

HENRYK TRACZ

Różnicowanie się struktury zgrupowań wijów *Diplopoda* i *Chilopoda* w drzewostanach sosnowych Puszczy Piskiej w 6. i 7. roku po zaburzeniu huraganem*

Variation in the structure of myriapod (*Diplopoda* and *Chilopoda*) assemblages in Scots pine stands in the Pisz Forest 6 and 7 years after the hurricane

ABSTRACT

Tracz H. 2017. Różnicowanie się struktury zgrupowań wijów *Diplopoda* i *Chilopoda* w drzewostanach sosnowych Puszczy Piskiej w 6. i 7. roku po zaburzeniu huraganem. Sylwan 161 (3): 218-225.

An analysis of the occurrence of saprophagous *Diplopoda* and zoophagous *Chilopoda* 6-7 years after the hurricane of 2002 was performed on 12 research plots established for this purpose in Pisz Forest District (northern Poland) in Scots pine stands with a different scale of disturbance. Three plots were selected per each stand disturbance variant: A – severe disturbance (approx. 10% of survived trees), B – moderate disturbance (approx. 30-40% of survived trees) and F – no disturbance. In addition, we used three plots in Scots pine plantations (U) established after a complete removal of disturbed stands and soil preparation. The faunistic material was collected in 2008 and 2009 using Barber traps. Compared with the research carried out in 2004 and 2005, the occurrence of new *Diplopoda* species increased by 7, and their highest diversity was observed in 2009 in A variant. New millipede (*Diplopoda*) species were found in the post-hurricane wind-throw areas, whose number, in response to the changed environmental conditions (open space with high insolation, large amount of accumulated organic matter) increased. We used the GLM, NMDS and PCA to confirm the hypothesis that myriapod assemblages can be arranged along a clear disturbance gradient: from the most disturbed pine plantations and stands to the least affected stands. The regeneration of forest ecosystems, assessed on the basis of observations of the assemblages of carabid beetles by other authors, comprises a multi-step response to the disturbance. In the case of *Diplopoda* and *Chilopoda*, such a response observed after 2009 suggests the beginning of the restoration of myriapod assemblages inhabiting the ecosystems.

KEY WORDS

ecological trait, stump species, saprophage, zoophage, multi-scale stand disturbance

ADDRESSES

Henryk Tracz – e-mail: tracz@wl.sggw.pl

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

*Praca wykonana w ramach tematu „Monitoring zooindykacyjny regeneracji ekosystemów leśnych Puszczy Piskiej zaburzonych przez huragan” finansowanego ze środków na naukę N N309 294 934.

Wstęp

Katastrofalne zaburzenia środowiskowe uruchamiają procesy adaptacji i tworzenia struktur w ekosystemach leśnych, które stają się bardziej przystosowane do zmieniających się warunków otoczenia. Huragany, podobnie jak inne zaburzenia, modyfikują zawartość i dostępność składników pokarmowych, a także czynniki ekologiczne: światło, temperaturę i wilgotność [Picket, White 1985; Attivill 1994; Dobrowolska 2010]. W 2002 roku huragan zaburzył ekosystemy leśny Puszczy Piskiej na niespotykaną dotąd skalę. W mozaice powstałych środowisk nastąpiło nagromadzenie materii organicznej, a raptownie zmieniające się warunki wilgotnościowe, świetlne i termiczne osiągały czasami poziom ekstremalny dla organizmów żywych [Szwagrzyk 2000]. Dla fauny *Diplopoda* i *Chilopoda* – bezkręgowców ściółkowo-glebowo-pniakowych – powstały sprzyjające warunki do rozwoju i kolonizacji niezasiedlonych nisz [Tracz 1993, 1996, 2007, 2010].

Badania regeneracji ekosystemu leśnego prowadzone na terenie lasu referencyjnego Szast od 2003 roku wykazały kilkustopniową reakcję ekosystemu drzewostanu sosnowego na zaburzenie huraganem [Skłodowski, Garbalińska 2007; Garbalińska, Skłodowski 2008]. Reakcja zgrupowań biegaczowatych na zaburzenie drzewostanu w pierwszych 4 latach była stosunkowo słaba – zastąpienie fauny leśnej późnosukcesyjnej przez faunę pionierską biegaczowatych było prawie niezauważalne. Dopiero po upływie 4 lat reakcja ta okazała się znacznie silniejsza. Trwała do 2008 roku, a w jej wyniku gatunki pionierskie zdominowały zgrupowania biegaczowatych. Trzecia faza reakcji zgrupowań biegaczowatych rozpoczęła się w 2009 roku. Polegała na powrocie fauny leśnej i powolnym ustępowaniu gatunków pionierskich, co sugerowało początek regeneracji zgrupowań biegaczowatych oraz zamieszkiwanego przez nie ekosystemu [Skłodowski, Garbalińska 2011].

Zmiany o charakterze regeneracyjnym zachodzące w ekosystemie w latach 2008 i 2009 powinny wywołać również zmiany wśród przedstawicieli innych grup zwierząt. Ważną grupą bezkręgowców, mającą duży wpływ na krążenie materii w ekosystemie leśnym, są krocionogi (*Diplopoda*) i pareczniki (*Chilopoda*). Bezkręgowce te szybko reagują na zaburzenia ekosystemów, np. reakcja u *Chilopoda* widoczna jest już w 2. miesiącu po wycince drzewostanu [Negrete-Yankelevich i in. 2007]. Można przypuszczać, że łowność wijów, liczba ich gatunków, jak i wybrane charakterystyki struktury zgrupowań powinny zależeć od głębokości zaburzenia. Silniejsze zaburzenia ekosystemowe powinny prowadzić do przekształcenia zgrupowań krocionogów i pareczników w kierunku zgrupowań pionierskich, cechujących się dużym udziałem kserofili. Można oczekiwać, że w drzewostanach zaburzonych huraganem licznie powinny być reprezentowane gatunki pniakowe. Z drugiej strony można się spodziewać, że w zaburzonych drzewostanach licznie pojawi się fauna drapieżna. Postawiono dwa pytania eksploracyjne:

- 1) Czy obecność leżących drzew połamanych przez huragan przyczynia się do wzrostu liczby gatunków i łowności osobników wijów?
- 2) Czy udział w zgrupowaniach wijów gatunków kserofilnych, pniakowych, drapieżnych i saprofagicznych zależy od głębokości zaburzenia ekosystemu boru sosnowego?

Teren badań

Badania prowadzono na terenie lasu referencyjnego Szast w Nadleśnictwie Pisz. Wyznaczono 12 powierzchni badawczych o różnym stopniu zaburzenia drzewostanu sosnowego. Spośród nich wybrano po 3 powierzchnie reprezentujące wariant silnego zaburzenia (ocalało około 10% drzew; oddziały 75b, 88g, 105c) i wariant średniego zaburzenia (ocalało około 30-40% drzew; oddziały 89b, 99a i 117a), które oznaczono odpowiednio literami A i B. Dodatkowo wzięto pod

uwagę 3 powierzchnie założone we fragmentach ocalałych drzewostanów (oddziały 75h, 99a, 105f), które w dalszej części pracy oznaczono literą F. Do analizy włączono również 3 powierzchnie, które znalazły się na terenie upraw sosnowych założonych po całkowitym usunięciu zaburzonego drzewostanu i przygotowaniu gleby – ten wariant oznaczono literą U.

Material i metody

Wije łowiły się w zmodyfikowane pułapki Barbera. Na każdej powierzchni instalowano 5 maja po 5 pułapek i przeglądzano je co 6 tygodni, aż do końca października. Pułapki tego typu odławiają przemieszczające się wije. Przemieszczanie się bezkręgowców zależy od podłoża, po którym wędrują, np. duże utrudnienia obserwowane są na zaoranych zrębach [Skłodowski 2008]. W zaburzonych drzewostanach powierzchnia gleby jest wyrównana (nie ma wykrotów), a utrudnienie przemieszczania się wijów może być jedynie związane z leżącymi pniami drzew, które z kolei mogą stanowić miejsca schronień w okresach niesprzyjających.

Oznaczone do gatunku wije klasyfikowano w zależności od środowiska występowania, tolerancji wilgotnościowej i specjalizacji troficznej. *Diplopoda* i *Chilopoda* w zależności od zamieszkwanego środowiska dzielono na gatunki ściółkowe (zasiedlające środowisko ściółkowo-glebowe) i pniakowe (penetrujące pniaki w różnym stopniu rozkładu). W zależności od preferencji w stosunku do wilgotności siedliska gatunki dzielono na ksero-, mezo- i higrofilne. Utylizowany rodzaj pokarmu pozwolił podzielić gatunki na zoo- i saprofagiczne.

Zebrane dane poddano analizie kowariancji ANCOVA, zakładając poziom zaburzenia jako czynnik stały, a rok badań jako ilościowy. Dla zobrazowania różnic pomiędzy zgrupowaniami badanymi w wariantach zaburzenia zastosowano analizę PCA, którą wybrano po wcześniejszej ocenie długości gradientu. Przeprowadzono również niemetryczne skalowanie wielowymiarowe NMDS danych z obu lat badań. Dane te okazały się dobrej jakości, o czym świadczą niskie współczynniki stresu danych ($r=0,11$ w 2008 roku, $r=0,15$ w 2009 roku).

Wyniki

W obu latach badań złowiły się 254 osobniki należące do 12 gatunków i rodzajów *Diplopoda* oraz *Chilopoda* (tab. 1). Większą liczbę gatunków, jak i łośność osobników wijów zaobserwowano wraz ze wzrostem głębokości zaburzenia (tab. 1, 2, ryc. 1a, 1b). Założenie upraw (U) nie zwiększyło liczby gatunków ani łośności wijów bardziej niż najsilniejszy wariant zaburzenia drzewostanu (A). W uprawach (U) i w najbardziej zaburzonych drzewostanach (A) udział gatunków pniakowych wzrósł niemal trzykrotnie w stosunku do wariantu średnio zaburzonego (B) i fragmentów ocalałych drzewostanów (F) (ryc. 1b). Odwrotnie zareagowały gatunki ściółkowe, których udział w zgrupowaniach zamieszkujących uprawy (U) i najsilniej zaburzone drzewostany (A) był niższy niż w dwóch pozostałych, znacznie słabiej zaburzonych wariantach (B i F). Udział saprofagów najwyższy był w zgrupowaniach zasiedlających średnio i najbardziej zaburzone drzewostany (B i A). Udział gatunków kserofilnych najwyższy był w zgrupowaniach zamieszkujących uprawy (U) (ryc. 1c) i niespodziewanie we fragmentach ocalałych drzewostanów (F) (ryc. 1c).

Analiza NMDS w 2008 roku (ryc. 2a) uporządkowała zgrupowania wijów powierzchni U, A i B wzdłuż przekątnej, która tworzy gradient zaburzenia. W gradient ten nie wpisały się jednak zgrupowania zasiedlające fragmenty ocalałych drzewostanów (F). W 2009 roku (ryc. 2b) zgrupowania ułożone były wertykalnie wzdłuż osi pionowej: na dole diagramu NMDS zgrupowania zaburzonych w średnim stopniu drzewostanów (B) i fragmentów ocalałych drzewostanów (F), zaś w górnej części diagramu zgrupowania upraw (U) i drzewostanów zaburzonych w największym stopniu (A).

Tabela 1.

Liczba osobników *Diplopoda* oraz *Chilopoda* odłowionych w Nadleśnictwie Pisz w latach 2008 i 2009 na powierzchniach pohuraganowych silnie (A) i średnio (B) zaburzonych, z ocalałymi drzewostanami (F) oraz w założonych uprawach (U)

Number of *Diplopoda* and *Chilopoda* individuals caught in 2008 and 2009 in the Pisz Forest District on the severely (A) and moderately (B) disturbed post-hurricane areas, areas with survived stands (F) and in plantations (U)

	2008				2009			
	A	B	F	U	A	B	F	U
<i>Diplopoda</i>								
<i>Polydesmus complanatus</i> L.	41	1			37	6		
<i>Ommatoiulus sabulosus</i> L.	34	32	8	7	40	26	11	9
<i>Proteroiulus fuscus</i> Am Stein	3			10	8	3	3	28
<i>Chromatoiulus projectum kochi</i> Verh.	4				4	2		
<i>Leptoiulus proximus</i> Nem.					3			
<i>Craspedesoma simile</i> Verh.	1							
<i>Mastigophoryllon saxonicum</i> Verh.					1			
<i>Polyzonium germanicum</i> Brdt.						1		
<i>Cylindroiulus</i> sp.					1			
<i>Chilopoda</i>								
<i>Lithobius forficatus</i> L.	7	1	6	17	6	5	2	13
<i>Lithobius</i> sp.	6	4	10	16	10	3	8	15
<i>Geophilus</i> sp.				1				
Razem								
Total	96	38	24	51	110	46	24	65

Analiza PCA dla danych z 2008 roku (ryc. 3a) uporządkowała zgrupowania wijów odmiennie, skupiając większość z nich po lewej stronie diagramu PCA, a tylko dwa zamieszkujące najbardziej zaburzone drzewostany (A2 i A3) odseparowała po stronie prawej. Z najbardziej zaburzonymi drzewostanami A2 i A3 korelowała obecność *O. sabulosus*, *Ch. projectum*, *P. complanatus* i *C. simile*, a z uprawami U2 i U3 *Geophilus* sp., *L. forficatus*, *P. fuscus* i *Lithobius* sp. Analiza PCA danych z 2009 roku (ryc. 3b) wyraźnie odseparowała zgrupowania wijów najmniej i średnio zaburzonych drzewostanów (F1-F3, B1-B3) w lewym dolnym narożniku od zgrupowań zamieszkujących uprawy sosnowe (U1-U3) i drzewostany najbardziej zaburzone (A2-A3). Występowanie *P. germanicum* korelowało z drzewostanami mniej zaburzonymi, a gatunków *P. fuscus*, *L. forficatus* i *Lithobius* sp. z uprawami sosnowymi (U1-U3). Z drzewostanami najsilniej zaburzonymi (A2-A3) skorelowane było występowanie *M. saxonicum*, *P. complanatus*, *L. proximus*, *Ch. projectum*, *Cylindroiulus* sp. i *O. sabulosus*.

Dyskusja

Wydaje się, że na pytanie dotyczące wzrostu łowności osobników i liczby gatunków wijów w obecności leżących połamanych drzew można odpowiedzieć twierdząco. Najliczniejsze złowienia *Diplopoda* i *Chilopoda* w 2008 roku miały miejsce w drzewostanach najbardziej zaburzonych oraz w uprawach sosnowych. Spowodowane mogło to być licznym występowaniem gatunków kserofilnych, korzystających z ekspozycji gleby, np. *O. sabulosus*. Licznie łowiły się też gatunki pniakowe, korzystające z dużej liczby leżących połamanych pni: *P. complanatus* i *P. fuscus*. Ostatni z wymienionych najliczniej odłowiony był w uprawach. Również gatunki pniakowe i zoofagi należące do *Chilopoda* najliczniej odłowione były w uprawach oraz w najbardziej zaburzonych drzewostanach. Gatunki te specjalizują się w zasiedleniu 6-7-letnich upraw, na których znajdują

Tabela 2.

Wyniki ANCOVA dla wybranych charakterystyk zgrupowań *Diplopoda* i *Chilopoda* na powierzchniach pohuraganowych w Nadleśnictwie Pisz

ANCOVA results for *Diplopoda* and *Chilopoda* assemblages on post-hurricane sites in the Pisz Forest District

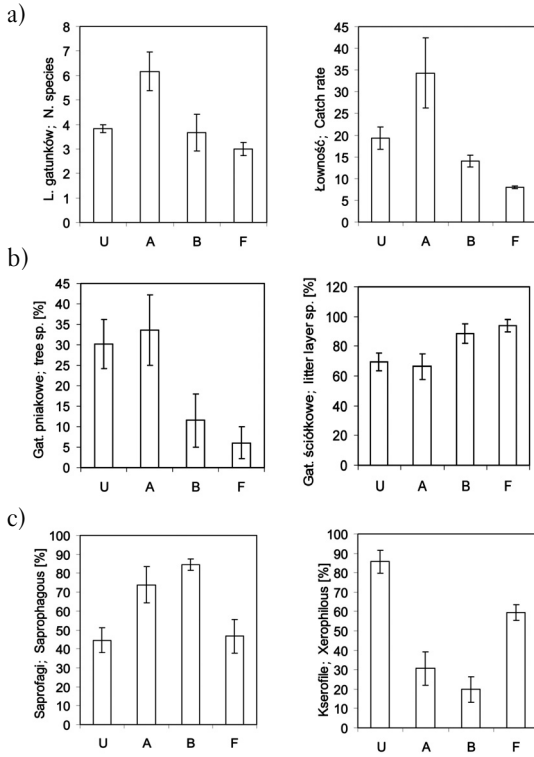
		df	MS	F	P
Łowność Catch rate	WW	1	53,663	0,476	0,498
	R	1	54,000	0,479	0,497
	Z	3	762,389	6,767	0,003
	B	19	112,667		
Liczba gatunków Number of species	WW	1	5,975	3,440	0,079
	R	1	6,000	3,455	0,079
	Z	3	11,444	6,589	0,003
	B	19	1,737		
Udział gatunków ściółkowych Share of litter layer species	WW	1	1119,233	5,397	0,031
	R	1	1112,745	5,366	0,032
	Z	3	1111,683	5,365	0,008
	B	19	207,383		
Udział gatunków pniakowych Share of tree-stem species	WW	1	1111,088	5,358	0,032
	R	1	1112,745	5,366	0,032
	Z	3	1111,683	5,361	0,008
	B	19	207,383		
Udział gatunków kserofilnych Share of xerophilous species	WW	1	18,015	0,057	0,814
	R	1	18,526	0,059	0,811
	Z	3	5279,232	16,745	<0,001
	B	19	315,279		
Udział gatunków saprofagicznych Share of saprophagous species	WW	1	664,697	2,127	0,161
	R	1	668,627	2,140	0,160
	Z	3	2378,117	7,610	0,002
	B	19	312,481		

WW – wyraz wolny, R – rok, Z – zaburzenie, B – błąd
WW – intercept, R – year, Z – disturbance, B – error

się pnie z częściowo ocalałą korą [Tracz 1984, 1993]. Widocznie drzewostany pohuraganowe stwarzają gatunkom pniakowym doskonałe miejsca zasiedlania, przypominające te na zrębach.

Wzrost łowności wijów i liczby ich gatunków kontrastuje z obserwowaną pierwszą reakcją na wycięcie drzew bądź usunięcie koron, czyli redukcją liczebności wijów [Ruan i in. 2005; Richardson i in. 2010]. Dlatego zwiększoną łowność osobników i większą liczbę gatunków w drzewostanach najbardziej zaburzonych należy odczytywać jako późną reakcję na zaburzenie huraganem.

Zaburzone w średnim stopniu oraz najslabiej zaburzone drzewostany zasiedlały zgrupowania wijów charakteryzujące się największym udziałem procentowym gatunków saprofagicznych (osiągającym 80-90%), co sugeruje liczebnościową reakcję *Diplopoda* oraz *Chilopoda* związaną z nagromadzeniem łatwo dostępnego materiału organicznego. Z drugiej strony duża elastyczność zachowań wobec zmieniających się czynników środowiskowych umożliwia tym gatunkom zamieszkiwanie biotopów uboższych i bardziej suchych [Tracz 1996, 2007, 2010]. Ekosystemy drzewostanów pohuraganowych są przesuszone. Na pytanie dotyczące zmian w strukturze zgrupowań wijów można odpowiedzieć twierdząco: im głębsze jest zaburzenie, tym większy udział w zgrupowaniach stanowią gatunki kserofilne, pniakowe i drapieżne, a mniejszy – gatunki saprofagiczne.

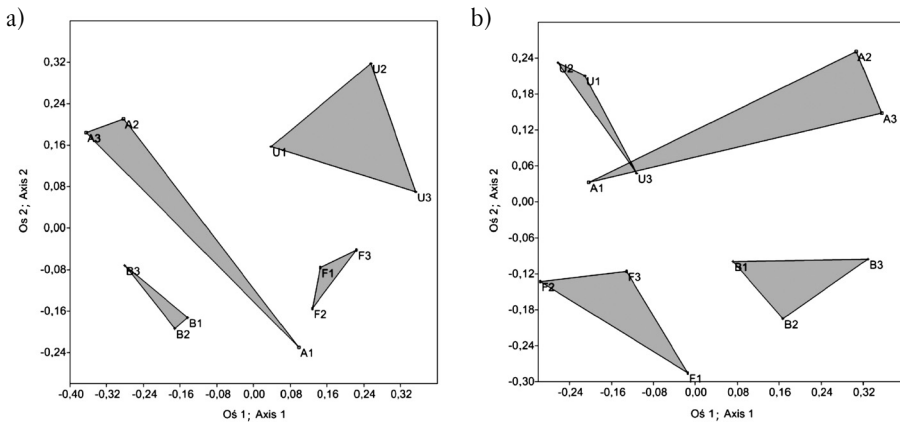


Ryc. 1.

Średnia (słupek) ±błąd standardowy (wąs) liczba gatunków i łowność osobników (a) i udział grup gatunków pniakowych i ściółkowych (b) oraz saprofagów i kserofilnych (c) w badanych zgrupowaniach *Diplopoda* i *Chilopoda*

Mean (bar) ±standard error (whisker) for number of species and catch rate (a) as well as proportion of species from stump and litter (b) or xerophilous and saprophagous (c) groups in analysed *Diplopoda* and *Chilopoda* assemblages

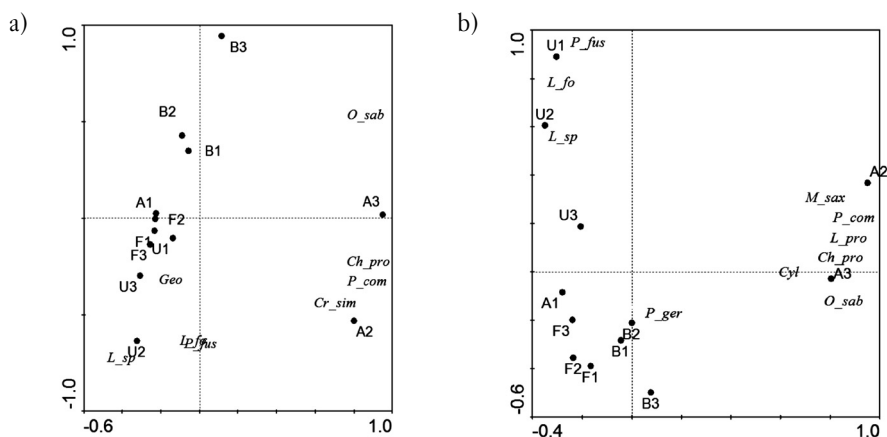
oznaczenia wariantów jak w tabeli 1; variant denotes as in table 1



Ryc. 2.

Zróżnicowanie zgrupowań *Diplopoda* i *Chilopoda* w latach 2008 (a) i 2009 (b)
Diversity of *Diplopoda* and *Chilopoda* assemblages in 2008 (a) and 2009 (b)

Początek regeneracji ekosystemu leśnego w 2009 roku na powierzchniach pohuraganowych, wskazany na podstawie badań zgrupowań biegaczowatych [Skłodowski, Garbalińska 2011] jako reakcja powrotu fauny leśnej fauny biegaczowatych kosztem fauny nieleśnej, pokazuje podobieństwo zmian w strukturach gatunkowych zgrupowań *Diplopoda* i *Chilopoda*, wśród których pojawiają się gatunki kserofilne i pniakowe oraz zoofagiczne: *O. sabulosus*, *P. complanatus* i *P. fuscus* oraz *L. forficatus* i *Lithobius* sp.



Ryc. 3.

Diagram PCA zgrupowań *Diplopoda* i *Chilopoda* w latach 2008 (a) i 2009 (b)

PCA diagram of *Diplopoda* and *Chilopoda* assemblages in 2008 (a) and 2009 (b)

Ch_pro. – *Chromatoiulus projectum kochi*, *Cr_sim.* – *Craspedosoma simile*, *Cyl.* – *Cylindroiulus* sp., *Geo* – *Geophilus*, *L_fo.* – *Lithobius forficatus*, *L_pro.* – *Leptoiulus proximus*, *L_sp.* – *Lithobius* sp., *M_sax.* – *Mastigophoryllon saxonicum*, *O_sab.* – *Ommatoiulus sabulosus*, *P_com.* – *Polydesmus complanatus*, *P_fus.* – *Proteroiulus fuscus*, *P_ger.* – *Polyzonium germanicum*

Analizy statystyczne NMDS i PCA danych odnośnie do zgrupowań wijów z lat 2008 i 2009 potwierdzają, że zgrupowania krocionogów i pareczników układają się w sposób wskazujący na wyraźny gradient zaburzeń: od upraw założonych na uprzątniętych po huraganie drzewostanach (U), przez najbardziej zaburzone drzewostany (A), do średnio zaburzonych drzewostanów (B). Szczególnie dobrze jest to widoczne na diagramie PCA z 2009 roku, kiedy rozpoczęła się regeneracja ekosystemu. Można to odczytać z ułokowania w jednej chmurze punktów drzewostanów średnio i najmniej zaburzonych (B1-B3 i F1-F3) – sugerujące upodobnienie się zamieszkujących je zgrupowań wijów.

Spośród saprofagicznych krocionogów, które najbardziej licznie zareagowały na zmieniające się warunki środowiskowe, można wymienić: *Ommatoiulus sabulosus* – gatunek kserofilny, *Polydesmus complanatus* – gatunek pniakowy na powierzchniach o najwyższym i średnim stopniu zaburzenia huraganem oraz *Proteroiulus fuscus* – gatunek pniakowy na powierzchniach upraw sosnowych. Spośród zoofagicznych *Chilopoda* podobną reakcją, z tym że na powierzchniach założonych upraw oraz powierzchniach o wysokim i średnim zaburzeniu, wykazał *Lithobius forficatus*. Gatunki te mogą być więc uznane za wskaźnikowe w innych badaniach zooindykacyjnych zaburzonych ekosystemów.

Podziękowania

Autor niniejszego opracowania składa serdeczne podziękowania anonimowemu recenzentowi za wskazówki dotyczące opracowania danych.

Literatura

- Attiwł P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems, the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management* 63: 247-300.
- Dobrowolska D. 2010. Rola zaburzeń w regeneracji lasu. *Leś. Pr. Bad.* 71 (4): 391-405.
- Garbalińska P., Skłodowski J. 2008. Body size differentiation in selected carabid species inhabiting Puszcza Piska forest stands disturbed by the hurricane. *Baltic Journal of Coleopterology* 8 (2): 101-114.
- Negrete-Yankelevich S., Fragoso C., Newton A. C., Heal W. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology* 35: 340-355.

- Pickett S. T., White P. S. [red.]. 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. Orlando.
- Richardson B. A., Richardson M. J., González G. S., Aaron B., Srivastava D. 2010. A canopy trimming experiment in Puerto Rico: the response of litter invertebrate communities to canopy loss and debris deposition in a tropical forest subject to hurricanes. *Ecosystems* 13 (2): 286-301.
- Ruan H., Lib Y., Zou X. 2005. Soil communities and plant litter decomposition as influenced by forest debris: Variation across tropical riparian and upland sites. *Pedobiologia* 49: 529-538.
- Skłodowski J. 2008. Carabids beetle movements in a clear-cut area with retention groups of Trees. W: Penev L., Erwin T., Assmann T. [red.]. Back to the Roots and Back to the Future. Towards a New Synthesis amongst Taxonomic, Ecological and Biogeographical Approaches in Carabidology. Pensoft. 451-467.
- Skłodowski J., Garbalińska P. 2007. Ground beetle assemblages (*Coleoptera, Carabidae*) in third year of regeneration after hurricane in the Puszcza Piska pine forests. *Baltic Journal of Coleopterology* 7: 17-36.
- Skłodowski J., Garbalińska P. 2011. Ground beetles (*Coleoptera, Carabidae*) assemblages inhabiting Scots pine stands of Puszcza Piska Forest: six-year response to a tornado impact. *Zookeys* 100: 371-392.
- Szwagrzyk J. 2000. Rozległe naturalne zaburzenia w ekosystemach leśnych: ich zasięg, charakter i znaczenie dla dynamiki lasu. *Wiadomości Ekologiczne* 46 (1): 3-19.
- Tracz H. 1984. Studies on ecology of *Proteroiulus fuscus* (Am Stein 1857) (*Diplopoda, Blaniulidae*). *Acta Zool. Cracov.* 21: 519-576.
- Tracz H. 1993. Problemy udziału *Diplopoda* w dekompozycji materii organicznej borów świeżych. *Rozpr. Nauk. i Monogr. Wyd. SGGW, Warszawa.*
- Tracz H. 1996. Spectrum of *Diplopoda* species in fresh pine stands of Poland. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW. For. and Wood Technol.* 47. 39-46.
- Tracz H. 2007. Fauna *Diplopoda* i *Chilopoda* w ekosystemach drzewostanów pohuraganowych i kontrolnych. W: Skłodowski J. [red.]. Monitoring zooindykacyjny pohuraganowych zniszczeń ekosystemów leśnych Puszczy Piskiej. KOLiE, SGGW. 97-105.
- Tracz H. 2010. Zmiany w strukturze fauny *Diplopoda* i *Chilopoda* drzewostanów pohuraganowych i kontrolnych w Puszczy Piskiej. W: Skłodowski J. [red.]. Monitoring zooindykacyjny regeneracji ekosystemów leśnych Puszczy Piskiej zaburzonych przez huragan. Warsaw Agr. University Press.