

REAKCJA MEZOFAUNY GLEBOWEJ NA WIELKOBSZAROWE ZNISZCZENIE DRZEWOSTANU PRZEZ HURAGANOWE WIATRY

Małgorzata Sławska

Abstrakt. Huraganowe wiatry powodujące zniszczenia dużych obszarów leśnych pojawiają się w Europie Środkowej z coraz większą częstotliwością. Zaburzenia te powodują nagłą zmianę struktury drzewostanów oraz modyfikują dostępność i rozmieszczenie zasobów dla wielu grup organizmów leśnych. Drastyczne zmiany mikroklimatu na powierzchniach pohuraganowych wywierają negatywny wpływ na środowisko glebowe. Spadek wilgotności gleby, wzrost jej temperatury i pH prowadzi do spadku aktywności mikrobiologicznej i w konsekwencji do zmian w zespołach bezkręgowców żyjących w ściółce i glebie. Szczególnie wrażliwe na tego typu zaburzenia są drobne bezkręgowce związane z martwą materią organiczną oraz rozkładającymi ją grzybami. W lasach iglastych strefy umiarkowanej do najliczniej reprezentowanych bezkręgowców glebowych należą skoczogonki i roztocza, które biorą aktywny udział procesach dekompozycji, uwalnianiu niezbędnych do rozwoju roślin składników pokarmowych i powstawaniu humusu.

Z badań prowadzonych w borach sosnowych Puszczy Piskiej oraz świerczynach górskich w Tatrach Wysokich wynika, że w zniszczonych przez huragan drzewostanach redukcji ulega bogactwo gatunkowe i zagęszczenie glebowych zgrupowań skoczogonków (Collembola) i mechowców (Oribatida). Wykazano również, że uprzątnięcie z powierzchni wiatrolomów wszystkich uszkodzonych drzew prowadzi do pogorszenia warunków bytowania i uszczuplenia bazy pokarmowej dla bezkręgowców glebowych. Konsekwencją obu tych następujących po sobie zaburzeń może być spadek aktywności biologicznej gleb na wiele dziesięcioleci.

Słowa kluczowe: zaburzenia, huragany, bory sosnowe i świerkowe, glebowe skoczogonki i mechowce

Abstrakt. Response of soil mesofauna on forest stand damages caused by windstorms. Windstorms causing damages on large forest areas occur in Central Europe with higher and higher frequency. These disturbances make sudden changes in forest stand structure and modify an availability and distribution of resources for many groups of forest organisms. The drastic changes of microclimate on windthrow forests exert negative impact on soil environment. The decrease of soil humidity, increase of temperature and pH caused a reduction of microbiological activity, and in result initiate changes in invertebrate communities living in litter and soil. Particularly vulnerable to these disturbances are tiny invertebrates involved with humid dead organic matter and living in it fungi. In coniferous forests springtails and mites belong to the most abundant soil

hexapods taking active part in decomposition processes, the release of nutrients essential for plant and humus formation.

The studies carried in pine forests in Piska Forest (north Poland) and in montane spruce forests in High Tatra Mts (Slovakia) proved that in destroyed by windstorm forest stands the species richness and the density of collembolan and oribatida assemblages was reduced. Moreover, the ensuing forestry practice i.e. the removal of all damaged trees from windthrown areas cause spectacular deterioration of habitat and depletion of food resources for the soil invertebrates. The consequences of these disturbances following one after other could reduce the biological activity of soil for many decades.

Key words: disturbance, windstorm, pine and spruce forests, soil Collembola and Oribatida

Wstęp

Huraganowe wiatry powodujące zniszczenia dużych obszarów leśnych pojawiają się w Europie Środkowej z coraz większą częstotliwością (Brázdil i in. 2018). Zaburzenia te powodują nagłą zmianę struktury drzewostanów oraz modyfikują dostępność i rozmieszczenie zasobów dla wielu grup organizmów leśnych. Na powierzchniach pohuraganowych wzrasta prawdopodobieństwo masowych pojawów szkodników, głównie kambio- i ksylofagicznych owadów. Z drugiej strony, pojawienie się dużej ilości martwego drewna i otwartych nasłonecznionych przestrzeni może sprzyjać gatunkom, które w zwartych cieniistych drzewostanach gospodarczych występują bardzo nielicznie (Bouget, Duelli 2004). Z badań przeprowadzonych w lasach świerkowych Szwajcarii wynika, że bogactwo gatunkowe stawonogów w płatach wiatrolomu jest 50% wyższe niż w sąsiadujących nietkniętych przez wiatr drzewostanach (Duelli i in. 2002). Ponieważ jednak ekologiczne skutki zaburzeń zależą od wielu czynników takich jak ich intensywność i częstotliwość, skali zaburzenia, rodzaju i wieku drzewostanu, a także kontekstu krajobrazowego, nie można zakładać, że w przypadku wszystkich grup leśnych bezkręgowców efektem zaburzeń będzie wzrost różnorodności.

W przypadku środowiska glebowego, drastyczne zmiany mikroklimatu na powierzchniach pohuraganowych mogą wywierać raczej negatywny wpływ na warunki życia ściółkowo-glebowych bezkręgowców. Szczególnie wrażliwe na tego typu zaburzenia są drobne bezkręgowce związane z rozkładającą się materią organiczną oraz rozwijającymi się w niej grzybami. W lasach iglastych strefy umiarkowanej do najliczniej reprezentowanych bezkręgowców należą skoczogonki i roztocza, które biorą aktywny udział procesach dekompozycji, uwalnianiu niezbędnych do rozwoju roślin składników pokarmowych i powstawaniu humusu. Mimo kluczowej roli zespołów leśnych bezkręgowców w funkcjonowaniu ekosystemów lądowych wiedza na temat zmian jakim podlegają na skutek destrukcji drzewostanów przez huraganowe wiatry jest fragmentaryczna. Jak dotąd, dobrze udokumentowano negatywny wpływ zrębów zupełnych na leśną faunę glebową. Trudno jednak określić, czy gospodarka zrębowa i naturalne wielkoobszarowe zaburzenia mogą mieć podobne skutki dla ściółkowo-glebowych bezkręgowców.

Celem pracy jest przedstawienie wyników dotychczasowych badań dotyczących reakcji mezofauny glebowej na zniszczenie drzewostanów przez huraganowe wiatry w warunkach

Europy Środkowej. W przeglądzie skoncentrowano się na skoczogonkach (Collembola) i roztoczach (Acarina), dwóch najliczniej reprezentowanych w lasach strefy umiarkowanej taksonach ściółkowo-glebowych.

Poszukiwano odpowiedzi na następujące pytania:

Czy wielkoobszarowe zniszczenie drzewostanów powoduje zmiany w składzie i strukturze leśnych zgrupowań skoczogonków i roztoczy?

Czy sposób zagospodarowania drzewostanów pokłeskowych może mieć negatywne skutki dla leśnej mezofauny?

Czy w drzewostanach zniszczonych przez wiatr można skutecznie łączyć zadania gospodarze z ochroną leśnej różnorodności?

Charakterystyka obiektów badawczych

Przegląd bazuje na wynikach badań prowadzonych przez różnych autorów w dwóch wielkoobszarowych wiatrołomach – Puszczy Piskiej (północna Polska) i Wysokich Tatrach (Słowacja). Pierwszy z nich powstał w lipcu 2002 w efekcie huraganowego wiatru, który zniszczył około 33 tys. ha lasu (Szwagrzyk i in. 2017). Do celów badawczych pozostawiono około 445 najsilniej zniszczonych drzewostanów na terenie Nadleśnictwa Pisz tworząc wyłączony z działań gospodarczych Las Ochronny Szast. Mimo dużego stopnia uszkodzenia drzewostanów, śmiertelność drzew na tym terenie była mniejsza niż 50% (Szwagrzyk i in. 2017). Płaty drzewostanów sosnowych w różnym wieku i o różnym stopniu zniszczenia stworzyły przestrzenną mozaikę, na którą składają się otwarte powierzchnie z leżącymi drzewami, grupy drzew bez uszkodzeń oraz duże powierzchnie z silnie pochylonymi lub złamanymi drzewami. Do badań wybrano 15 powierzchni reprezentujących pięć grup wiekowych drzewostanów sosnowych (35, 45, 55, 80 i 90 lat) w trzech powtórzeniach. Drzewostany przylegające do Lasu Ochronnego uprzątnięto i odnowiono, co jest standardowym postępowaniem w przypadku uszkodzonych przez wiatr drzewostanów gospodarczych. Z tego względu powierzchnie porównawcze zlokalizowano w sąsiadującym Nadleśnictwie Maskulińskie w borach sosnowych w wieku analogicznym do powierzchni na wiatrołomie.

Drugi wiatrołom powstał w listopadzie 2004 roku w efekcie huraganu, który zniszczył 12,6 tys. ha górskich świerczyn w Wysokich Tatrach. Również w tym przypadku, mimo położenia w parku narodowym prawie wszystkie zniszczone drzewostany zostały wycięte, a drzewa wywiezione. Do badań pozostawiono małe fragmenty dojrzałych drzewostanów, co umożliwiło założenie około stu hektarowych powierzchni reprezentujących następujące warianty doświadczenia: wiatrołom wyłączony z działań gospodarczych (Tatrzańska Łomnica), wiatrołom uprzątnięty przy zastosowaniu rębni zupełnej (Nova Polianka) i nietknięty przez huragan drzewostan kontrolny w okolicy Vysne Hagy (Čuchta i in. 2012).

Zmiany w składzie i strukturze zgrupowań Collembola w drzewostanach sosnowych zniszczonych przez huragan

Skutkiem huraganowych wiatrów jest silna redukcja zwarcia drzewostanów, powstanie otwartych płatów o różnych rozmiarach i aranżacji przestrzennej oraz zmiana ilości i jakości materii organicznej docierającej do dna lasu. Znając wrażliwość ściółkowo-glebowych bezkręgowców na zmiany czynników środowiskowych spodziewano się, że destrukcja drzewostanu przez huragan może prowadzić do spadku bogactwa gatunkowego i liczebności zgrupowań. Pierwszy sezon badań nie potwierdził tych oczekiwań. W zniszczonych przez huragan borach

sosnowych w trzecim roku po zaburzeniu średnia liczba gatunków i zagęszczenie zgrupowań skoczogonków było porównywalne do wartości referencyjnych. Dopiero w kolejnym roku w zgrupowaniach wiatrołomu odnotowano spadek bogactwa gatunkowego oraz silną redukcję zagęszczenia (tab. 1). Zgrupowania te wykazały znacznie wyższą wrażliwość niż fauna drzewostanów referencyjnych na warunki pogodowe, które różniły się znacznie w kolejnych sezonach. Opady roczne (dane ze stacji Olsztyn) w 2004 wyniosły 715,7 mm, a w 2005 tylko 491,3 mm (Szejwkowski i in. 2007). Obie wartości odbiegają od średniej z wieloletniej dla tego obszaru wynoszącej 599 mm (Szejwkowski i in. 2005), przy czym w pierwszym roku gleba pozbawiona pokrywy drzewostanu otrzymała znacznie większą dawkę opadów, a w następnym roku o niższych niż przeciętne opadach, była pozbawiona wilgoci. W efekcie w drzewostanach zniszczonych przez huragan odnotowano wyraźnie zmiany w strukturze zgrupowań, polegające na zmniejszeniu udziału gatunków wilgociolubnych, a wzroście liczebność gatunków kserodopnych. Redukcja liczebności w największym stopniu dotyczyła euedafonu, czyli gatunków żyjących w głębszych warstwach gleby, co świadczy o spadku aktywności biologicznej w poziomie mineralnym gleby. Ponadto w zaburzonych drzewostanach zmniejszyła się liczba gatunków rzadkich i sporadycznych. Zmiany jakie zaszły w składzie i strukturze zgrupowań zniszczonych drzewostanach w Lesie Ochronnym Szast spowodowały, że wyraźnie odbiegają one od typowego dla tego regionu zespołu leśnej mezofauny (Sławska, Sławski 2007).

Tab. 1. Zgrupowania Collembola wiatrołomu w Lesie Ochronnym Szast na tle zgrupowań drzewostanów referencyjnych Nadl. Maskulińskie w trzecim i czwartym roku po zaburzeniu (Sławska, Sławski 2007)
Table 1. Collembola assemblages of windthrown in Las Ochronny Szast on the background of the reference forest stands in Maskulińskie Forest District in the third and the fourth year after disturbance (Sławska, Sławski 2007)

Rok	Drzewostan referencyjny Nadleśnictwo Maskulińskie		Wiatrołom Las Ochronny Szast	
	Bogactwo gatunkowe	Zagęszczenie tys. szt./m ²	Bogactwo gatunkowe	Zagęszczenie tys. szt./m ²
2004	29	15,31	27	13,89
2005	27	11,09	19	7,17

Zmiany w składzie i strukturze zgrupowań Collembola w drzewostanach świerkowych zniszczonych przez huragan i ich reakcja na uprzątnięcie uszkodzonych drzewostanów

Powierzchnie badawcze założone w Tatrach Wysokich stworzyły okazję do poznania reakcji mezofauny glebowej nie tylko na zniszczenie świerczyn przez wiatr, ale też na wycięcie i wywiezienie uszkodzonych drzewostanów (Urbanovičová i in. 2010, 2013, 2014). W obu przypadkach spodziewano się negatywnych zmian w składzie gatunkowym i strukturze zgrupowań skoczogonków. Przemawiały za tym badania przeprowadzone przez Gömöröyová (2008, 2011), które ujawniły, że w pohuraganowych świerczynach zaszły istotne zmiany właściwości fizycznych i chemicznych gleby. Spadek wilgotności gleby, wzrost jej temperatury i pH przyczynił się obniżenia aktywności mikrobiologicznej gleby i w konsekwencji do zmian zasobów pokarmowych dla wielu glebowych bezkręgowców. W zgrupowaniach wiatrołomów pozostawionych bez ingerencji człowieka do naturalnej sukcesji, a także w zgrupowaniach

uprzątniętych powierzchni odnotowano wyraźny spadek bogactwa gatunkowego skoczogonków. W przypadku wykonanych na wiatrołomie zrębów zupełnych, po przejściowym wzroście liczby gatunków w pierwszych latach po zaburzeniu, bogactwo gatunkowe zostało zredukowane aż o 25%. W zgrupowaniach powierzchni nieuprzątniętej ubyło kilka gatunków, czyli 17% w porównaniu do bogactwa gatunkowego zgrupowania drzewostanów ocalałych z huraganu (tab. 2). Wykazano również różnice w zagęszczeniu zgrupowań na poszczególnych powierzchniach, gdyż w zniszczonych przez wiatr świerczynach wyraźnie wzrosła liczebność kilku gatunków kserodopornych. Poszczególne warianty różniły się również strukturą zgrupowań, gdyż wszystkie gatunki skoczogonków dominujących w świerczynach referencyjnych, w drzewostanach zniszczonych przez wiatr miały istotnie niższe zagęszczenie. Kilka rzadkich gatunków stopniowo zmniejszało swoją liczebność na powierzchni uprzątniętego wiatrołomu w kolejnych latach badań aż do zupełnego zaniku (Čuchta i in. 2012, 2013). Na tej podstawie autorzy postawili tezę, że zręby zupełne wykonane w zniszczonych przez wiatr drzewostanach mogą spowolnić regenerację leśnych zgrupowań na wielkoobszarowych wiatrołomach.

Tab. 2. Zgrupowania Collembola wiatrołomu pozostawionego do naturalnej sukcesji i wiatrołomu uprzątniętego na tle referencyjnych drzewostanów świerkowych w Tatrach Wysokich (Čuchta i in. 2012, 2013)
Table 2. Collembola assemblages of windthrown left for natural succession and clear-cut windthrown on the background of the reference spruce stands in the High Tatra Mountains (Čuchta i in. 2012, 2013)

Rok	Drzewostan referencyjny		Wiatrołom pozostawiony do naturalnej sukcesji		Wiatrołom uprzątnięty	
	Liczba gatunków	Zagęszczenie (tys. szt./m ²)	Liczba gatunków	Zagęszczenie (tys. szt./m ²)	Liczba gatunków	Zagęszczenie (tys. szt./m ²)
2005 2007	53	23,19	44	26,29	50	18,43
2008	54	26,83	45	31,40	40	28,63

Zmiany w składzie i strukturze zgrupowań Oribatida (Acari) w drzewostanach świerkowych zniszczonych przez huragan i reakcja na uprzątnięcie uszkodzonych drzewostanów

Na powierzchniach założonych na terenie wiatrołomu w Wysokich Tatrach przeprowadzono badania mechowców, będących najliczniejszą w glebach leśnych grupą roztoczy. W drugim roku po przejściu huraganu w drzewostanach zniszczonych przez wiatr odnotowano spadek zagęszczenia mechowców w porównaniu do powierzchni referencyjnej, przy czym najsilniejsza redukcja miała miejsce w zgrupowaniach na uprzątniętej części wiatrołomu (tab. 3). Było to spowodowane głównie drastycznym obniżeniem liczebności gatunków typowych dla borów i zwykle dominujących w ściółce leśnej (Lóšková i in. 2013a,b). Gatunki te przetrwały licznie na powierzchni wiatrołomu pozostawionej do naturalnej sukcesji, która w efekcie jest bardzo podobna faunistycznie do drzewostanu referencyjnego. Uprzątnięcie powierzchni wiatrołomu oprócz istotnych zmian w strukturze dominacyjnej spowodowało również zanikanie pewnych gatunków, dlatego też i skład gatunkowy tej powierzchni odbiega od drzewostanów referencyjnych. Mechowce to bezkręgowce o bardzo małej sile dyspersji, z tego względu negatywne zmiany w zgrupowaniach uprzątniętych wielkoobszarowych wiatrołomów mogą być długotrwałe, a tempo regeneracji leśnej mezofauny bardzo powolne.

Tab. 3. Zgrupowania Oribatida wiatrołomu pozostawionego do naturalnej sukcesji i wiatrołomu uprzątniętego na tle drzewostanów referencyjnych w Tatrach Wysokich (Lóšková i in. 2013a,b)
Table 3. Oribatida assemblages of windthrown left for natural succession and clear-cut windthrown on the background of the reference spruce stands in the High Tatra Mountains (Lóšková i in. 2013a,b)

Rok	Drzewostan referencyjny		Wiatrołom pozostawiony do naturalnej sukcesji		Wiatrołom uprzątnięty	
	Liczba gatunków	Zagęszczenie (tys. szt./m ²)	Liczba gatunków	Zagęszczenie (tys. szt./m ²)	Liczba gatunków	Zagęszczenie (tys. szt./m ²)
2006	46	181,08	40	129,20	39	56,81

Wnioski

1. Zniszczenie drzewostanów przez huraganowe wiatry to silne zaburzenie dla ściółkowo-glebowej mezofauny.
2. W zaburzonych przez wiatr drzewostanach redukcji uległo bogactwo gatunkowe skoczogonków, a w borach sosnowych na ubogim siedlisku również zagęszczenie zgrupowań.
3. Zniszczenie drzewostanów przez wiatr prowadzi do silnej redukcji zagęszczenia zgrupowań mechowców.
4. Uprzątnięcie zniszczonych drzew z powierzchni wiatrołomów pogłębia niekorzystne zmiany w zespołach leśnej mezofauny.
5. Pozostawienie płatów nieuprzątniętych drzewostanów na powierzchniach wielkoobszarowych wiatrołomów sprzyja zachowaniu bogactwa gatunkowego i liczebności mezofauny glebowej, co może przyspieszyć tempo regeneracji leśnej fauny w zniszczonych przez wiatr drzewostanach.

Literatura

- Bouget C., Duelli P. 2004. The effects of windthrow on forest insect communities: a literature review. *Biological Conservation* 118, 3: 281-299.
- Brázdil R., Stucki P., Szabó P., Řezníčková L., Dolák L., Dobrovolný P., Tolasz R., Kotyza O., Chroma K., Suchánková, S. 2018. Windstorms and forest disturbances in the Czech Lands: 1801-2015. *Agricultural and Forest Meteorology* 250: 47-63.
- Čuchta P., Miklisová D., Kováč L. 2012. A three-year study of soil Collembola communities in spruce forest stands of the High Tatra Mts (Slovakia) after a catastrophic windthrow event. *European Journal of Soil Biology* 50: 151-158.
- Čuchta P., Miklisová D., Kováč L. 2013. The impact of disturbance and ensuing forestry practices on Collembola in monitored stands of windthrown forest in the Tatra National Park (Slovakia). *Environmental Monitoring and Assessment* 185,6: 5085-5098.
- Duelli P., Obrist M. K., Wermelinger B. 2002. Windthrow-induced changes in faunistic biodiversity in alpine spruce forests. *Forest Snow and Landscape Research* 77: 117-131.
- Gömörjová E., Střelcová K., Fleischer P., Gömöry D. 2011. Soil microbial characteristics at the monitoring plots on windthrow areas of the Tatra National Park (Slovakia): their assessment as environmental indicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 174, 1-4: 31-45.
- Gömörjová E., Střelcová K., Škvarenina J., Bebej J., Gömör D. 2008. The impact of windthrow and fire disturbances on selected soil properties in the Tatra National Park. *Soil Water Res.* 3(1): 574-580.
- Lóšková J., Luptáček P., Miklisová D., Kováč L. 2013a. The effect of clear-cutting and wildfire on soil Oribatida (Acari) in windthrown stands of the High Tatra Mountains (Slovakia). *European Journal of Soil Biology* 55: 131-138.

- Lóšková J., Euptáčík P., Miklisová D., Kováč L. 2013b. Community structure of soil oribatida (Acari) two years after windthrow in the High Tatra Mountains. *Biologia* 68, 5: 932-940.
- Sławska M., Sławski M. 2007. Zmiany w składzie i strukturze epigeiczno-glebowych zgrupowań Collembola w drzewostanach Puszczy Piskiej zniszczonych przez huragan. W: Skłodowski J. (red.) *Monitoring zoindykacyjny pohuraganowych zniszczeń ekosystemów leśnych Puszczy Piskiej*. Wydawnictwo SGGW, ss. 53-95.
- Szwagrzyk J., Gazda A., Dobrowolska D., Chečko E., Zaremba J., Tomski A. 2017. Tree mortality after wind disturbance differs among tree species more than among habitat types in a lowland forest in northeastern Poland. *Forest Ecology and Management* 398: 174-184.
- Szwejkowski Z., Dragańska E., Banaszekiewicz B., 2005. Warunki pluwiotermiczne w Polsce północno-wschodniej w wieloleciu 1971-2000. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 505: 431-438.
- Szwejkowski Z., Suhecki S., Dragańska E. 2007. Odczyn opadów atmosferycznych w okolicach Olsztyna. *Acta Agrophysica* 10, 3: 715-725.
- Urbanovičová V., Kováč L., Miklisová D. 2010. Epigeic arthropod communities of spruce forest stands in the High Tatra Mts. (Slovakia) with special reference to Collembola—first year after windthrow. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae* 74: 141-152.
- Urbanovičová V., Miklisová D., Kováč L. 2013. The effect of windthrow, wild fire, and management practices on epigeic Collembola in windthrown forest stands of the High Tatra Mts (Slovakia). *Biologia* 68, 5: 941-949.
- Urbanovičová V., Miklisová D., Kováč L. 2014. Forest disturbance enhanced the activity of epedaphic Collembola in windthrown stands of the High Tatra Mountains. *Journal of Mountain Science* 11, 2: 449-463.

Małgorzata Sławska
Wydział Leśny SGGW w Warszawie
sławska@poczta.onet.pl