

JAROSŁAW W. SKŁODOWSKI, JERZY BUSZYNIEWICZ, MACIEJ DOMAŃSKI

Spontaniczne odnowienie drzewostanu zaburzonego huraganem w lipcu 2002 roku*

Spontaneous regeneration of a stand disturbed by a hurricane in July 2002

ABSTRACT

Skłodowski J. W., Buszyniewicz J., Domański M. 2014. Spontaniczne odnowienie drzewostanu zaburzonego huraganem w lipcu 2002 roku. Sylwan 158 (7): 499-508.

Spontaneous regeneration in the hurricane-disturbed stand in the Pisz Forest District (N Poland) was registered in the years 2007-2008 and 2011-2012. Breast height diameter and crown size were measured on 10×10 m plots. The analysis also included the soil respiration rate, the decomposition rate of organic matter, soil pH, leaf area index (LAI), content of Mg, Ca, C, N and P in soil, and vegetation coverage of the forest floor. The natural regeneration was dominated by birch, followed by pine, which recolonized the disturbed stand in smaller extend, possibly because of the thick cover of organic material hindering germination and making it difficult for pine sprouts to reach the mineral soil. Spontaneous regeneration of the stand was most severely inhibited by *Deschampsia flexuosa*, whose growth over the entire surface was linked to the capture of excess released nitrogen resulting from the decomposition of organic matter. Mosses and lingonberry did not delay the spontaneous appearance of seedlings. The development of the natural regeneration suggests the possibility that an uneven-aged stand will emerge.

KEY WORDS

windthrow, disturbance, Scots pine, regenerative succession, spontaneous regeneration

ADDRESSES

Jarosław W. Skłodowski ⁽¹⁾ – e-mail: jaroslaw.sklodowski@wl.sggw.pl

Jerzy Buszyniewicz ⁽²⁾

Maciej Domański ⁽²⁾

⁽¹⁾ Katedra Ochrony Lasu i Ekologii; SGGW w Warszawie; Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Nadleśnictwo Pisz; ul. Gdańska 24; 12-200 Pisz

Wstęp

W ostatnich latach huragany wielokrotnie zaburzały ekosystemy leśne w Polsce: w 2002 roku na terenie RDLP Białystok, w 2004 roku w RDLP Katowice i RDLP Kraków, w 2007 roku w RDLP Wrocław i RDLP Białystok, a w 2012 roku na terenie RDLP Toruń. Huragany kształtują wiele procesów, wpływając na funkcjonowanie ekosystemów leśnych, dlatego według Chapina i in. [2002] nie należy uznawać tych zjawisk za „złe”. Istnieje wiele definicji i poglądów na zaburzenia, uwzględniających zróżnicowane parametry zaburzanych ekosystemów: piętro producentów, wraz z ich biomasą, zasoby glebowe, strukturę gleby, faunę itp. [Conell, Slatyer 1977; Pickett, White 1985; Bengtsson i in. 2000; Szwagrzyk 2000; Ulanova 2002; Gandhi i in. 2008; Lugo 2008]. Nasilenie szkód w drzewostanach wywołanych huraganem zależy od prędkości i kierunku wiatru, jego synergicznego działania z opadami atmosferycznymi [Lugo 2008] oraz od topografii terenu, jego budowy geologicznej, warunków siedliskowych, kształtu i długości granicy drzewo-

* Badania sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki (umowa 1098/B/P01/2011/40).

stanów, składu gatunkowego drzewostanu i jego wysokości [Foster, Boose 1992; Ulanova 2000; Lugo 2008; Panferov, Sogachev 2008].

Regeneracja zaburzonego huraganem drzewostanu jest powolna i obejmuje wszystkie jego komponenty, w tym zgrupowania zamieszkujących je zwierząt, np. biegaczowatych. Trwające ponad 10 lat obserwacje regeneracji fauny biegaczowatych w drzewostanie sosnowym zaburzonym w 2002 roku (Nadleśnictwo Pisz) wykazały, że proces ten zależy między innymi od rodzaju pokrywy runa (np. trzcinnik *vs.* borówka brusznica) i od obecności spontanicznego odnowienia [Skłodowski 2013]. Z kolei spontaniczne odnowienie sosny pospolitej zależy od klimatu, parametrów siedliska i od obecności niektórych gatunków runa – np. opadłe liście borówki czarnej, tworząc grubą warstwę butwiny, utrudniają rozwój nalotów [Gmyz, Skrzyszewski 2010]. Bernadzki [1981] wskazuje konkurencję korzeniową o wodę jako przyczynę niekorzystnego oddziaływania borówki czarnej na naloty sosny, ponadto jako gatunki utrudniające rozwój nalotów sosny wymienia chrobotki i wrzos. Z kolei według Gmyza i Skrzyszewskiego [2010] gatunki te pozytywnie oddziałują na naturalne odnowienia sosny.

Badania regeneracji zgrupowań biegaczowatych w pierwszych 10 latach po huraganie wskazały potrzebę uzupełnienia obserwacji o rejestrację spontanicznego odnowienia drzewostanu. Jest to początek tego procesu, gdyż regeneracja zaburzonych drzewostanów w strefie umiarkowanej trwa dziesięciolecia [Oliver, Garson 1996]. Lugo [2008] proces regeneracji zaburzonych huraganem ekosystemów leśnych dzieli na następujące etapy:

- reakcja na zaburzenie – w pierwszych 3 latach po huraganie,
- okres gwałtownych zmian – trwający 20 lat, złożony z dwóch krótszych 10-letnich etapów: reorganizacji i grupowania,
- okres przekształcania – trwający od 20. do 45. roku upływającego od huraganu,
- etap dojrzewania – trwający od 45. do 60. roku upływającego od huraganu.

W pierwszych 3 latach po huraganie pojawiały się siewki drzew, jednak z uwagi na susze w okresie letnim większość z nich zginęła w roku kiełkowania. Równolegle sledzono pokrycie terenu runem, śmieciem pogiętym i różnymi gatunkami mchów, badano też tempo respiracji gleby, pH gleby, tempo dekompozycji materii organicznej, ciężar właściwy gleby i zawartość wybranych pierwiastków. Dopiero w kilka lat po huraganie pojawiło się liczniej spontaniczne odnowienie drzewostanu. Był to już okres „gwałtownych zmian” w etapie reorganizacji [Lugo 2008]. Ponieważ spontaniczne odnowienie drzewostanu pojawiło się i rozwija nierównomiernie na powierzchniach badawczych, oprócz rejestracji tego procesu celem badań było określenie czynników środowiskowych mogących utrudniać lub ułatwiać spontaniczną regenerację ekosystemu.

Materiał i metody

Badanie przeprowadzono na 15 powierzchniach wyznaczonych na terenie Lasu Ochronnego Szast (Nadleśnictwo Pisz), w jego zachodniej części, gdzie dominują gleby rdzawe porośnięte głównie borem świeżym (48% – 228,27 ha). Do momentu zaburzenia huraganem sosna pospolita była gatunkiem panującym (271 ha – 64%). Po huraganie większość badanych drzewostanów sklasyfikowano jako płazowany lub halizny, jednak po kilku latach przemianowano je na drzewostany o zwarciu przerywanym.

Do badań wytypowano pięć wariantów wiekowych drzewostanów, które odbiegały od klas wiekowych stosowanych w Lasach Państwowych: 1 wariant wieku drzewostanów – do 40 lat, 2 wariant wieku – 41-50 lat, 3 wariant wieku – 51-60 lat, 4 wariant wieku – 61-80 lat i 5 wariant wieku – 81 lat. Każdy wariant wieku powtórzono 3 razy. Powierzchnie znajdowały się w oddziałach: 75b, 75g, 75h, 88g, 89b, 99Ai, 99f, 104a, 105c, 105f, 116b, 117a, 117b i 118a.

Badania prowadzone są każdego roku, jednak do analizy przedstawionej w artykule zaczerpnięto dane z lat 2008-2009 i 2011-2012. Każda badana powierzchnia założona była na planie kwadratu o wymiarach 10×10 m, obejmującego istniejące małe (1 m²) stałe powierzchnie służące do fotograficznej metody rejestracji runa. Zastosowano metodę naziemnej kartograficznej rejestracji spontanicznego odnowienia, w którym położenie drzewek nanoszono, stosując metryczne koordynaty XY. Mierzono wysokość i pierśnicę każdego drzewka oraz wielkość jego korony (pod kątem prostym w 2 kierunkach). Ponadto na mapki naniesiono pozycję drzew ocalałych, pochylonych, złamanych, leżących i podwieszonych złamanych oraz zasięg koron żywych koron drzew stojących i pochylonych.

Tempo respiracji gleby mierzono bezpośrednio w terenie przy użyciu miernika AirTech P-2500 Gazex. Odczyn próbek gleby określono w laboratorium w wodzie i w roztworze KCl pH-metrem Orion 555a firmy Thermo, wskaźnik powierzchni listowia LAI miernikiem LAI2000, tempo dekompozycji na podstawie ubytku wagi wcześniej zważonych w warunkach laboratoryjnych próbek bielastego drewna sosnowego. Oznaczono też w zewnętrznym akredytowanym laboratorium zawartość magnezu, wapnia, węgla, azotu i fosforu w glebie na głębokości 10 cm. Pokrycie terenu runem, śmiałkiem pogiętym i mchami obliczono na podstawie informacji ze stałych powierzchni rejestracji runa.

Wyniki

W pierwszej serii badań (2008-2009) spontaniczne odnowienie pokrywało od 0,4% (3c) i 0,5% (2b) do 52,6% powierzchni, zaś w drugiej (2011-2012) od 0,7% (2b) i 2,9% (3c) do 63,0% (1a) 57,0% (4a). Spontaniczne odnowienie drzewostanu zdominowała brzoza, o czym świadczy wskaźnik korelacji pomiędzy pokryciem terenu przez brzozę i przez wszystkie gatunki odnowienia drzewostanu ($r=0,81$, $p=0,004$). Brzoza zdominowała spontaniczne odnowienie na 8, a sosna na 6 powierzchniach badawczych. Pokrycie badanej powierzchni przez spontaniczne odnowienie wzrosło pomiędzy badanymi latami z 13,49% $\pm 3,99$ do 24,02% $\pm 4,84$, co jednak z uwagi na dużą zmienność wartości uniemożliwiło potwierdzenie istotności różnic (tab. 1). Istotność różnic potwierdzono jedynie pomiędzy pokryciem terenu w 1 i w 2 przedziale wiekowym zaburzonego drzewostanu. Podobnie pokrycie terenu przez brzozę zwiększyło się z 8,74% $\pm 3,64$ do 12,44% $\pm 4,29$, jednak potwierdzono tylko różnice między pokryciem terenu w 1 i w 3 przedziale wiekowym drzewostanów (tab. 1). Również udział sosny w pokryciu terenu zwiększył się z 2,33% $\pm 1,21$ do 5,46% $\pm 1,73$, jednak potwierdzono jedynie różnice w stosunku do 2 przedziałów wiekowych (tab. 1). Z pokryciem terenu przez śmiałka pogiętego korelowało pokrycie terenu spontanicznym odnowieniem drzewostanu ($r=-0,59$; $p=0,076$), brzozą brodawkowatą ($r=-0,70$; $p=0,024$) oraz sosną ($r=-0,71$; $p=0,075$). Pokrycie terenu przez śmiałka korelowało również z występowaniem leśnych gatunków mchów ($r=-0,82$; $p=0,004$), natomiast próba skorelowania współwystępowania spontanicznego odnowienia drzewostanu i mchów przyniosła połowiczny efekt ($r=0,53$) i jeszcze słabszy w przypadku borówki brusznicy ($r=0,39$).

W latach 2009-2012 liczba drzew oraz ich wysokość zwiększyły się (ryc. 1). Nie potwierdzono jednak istotności różnic między frekwencją drzew w klasach wysokości w 2009 i w 2012 roku. Stwierdzono natomiast różnice frekwencji drzew w poszczególnych klasach wysokości (tab. 2).

Pierwsza oś diagramu RDA wyjaśnia 73,1%, a druga kolejne 16,9% zmienności danych (ryc. 2). Z pierwszą osią korelują: tempo dekompozycji materii organicznej mierzone wiosną ($r=-0,72$) i jesienią ($r=-0,69$) oraz wskaźnik LAI ($r=0,31$). Z drugą osią skorelowane są zmienne środowiskowe: respiracja gleby ($r=0,95$) oraz zawartość w glebie fosforu ($r=-0,86$), wapnia ($r=-0,84$), magnezu ($r=-0,76$) i węgla ($r=-0,63$). Zawartość azotu nie była skorelowana z pierwszą

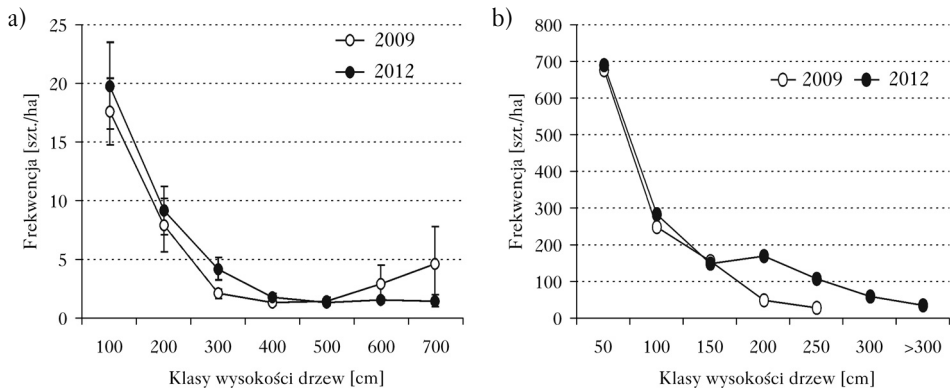
Tabela 1.

Średnie procentowe pokrycie terenu przez spontaniczne odnowienie drzewostanu, brzozę i sosnę w 7. i 10. roku regeneracji ekosystemu (Rok) i w różnych przedziałach wiekowych (Wiek)

Average percentage cover of the area by spontaneous stand regeneration, birch and pine in years 7 and 10 of ecosystem regeneration (Rok) and in different age ranges (Wiek)

| Zmienne | df | MS | F | p | post-hoc |
|------------------|----|----------|--------|--------|-------------------|
| Wszystkie drzewa | | | | | |
| Wyraz wolny | 1 | 10554,38 | 49,075 | <0,001 | – |
| Rok | 1 | 833,19 | 3,874 | 0,063 | – |
| Wiek | 4 | 945,45 | 4,396 | 0,010 | 1 vs. 2 (p=0,050) |
| Rok×Wiek | 4 | 45,64 | 0,212 | n.i | – |
| Błąd | 20 | 215,06 | | | – |
| Brzoza | | | | | |
| Wyraz wolny | 1 | 3130,03 | 15,597 | <0,001 | – |
| Rok | 1 | 111,26 | 0,554 | n.i. | – |
| Wiek | 4 | 605,97 | 3,020 | 0,043 | 1 vs. 3 (p=0,030) |
| Rok×Wiek | 4 | 13,64 | 0,068 | n.i | – |
| Błąd | 20 | 200,68 | | | – |
| Sosna | | | | | |
| Wyraz wolny | 1 | 454,74 | 17,176 | <0,001 | – |
| Rok | 1 | 73,63 | 2,781 | n.i | – |
| Wiek | 4 | 87,64 | 3,310 | 0,031 | 1 vs. 4 (p=0,034) |
| Rok×Wiek | 4 | 13,86 | 0,523 | n.i | – |
| Błąd | 20 | 26,48 | | | – |

Wszystkie drzewa – stand; Brzoza – birch; Sosna – pine



Ryc. 1.

Frekwencja spontanicznego odnowienia wszystkich gatunków (a) oraz sosny (b) w poszczególnych klasach wysokości drzew

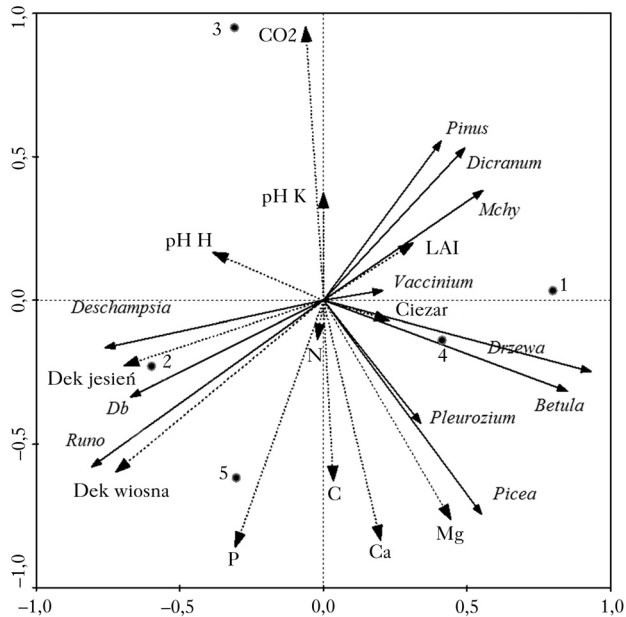
Frequency of the spontaneous regeneration of all species (a) and Scots pine only (b) in different height classes of trees

ani drugą osią. Z dodatnim zwrotem pierwszej osi (do którego przypisany jest wskaźnik LAI) korelowało występowanie: spontanicznego odnowienia drzewostanu ($r=0,93$), brzozy ($r=0,85$) i wszystkich gatunków mchów ($r=0,56$). Z ujemnym zwrotem tej osi (do którego przypisane było tempo dekompozycji materii organicznej) korelowało wystąpienie wszystkich gatunków runa ($r=-0,81$), śmiałka pogiętego ($r=-0,76$) oraz spontanicznego odnowienia dębu ($r=-0,67$). Z dodatnią częścią drugiej osi (do której przypisane było tempo respiracji gleby) korelowało występowanie

Tabela 2.

Frekwencja drzew w latach 2009 i 2012 roku (Rok) w klasach wysokości (Wysokość)
 Frequency of trees in 2009 and 2012 (Rok) in height classes (Wysokość)

| Zmienne | df | MS | F | p | post-hoc |
|--------------|----|---------|--------|--------|-------------------------|
| Wyraz wolny | 1 | 5564,49 | 76,583 | <0,001 | – |
| Rok | 1 | 50,16 | 0,690 | n.i | – |
| Wysokość | 3 | 1452,90 | 19,996 | <0,001 | 1 vs. 2, 3, 4 (p<0,034) |
| Rok×Wysokość | 3 | 3,19 | 0,044 | n.i | – |
| Błąd | 87 | 72,66 | | | – |



Ryc. 2.

Występowanie poszczególnych gatunków spontanicznego odnowienia wraz ze zmiennymi środowiskowymi
 Occurrence of particular species of the spontaneous regeneration together with environmental variables

Dek wiosna – dekompozycja materii organicznej wiosną; Dek jesien – dekompozycja materii organicznej jesienią; pH H – odczyn gleby oznaczony w wodzie; pH K – odczyn gleby oznaczony w roztworze KCl; CO₂ – respiracja gleby; LAI – wskaźnik powierzchni listowia; Cieczar – ciężar właściwy gleby; Mg, Ca, C, N, P – zawartość magnezu, wapnia, węgla, azotu i fosforu w glebie; 1-5 – drzewostany zaburzone w różnym wieku

Dek wiosna – organic matter decomposition in the spring; Dek jesien – organic matter decomposition in the autumn; pH H – soil pH determined in water; pH K – soil pH determined in KCl solution; CO₂ – soil respiration; LAI – leaf area index; Cieczar – soil specific weight; Mg, Ca, C, N, P – soil content of magnesium, calcium, carbon, nitrogen and phosphorus; 1-5 – stands disturbed at different ages

sosny ($r=0,55$) i mchów z rodzaju *Dicranum* ($r=0,53$). Z ujemną częścią tej osi skorelowane było występowanie świerka ($r=-0,75$).

Dyskusja

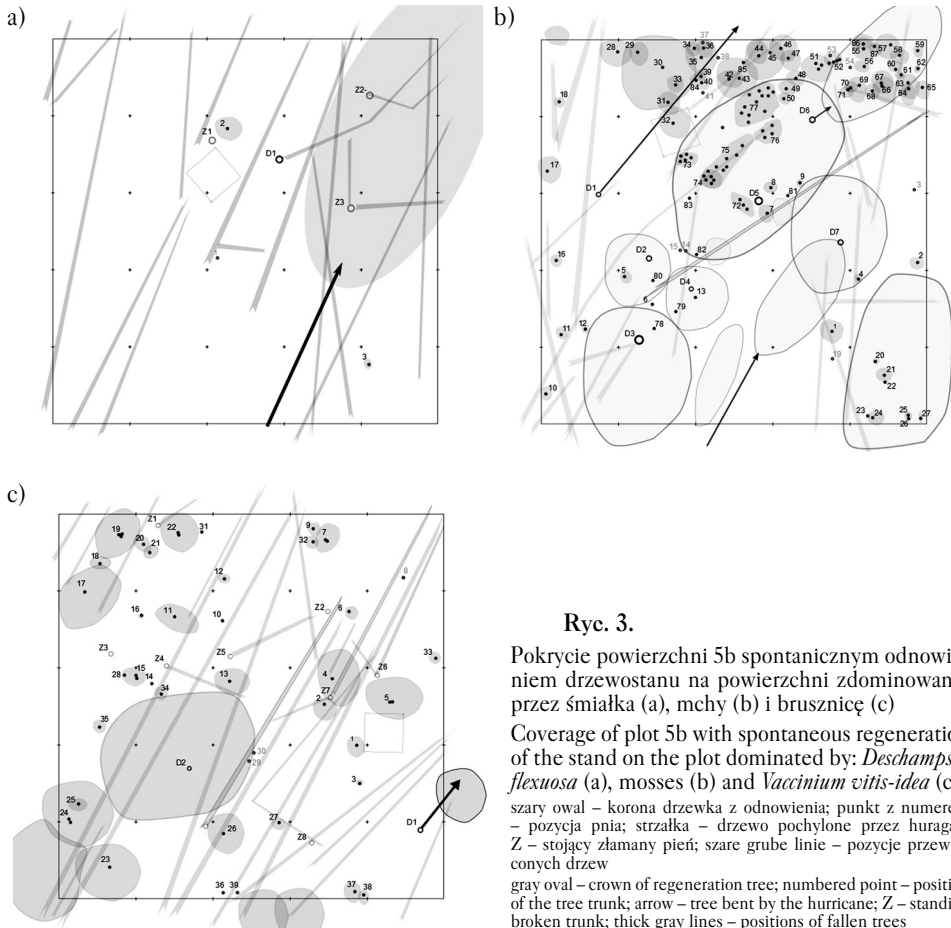
Odnowienie naturalne zdominowała brzoza brodawkowata, uzyskując największe pokrycie terenu w najmłodszych i w najstarszych drzewostanach, a sosna – drugi kolonizujący teren gatunek – zdominowała drzewostany średniowiekowe. Dobrowolska [2007] wykazała w spontanicznym odnowieniu tego drzewostanu dominację sosny, jednak prowadziła obserwacje tylko w 4 oddziałach. Obserwacje autorów artykułu pochodzą z 10 oddziałów, obejmujących znacznie większą powierzchnię zaburzonego drzewostanu. Przewaga brzozy nad sosną w spontanicznym odnowieniu może

być związana z zachowaną w dobrym stanie ściółką (mimo huraganu). Ściółka utrudnia odnowienie sosny, która „najchętniej” odnawia się na odsłoniętej glebie mineralnej [Drozdowski 2002; Andrzejczyk, Drozdowski 2003], względnie z grubą pokrywą mszystą [Heinsdorf 1994]. Najgęstsze naloty sosny powstają na glebie przygotowanej orką w bruzdy, a najmniej gęste – na glebie bez przygotowania [Drozdowski 2002; Aleksandrowicz-Trzcińska i in. 2013] – czyli w miejscach takich, jak w badanym drzewostanie zaburzonym. W konsekwencji odłamania drobnych gałęzi przez huragan oraz „deszczu” opadających suchych igieł z koron wzrasta miąższość ściółki, co utrudnia wzrost siewek sosny [Gryz, Skrzyszewski 2010]. Butwina o miąższości ponad 3 cm, powstała z liści jagody czarnej, utrudnia rozwój nalotów sosnowych [Gryz, Skrzyszewski 2010].

Najlepsze warunki do spontanicznego odnowienia drzewostanu stwarzają mchy [Bernadzki 1981]. Nie konkurują o światło, utrzymują wilgoć i prawdopodobnie pH na właściwym poziomie do kiełkowania sosny. Występowaniu nalotów sosnowych sprzyjają: widłoząb miotłowy (*Dicranum scoparium*), bielistka siwa (*Leucobryum glaucum*), widłoząb kędzierzawy (*D. polysteum*) i knotnik zwisty (*Pohlia nutans*), zaś rokitnik pospolity (*Pleurozium schreberi*) w pewnych warunkach może utrudnić kiełkowanie i wzrost sosny, ze względu na oddziaływanie chemiczne i konkurencję o zasoby [Gmyz, Skrzyszewski 2010]. Jednak mchy w pierwszych latach po huraganie zanikały w zaburzonym drzewostanie, prawdopodobnie z powodu nadmiernej suszy, co mogło osłabić siłę związku pomiędzy ich występowaniem i odnowieniem drzewostanu. Wydaje się też, że borówka brusznica może sprzyjać spontanicznemu odnowieniu drzewostanu, choć i w tym przypadku dodatni współczynnik korelacji jej występowania i spontanicznego odnowienia nie został potwierdzony.

Na kilku powierzchniach spontaniczne odnowienie drzewostanu było utrudnione. Mogą je utrudniać chrobotki, wrzos, borówka czarna [Bernadzki 1981], choć w przypadku badanej powierzchni gatunkiem takim okazał się śmiałek pogięty *Deschampsia flexuosa*. Wraz ze wzrostem pokrycia powierzchni śmiałkiem zmniejszało się pokrycie terenu brzozą, co wykazała korelacja i analiza RDA. Ponadto ekspansja śmiałka zmniejszała pokrycie powierzchni spontanicznym odnowieniem drzewostanu oraz sosną (korelacja na granicy istotności). Śmiałek pogięty na niektórych powierzchniach osiągał 100% pokrycia, eliminując praktycznie spontaniczne odnowienie drzewostanu (ryc. 3a), czego nie obserwowano na powierzchniach pokrytych mchami lub brusznicą (ryc. 3b i 3c). Zdarza się, że śmiałek pogięty i wrzos *Calluna vulgaris* konkurują, jednak konkurencję wygrywa śmiałek, nawet gdy ściółkę tworzy wrzos [Hofland-Zijlstra, Berendse 2010]. Prawdopodobnym kluczem do sukcesu śmiałka jest sprawne przechwytywanie azotu glebowego [Hill, Bell 1986], dzięki czemu skutecznie konkuruje on nawet z *Festuca ovina* [van Mierlo i in. 2000]. Ponieważ zawartość azotu w glebie w 3. roku po huraganie wzrosła [Skłodowski 2007], śmiałek mógł opanować część powierzchni, przechwytyując uwalniany w nadmiarze azot. Zapobiegał w konsekwencji jego „ucieczce” z ekosystemu, co zgodne jest z reakcją przystosowawczo-kopiującą ekosystemu znaną z leśnej inżynierii ekologicznej [Szujecki 1989]. Azot „napędza” procesy dekompozycji materii organicznej, stąd też RDA wskazała zależność pomiędzy występowaniem śmiałka oraz runa (współtworzonego przez śmiałka) z wysokim tempem dekompozycji materii organicznej.

Gatunkiem pojedynczo występującym w spontanicznym odnowieniu drzewostanu był dąb, spotykany nawet na powierzchniach zdominowanych przez śmiałka, gdzie wzrastał powoli w kolejnych latach. Analiza RDA skorelowała występowanie dębu z występowaniem śmiałka. Należałoby zastanowić się, czy dąb w warunkach silnej presji śmiałka może lokalnie stanowić alternatywę dla innych gatunków drzew.



Analiza frekwencji występowania odnowienia naturalnego wykazała zarysowujące się zróżnicowanie odnowienia na wysokość. Zróżnicowany rozkład wysokości sosen na powierzchniach w zaburzonym drzewostanie przypomina sytuację drzewostanów nierównomiernie przerzedzonych, w których odnowienie naturalne jest zróżnicowane pod względem wieku [Andrzejczyk 2003]. Prawdopodobnie w przyszłości może powstać tu drzewostan bezpiętrowy, trudniejszy do prowadzenia niż jednopiętrowy [Andrzejczyk 2003]. Jednocześnie należy podkreślić brak większego zagrożenia ze strony szkodników podkorowych, co może sugerować sprzyjające warunki rozwoju spontanicznego odnowienia.

Konsekwencją połamania przez huragan koron drzew, które wyczesując igłami związki siarki i azotu z powietrza, uczestniczą w zakwaszaniu gleby [Lukac, Godbold 2011], był wzrost wartości pH gleby [Skłodowski 2013]. Analiza RDA ujawniła, że w skali lokalnej – w miejscach występowania odnowienia naturalnego – pH gleby ponownie ulega obniżeniu. Być może jest to też mechanizm dodatkowo sprzyjający odnowieniu naturalnemu, gdyż sosna lepiej kiełkuje w warunkach kwaśnej gleby – optimum pH podłoża dla jej nasion waha się pomiędzy 4,2 a 4,4 [Białobok i in. 1993]. Odkwaszenie gleby, obok obecności śmiałka pogiętego na kilku powierzchniach, może być mechanizmem utrudniającym spontaniczne odnowienie drzewostanu.

Wnioski

- ✚ Naturalne odnowienie drzewostanu ogranicza najbardziej śmiełek pogięty, którego łanowy rozwój skojarzono z przechwytywaniem azotu uwolnionego w nadmiarze na skutek dekompozycji materii organicznej.
- ✚ Mchy leśne oraz borówka brusznica nie spowalniają pojawienia się spontanicznych nalotów.
- ✚ Brzoza dominuje w odnowieniu naturalnym, sosna jest natomiast subdominantem, co być może wynika z grubej okrywy materii organicznej, utrudniającej skiełkowanie i dotarcie kiełków sosny do gleby mineralnej.
- ✚ Rozwój odnowienia naturalnego sugeruje możliwość powstania bezpiecznego drzewostanu.

Literatura

- Aleksandrowicz-Trzcńska A., Drozdowski S., Brzeziecki B., Rutkowska J., Jabłońska B. 2013. Effects of different methods of site preparation on natural regeneration of *Pinus sylvestris* in Eastern Poland. *Dendrobiology* 71: 73-81.
- Andrzejczyk T. 2003. Różnowiekowe drzewostany sosnowe. Powstanie, struktura, hodowla. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Andrzejczyk T., Drozdowski S. 2003. Rozwój naturalnego odnowienia sosny zwyczajnej na powierzchni przygotowanej plugiem dwuodkładnicowym. *Sylvan* 147 (5): 28-35.
- Bengston J., Nilsson S. G., Franc A., Menozzi P. 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem functioning and management of European forests. *Forest Ecology and Management* 132: 39-50.
- Bernadzi E. 1981. Naturalne odnowienie sosny. *Las Polski* 55 (1): 9-11.
- Białobok S., Boratyński A., Bugała W. 1993. Biologia sosny zwyczajnej. Polska Akademia Nauk. Sorus Poznań-Kurnik.
- Chapin III F. S., Matson P. A., Mooney H. A. 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.
- Connell J. H., Slatyer R. O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* 111: 1119-1144.
- Dobrowolska D. 2007. Odnowienie naturalne lasu w drzewostanach uszkodzonych przez wiatr na terenie północno-wschodniej Polski. *Leśne Prace Badawcze* 2007 (2): 45-60.
- Drozdowski S. 2002. Wpływ różnych sposobów przygotowania gleby na wyniki naturalnego odnowienia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Acta Scientiarum Poloniarum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 1: 27-34.
- Foster D. R., Boose E. R. 1992. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology* 1: 5-18.
- Gandhi K. J. K., Gilmore D. W., Katovich S. A., Mattson W. J., Zasada J. C., Seybold S. J. 2008. Catastrophic windstorm and fuel-reduction treatments alter ground beetle (*Coleoptera: Carabidae*) assemblages in a North American sub-boreal forest. *Forest Ecology and Management* 256: 1104-1123.
- Gmyz R., Skrzyszewski J. 2010. Wpływ zróżnicowania mikrosiedliskowego boru świeżego na liczebność odnowienia naturalnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Sylvan* 154 (3): 173-181.
- Heinsdorf M. 1994. Uwagi dotyczące naturalnego odnowienia sosny. *Las Polski* 58 (24): 8-9.
- Hill M. O., Bell S. A. 1986. Growth of *Agrostis capillaries* and *Deschampsia flexuosa* in relation to decomposition of and nutrient release by Sitka spruce litter. *Plant and Soil* 95: 389-397.
- Hofland-Zijlstra J., Berendse F. 2010. Effects of litters with different concentrations of phenolics on the competition between *Calluna vulgaris* and *Deschampsia flexuosa*. *Plant and Soil* 327: 131-141.
- Lugo A. E. 2008. Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems an international review. *Austral Ecology* 33: 368-398.
- Lukac M., Godbold D. L. 2011. Soil Ecology in Northern Forests. A Belowground View of a Changing World. Cambridge University Press.
- van Mierlo J. E. M., Wilms Y. J. C., Berendse F. 2000. Effects of soil organic matter and nitrogen supply on competition between *Festuca ovina* and *Deschampsia flexuosa* during inland dune succession. *Plant Ecology* 148: 51-59.
- Olivier C. D., Larson B. C. 1996. Forest stands dynamics. John Wiley and Sons, New York.
- Panferov O., Sogachev A. 2008. Influence of gap size on wind damage variables in a forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1869-1881.

- Picket S. T. A., White P. S. 1985. The ecology of natural disturbance as patch dynamics. Academic Press, New York.
- Skłodowski J. 2007. Monitoring zooindykacyjny pohuraganowych zniszczeń ekosystemów leśnych Puszczy Piskiej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Skłodowski J. 2013. Monitoring zooindykacyjny regeneracji ekosystemu leśnego zaburzonego przez huragan w 2002 roku. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Szujecki A. 1989. Wstępna koncepcja leśnej inżynierii ekologicznej. Sylwan 135 (7): 1-18.
- Szwagrzyk J. 2000. Rozległe naturalne zaburzenia w ekosystemach leśnych: ich zasięg, charakter i znaczenie dla dynamiki lasu. Wiadomości Ekologiczne 46 (1): 3-19.
- Ulanova N. G. 2000. The effects of windthrow on forest at different spatial scale: a review. Forest Ecology and Management. 135: 155-167.

SUMMARY

Spontaneous regeneration of a stand disturbed by a hurricane in July 2002

In 2002 a hurricane disturbed over 30,000 ha of pine stands in northeastern Poland. Most of these stands were completely removed and new ones were planted, but 445 ha of disturbed stands were left completely untouched in order to study regenerative succession. Research on the regeneration of the ecosystem has been carried out since 2003. This article presents the research covering the years 2008-2009 and 2011-2012, in which coverage of the area by spontaneous stand regeneration was registered by measuring the diameter of the trees at breast height and the size of their crowns on 15 plots (10 × 10 m). The analysis also included the soil respiration rate, the decomposition rate of organic matter, soil pH, the leaf area index (LAI), soil content of Mg, Ca, C, N and P, and coverage of the forest floor by vegetation, with specification of certain species.

In the second research cycle (2011-2012) the spontaneous regeneration was dominated by birch ($r=0.81$, $p=0.004$). Natural regeneration covered from 0.7 to 63.0%. Area covered by *Deschampsia flexuosa* was correlated with area covered by spontaneous regeneration of the stand ($r=-0.59$, $p=0.076$), by silver birch ($r=-0.70$, $p=0.024$) and by Scots pine ($r=-0.71$; $p=0.075$). Area covered by *Deschampsia flexuosa* was also negatively correlated with the occurrence of forest species of mosses ($r=-0.82$, $p=0.004$).

The first axis of the RDA diagram explains 73.1% of the variation in the data, while the second an additional 16.9% (fig. 2). The first axis is correlated with the decomposition rate of organic matter measured in the spring ($r=-0.72$) and autumn ($r=-0.69$) and with the LAI ($r=0.31$). The second axis is correlated with soil respiration ($r=0.95$) and soil content of phosphorus ($r=-0.86$), calcium ($r=-0.84$), magnesium ($r=-0.76$) and carbon ($r=-0.63$). Nitrogen content was not correlated with either the first or the second axis. The positive part of the first axis (to which LAI is assigned) is correlated with the occurrence of spontaneous regeneration of the stand ($r=0.93$), of birch ($r=0.85$) and of all moss species ($r=0.56$). The negative part of this axis (decomposition rate of organic matter) was correlated with the occurrence of all species of forest floor vegetation ($r=-0.81$), *Deschampsia flexuosa* ($r=-0.76$) and spontaneous regeneration of oak ($r=-0.67$). The positive part of the second axis (soil respiration rate) was correlated with the occurrence of pine ($r=0.55$) and of mosses of the genus *Dicranum* ($r=0.53$). The negative part of this axis was correlated with occurrence of spruce ($r=-0.75$). The natural regeneration was dominated by birch, followed by pine, which recolonized the disturbed stand in smaller numbers, possibly due to the thick cover of organic material hindering germination and making it difficult for pine sprouts to reach the mineral soil. Spontaneous regeneration of the stand was most severely

inhibited by *Deschampsia flexuosa*, whose growth over the entire surface was linked to the capture of excess released nitrogen due to decomposition of organic matter. Mosses and lingonberry did not delay the appearance of spontaneous seedlings. The development of the natural regeneration suggests the possibility that an uneven-aged stand will emerge.