \*ha<sup>-1</sup> w latach 1994–2000 w Stacji Geoekologicznej Malik  
 Table 1. Yearly and mean yearly organic matter fall in kg\*ha<sup>-1</sup> in years 1994–2000 in the Geoecological Station Malik

Powierzchnia Area	Masa opadu organicznego w latach [kg*ha <sup>-1</sup> ] Organic matter fall in years										Średni roczny w latach 1994–2000 Mean yearly
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	1994–2000			
Góra Malik A	6016,45	6225,98	5094,82	3095,09	4643,21	4460,20	4401,68	33937,43	4848,20		
Góra Malik B	6035,77	6113,49	3942,97	3863,15	5939,93	5730,58	4934,16	36560,05	5222,86		

Tabela 2. Opad organiczny w Stacji Geoekologicznej Malik w latach 1994–2000 (powierzchnia A,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w suchej masie)  
 Table 2. Organic matter fall in the Geoeological Station Malik in years 1994–2000 (Area A,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  in dry mass)

Rok Year	Masa całkowita opadu Total mass of fall	Organy asymilacyjne Assimilation organs			Owoce Fruits	Łuski pączków Bud scales	Gałęzie Branches	Kora Bark	Inne Others
		Igły Needles	Liście Leafs	Razem Summ					
1994	6016,45	2067,25	2480,75	4548,00	224,95	26,40	399,53	437,57	380,00
1995	6225,98	2257,28	1886,38	4143,66	391,88	120,26	343,78	406,03	820,37
1996	5094,82	1745,64	1176,72	2922,36	183,66	28,55	1038,65	464,87	456,73
1997	3095,09	1624,21	553,20	2177,41	36,35	133,45	245,44	227,63	274,81
1998	4643,21	1602,85	1907,91	3510,76	94,51	2,12	285,39	226,73	523,70
1999	4460,20	1803,92	1151,90	2955,82	669,02	32,51	213,24	303,95	285,66
2000	4401,68	1686,72	1082,84	2769,56	687,18	44,80	325,44	304,34	270,36
Razem Summ	33937,43	12787,87	10239,70	23027,57	2287,55	388,09	2851,47	2371,12	3011,63
Średnia Mean 1994–2000	4848,20	1826,84	1462,81	3289,65	326,79	55,44	407,35	338,73	430,23

Tabela 3. Opad organiczny w Stacji Geoekologicznej Malik w latach 1994–2000 (powierzchnia B, kg\*ha<sup>-1</sup> w suchej masie)  
 Table 3. Organic matter fall in the Geoeological Station Malik in years 1994–2000 (Area B, kg\*ha<sup>-1</sup> in dry mass)

Rok Year	Masa całkowita opadu Total mass of fall	Organy asymilacyjne Assimilation organs			Owoce Fruits	Łuski pączków Bud scales	Gałęzie Branches	Kora Bark	Inne Others
		Igły Needles	Liście Leafs	Razem Summ					
1994	6035,77	2709,49	1688,75	4398,24	265,99	52,12	342,84	552,48	424,10
1995	6113,49	2770,24	2011,16	4781,40	21,22	55,18	265,96	452,11	537,62
1996	3942,97	1484,71	1202,86	2687,57	59,83	68,83	471,49	268,10	387,15
1997	3863,15	1635,83	1080,21	2716,04	135,94	12,97	356,56	281,62	360,02
1998	5939,93	2188,61	2159,42	4348,03	18,47	2,12	657,64	322,59	591,08
1999	5730,58	2589,88	1100,99	3690,87	297,31	31,17	939,04	384,10	388,09
2000	4934,16	2233,24	1064,60	3297,84	245,40	78,72	640,75	467,49	203,96
Razem Summ	36560,05	15612,00	10307,99	25919,99	1044,16	301,11	3674,28	2728,49	2892,02
Średnia Mean 1994–2000	5222,86	2230,29	1472,57	3702,86	149,17	43,02	524,90	389,78	413,15

Tabela 4. Procentowe udziały opadu organów asymilacyjnych w Stacji Geoekologicznej Malik w stosunku do ogólnej masy opadu organicznego w latach 1994–2000

Table 4. *Percental take part of assimilation organs in the Geoecological Station Malik in relation to the total organic matter fall in years 1994–2000*

Rok Year	Opad masy organów asymilacyjnych poszczególnych gatunków <i>Assimilation organs fall of the particular kinds</i>															
	Powierzchnia A <i>Plot A</i>							Powierzchnia B <i>Plot B</i>								
	Sosna <i>Pinus</i>	Buk <i>Beech</i>	Dąb <i>Oak</i>	Grab <i>Hornbeam</i>	Klon <i>Maple</i>	Lipa <i>Linden</i>	Kruszyna <i>Buckthorn</i>	Leszczyna <i>Hazel</i>	Sosna <i>Pinus</i>	Buk <i>Beech</i>	Dąb <i>Oak</i>	Grab <i>Hornbeam</i>	Klon <i>Maple</i>	Lipa <i>Linden</i>	Kruszyna <i>Buckthorn</i>	Leszczyna <i>Hazel</i>
1994	34,36	3,78	0,46	35,08	0,26	0,00	1,66	0,00	44,89	8,18	6,39	9,42	0,00	0,00	3,99	0,00
1995	36,26	3,29	1,27	25,38	0,32	0,03	0,00	0,00	45,31	6,90	3,16	22,84	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	34,26	10,26	3,70	6,04	0,00	0,00	3,10	0,00	37,65	1,50	2,16	25,43	0,60	0,58	0,24	0,00
1997	52,48	4,67	3,62	5,74	0,00	0,00	3,85	0,00	42,34	2,46	0,48	21,87	1,08	1,57	0,50	0,00
1998	34,52	4,44	1,03	29,74	1,36	0,13	0,44	3,95	36,85	18,43	7,65	3,97	0,00	0,71	2,65	2,93
1999	40,44	3,81	0,73	19,38	0,83	0,75	0,32	0,00	45,19	8,62	5,61	3,72	0,05	0,00	1,21	0,00
2000	38,32	3,08	1,01	18,04	2,20	0,02	0,26	0,00	45,26	10,29	4,61	5,33	0,00	0,00	1,34	0,00

## LITERATURA

- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z., 2005: Badania ekologiczno-gleboznawcze, PWN, Warszawa.
- Cleland D.T., Awers P.E., McNab W.H., Jansen M.E., Bailey R.G., King T., Russell W.E., 1997: Natural hierarchical framework of ecological units. In: M.S. Boyce, A. Honey (Eds), *Ecosystem Management Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources*. Yale University Press, New Haven, London: 181–199.
- Diaz-Maroto I.J., Vila-Lameiro P., 2005: Seasonal evolution of soil chemicals properties and macronutrients in natural forests of *Quercus robur* L. in Galicia. *Spain-Agrochimica* 49: 201–211.
- Ebermayer E., 1876: *Die gesamte Lehre von der Waldstreu*, Berlin.
- Grodzińska K., Laskowski R., 1996: Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Heitz R., 1988: Umbau von Fichtenreinbeständen in naturnahe Mischwälder – Auswirkungen auf bodenchemischen Zustand und Bioelementhaushalt, *Diss Freising*, 307.
- Jenny H., 1983: *The soil resource. Origin and behavior*. Springer Verl., New York, Heidelberg, Berlin, 377.
- 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* 4/2003: 76–98.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 2007: Czasowa zmienność opadu organicznego w drzewostanach jodłowo-bukowych w latach 1994–2006 na głównym masywie Łysogór, *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 8: 65–72.
- Kreutzer K., Pröbstle P., 1999: Einfluss von saurer Beregnung und Kalkung auf Ernährungszustand und Streufall von Altfeichten. *Ökosystemforschung Höglwald*, Paul Parey, Hamburg und Berlin: 35–40.
- Pardo F., Gil L., Pardos J.A., 1997: Field study of beech (*Fagus sylvatica*) and melojo oak (*Quercus pyrenaica*) leaf litter decomposition in the centre of the Iberian Peninsula. *Plant and Soil*. 191: 89–100.
- Prusinkiewicz Z., Dziadowiec H., Jakubasek M., 1974: Zwrot do gleby pierwiastków – biogenów z opadem roślinnym w lesie liściastym i mieszanym na luźnych glebach piaskowych, *Roczn. Glebozn.*, XXV: 25–34.
- Schimming C.G., Stamm S., 1993: *Arbeitsbericht 1988–1991, Anhang Untersuchungsmethoden, Interne Mitteilungen*, Kiel, 2: 1–257.
- Spain A.V., 1984: Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rainforest. *Journal of Ecology*. 72: 947–961.

- Stachurski M., Czerwik-Marcinkowska J., Gwardian M., Filipiak E., Józwiak M., Kruzelnicki A., Kurpios M., Rogalska R., Rybak M., Stachurska E., Suligowski R., Taborowicz K., Wróblewski P., Wróblewski T., 2007: Plan ochrony rezerwatu przyrody Jaskinia Raj na okres od 01.01.2007 r. do 31.12.2026 r.
- Stachurski A., Zimka J., 1981: The patterns of nutrient cycling in forest ecosystems, *Bull. Acad. Pol. Sci.*, II: 345–356.
- Stachurski A., Zimka J., 1987: Niektóre aspekty krążenia pierwiastków w ekosystemach leśnych na terenie Karkonoszy, w: Z. Fischer, 1992: Karkonoskie badania ekologiczne, Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologii PAN: 207–232.
- Trofymow J.A., Preston C.M., Prescott C.E., 1995: Litter quality and its potential effects on decay rates of materials from Canadian forests, *Water, Air and Soil Pollutin* 82: 215–226.
- Ulrich B., 1983: Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO<sub>2</sub>, alkali and earth alkali cations oan chloride, In: B. Ulrich, J. Pankrath (Eds), *Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems*, D. Reidel Publishing .
- Wójcik Z., 1970: Primary production of the herb layer and plant fall in a dry pine forest (*Cladonio Pinetum* Kobendza 1930) in the Kampinos National Park, *Ekol. Pol.*, 18: 34–42.