

Grzegorz Koziński, Andrzej Nienartowicz

ROZMIESZCZENIE PRZESTRZENNE I WIELKOŚĆ SZKÓD SPOWODOWANYCH PRZEZ WIATR W LASACH WYBRANYCH OBSZARÓW POMORZA

1. Wstęp

W ostatnich latach w wielu nadleśnictwach Pomorza notuje się wzrost szkód wywołanych przez wiatr. Na terenie Borów Tucholskich, stanowiących największy kompleks leśny tej części Polski, największe straty w drzewostanach w wyniku działania wiatru wystąpiły w końcu 1999 roku. Były one związane ze skutkami huraganów, które nawiedziły Europę Zachodnią i Centralną 3, 26 i 27 grudnia. Huragany te, w literaturze meteorologicznej i ekologicznej określane jako „Anatol”, „Lothar” i „Martin” (Ulbrich i in., 2001) spowodowały znaczne szkody głównie w lasach na terenie Niemiec. Straty wystąpiły też w lasach Francji, Szwajcarii i Austrii. W Borach Tucholskich największe zaburzenia w ekosystemach leśnych w wyniku wystąpienia huraganu „Lothar” zostały zanotowane w północno zachodniej części, m. in. na terenie Nadleśnictwa Przymuszewo. Były to złomy i wywroty tysięcy pojedynczych drzew, jednakże powalów powierzchniowo-wych, nie zanotowano. Jeszcze silniejszy huragan wystąpił w Borach Tucholskich 22.06.2000 r. Następstwem jego działania były: uszkodzenia pojedynczych drzew, wiatrowały i wiatrołomy powierzchniowe. Szkody powierzchniowe miały miejsce przede wszystkim w Nadleśnictwach Czersk i Woziwoda wchodzących w skład RDLP Toruń. Ze wstępnej analizy przestrzennego rozmieszczenia szkód wynikało, że lokalizacja wykrotów i złomów koresponduje z rozmieszczeniem lasów wtórnych odtworzonych na gruntach porolnych, które w przeszłości były użytkowane rolniczo. Celem niniejszej pracy była analiza ilościowa wpływu powyższych czynników na wielkość strat ekologicznych i ekonomicznych na dwóch powierzchniach badawczych: 1 – w Parku Narodowym „Bory Tucholskie, 2 – w pobliżu miejscowości Wielka Komorza w Nadleśnictwie Woziwoda. W analizie rozmieszczenia szkód wywołanych przez wiatr wykorzystano dane z inwentaryzacji powalonych drzew i pozyskanego drewna prowadzonych przez nadleśnictwa, informacje z pomiarów dokonanych za pomocą odbiornika GPS. Zastosowano metody teledetekcji satelitarnej i modelowania zjawisk ekologicznych w GIS.

2. Teren badań

2.1. Charakterystyka ogólna

Według podziału fizyczno-geograficznego Polski zaproponowanego przez Kondraczkiego (1980), badany obszar należy do czterech makroregionów – Pojezierze Południowo-Pomorskie, Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie, Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka i Pojezierze Wielkopolskie oraz ośmiu mezoregionów – Równina Charzykowska, Bory Tucholskie i Dolina Brdy.

Bory Tucholskie to obszar zlokalizowany na zachód od Dolnej Wisły, w dorzeczu dwóch jej większych dopływów Brdy i Wdy. Powierzchnia tego subregionu stanowi około 1,6% terytorium Polski. Charakteryzuje się on znacznym bogactwem form geomorfologicznych i wiąże się z okresem zlodowacenia bałtyckiego. Dominującą formą geomorfologiczną jest rozległa równina sandrowa na przedpolu moren czołowych stadium pomorskiego. Powierzchnia równiny sandrowej rozcięta jest rynnami polodowcowymi. Główną formacją roślinną na glebach wytworzonych tu głównie z ubogich piasków są bory sosnowe świeże i suche. W przeszłości większy udział w drzewostanach miały gatunki liściaste, lecz trwająca od wielu stuleci antropopresja spowodowała, że zostały one zamienione na tereny rolne i wrzosowiska lub zastąpione przez monokultury sosnowe. Na przełomie XIX i XX w. oprócz ról, zalesiano sosną również wrzosowiska, odłogi, zdegradowane pastwiska i nieużytki. Następny okres zalesiania byłych terenów rolniczych i nieużytków nastąpił także po II wojnie światowej. W ramach tzw. reformy rolnej obsadzono sosną wiele majątków ziemskich.

Obecnie lesistość w mezoregionach Równina Charzykowska i Bory Tucholskie kształtuje się na poziomie 50%, z czego drzewostany sosnowe stanowią bezwzględną większość (Boinski, 1999).

2.2. Charakterystyka stanowisk badawczych

Zmienność przestrzenną wielkości szkód spowodowanych przez huraganowe wiatry oceniono na całym obszarze Borów Tucholskich, na terenie 22 nadleśnictw (RDLP Gdańsk, Szczecinek i Toruń), które chociaż częściowo znajdują się w obrębie dzielnicy Bory Tucholskie w ujęciu Trampler i in. (1990) lub też wchodzących w skład projektowanego Rezerwatu Biosfery „Bory Tucholskie”. Badaniami objęto też teren Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Szczegółowe badania ilościowe przeprowadzono na dwóch stanowiskach. Pierwsze stanowisko badawcze to utworzony w 1996 roku Park Narodowy "Bory Tucholskie". Jest on zlokalizowany po wschodniej stronie jeziora Charzykowskiego. Na 4 783 ha powierzchni parku w strukturze pokrycia terenu zdecydowanie dominują zbiorowiska leśne (83%), zbiorniki wodne zajmujące 13% powierzchni parku. Z analizy historycznych map topograficznych wynika, że teren parku narodowego w przeszłości był przeważnie zalesiony. Na analizowanym obszarze jeszcze przed ustanowieniem parku narodowego ograniczono wyręby lasu. Z tego powodu w dzisiejszej strukturze drzewostanów znaczną rolę odgrywają wyższe klasy wieku. Najstarsze i najdorodniejsze drzewostany sosnowe występują w środkowej części parku narodowego, w pobliżu jezior Gacno Małe i Wielkie oraz po zachodniej stronie jeziora Ostrowite. Drugie stanowisko to brzeżne fragmenty lasów na granicy z polami uprawnymi i łąkami w Leśnictwie Komorza (Nadleśnictwo Woziwoda). Fragment lasu badany pod względem rozmieszczenia przestrzennego szkód odwiatrowych leży w otulinie Tucholskiego Parku Krajobrazowego oraz na północny-wschód od miasta Tuchola, po obu stronach drogi krajowej nr 237 prowadzącej z Tucholi do Czerska. Las graniczy tu z rozległym obszarem rolniczym. Analizowany obiekt to pas lasu ciągnący się od granicy polno-leśnej na odległość około 2 km w głąb kompleksu leśnego. Przebiega łukiem od wsi

Raciąż w kierunku północno-zachodnim poprzez okolice wsi Wielka Komorza w okolice miasta Tuchola. Znaczną część tego pasa stanowią lasy wtórne na gruntach porolnych. Miejscami, niemal równolegle do granicy polno-leśnej, w kierunku z NW na SE płynie Brda, w przeszłości rzeka graniczna lasem a obszarem rolniczym. Po II wojnie światowej zalesiono teren na jej prawym brzegu i granica polno-leśna przesunęła się kilkaset metrów na zachód.

3. Metody

Pracę realizowano w oparciu o system informacji geograficznej Pomorza Gdańskiego. Podstawę systemu stanowi siatka współrzędnych prostokątnych w układzie 1965. W pola siatki wpasowane zostały po zeskanowaniu arkusze map topograficznych w skali 1:25 000. Na mapy topograficzne nałożono, w procesie rektyfikacji geometrycznej za pomocą programu MicroStation 95, aktualne leśne mapy gospodarcze w skali 1:20 000. Warstwy informacji stanowiły też historyczne mapy topograficzne oraz leśne mapy gospodarcze z XIX i XX wieku. Ponadto do układu współrzędnych map dowiązано zdjęcie Landsat 7 ETM+ z 2000 roku. Dla określenia rozmieszczenia przestrzennego lasów wtórnych na byłych glebach rolniczych oraz miejsc, gdzie las stale występował w ostatnich kilku stuleciach, na bazie zdjęcia satelitarnego sporządzono mapę zmienności przestrzennej znormalizowanego wskaźnika roślinności – NDVI. Wartości NDVI obliczono wg wzoru: $NDVI = [IR - RED] / [IR + RED]$, gdzie RED i IR oznaczają odpowiedź spektralną poszczególnych pikseli zobrazowania badanej powierzchni uzyskaną skanerem ETM dla kanału 3 (RED, 630–690 nm) i kanału 4 (IR, 760–900 nm). Z pomocą GIS określono relacje przestrzenne pomiędzy rozmieszczeniem barw zastosowanych na mapie zmienności przestrzennej NDVI a poligonami wtórnych lasów porolnych na współczesnych i historycznych mapach topograficznych oraz na leśnych mapach gospodarczych. Na tak przygotowanych warstwach rastrowych zdigitalizowano aktualne oddziały i pododdziały leśne w programie ArcView 3.2. Rozmieszczenie szkód spowodowanych przez wiatr na powierzchni badawczej kartowano za pomocą odbiornika GPS. W przypadku szkód powierzchniowych połączono punkty na granicy wylesień w poligony. Do przygotowanej warstwy wektorowej podłączono bazę danych dla okresu 1998–2002 pochodzącą z SILP, pozyskaną w nadleśnictwach. Informacje o rozmieszczeniu powalów i ilości usuniętego drewna pozyskano w Dyrekcji Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Baza zawierała informację o adresie leśnym, typie siedliskowym lasu, bonitacji drzewostanu, typie szkody, objętości pozyskanego drewna w m³ i datę jego pozyskania, informację o typie gleby (porolna, leśna), stopniu zadrzewienia, nazwę gatunku głównego w warstwie drzew oraz o jego wieku i udziale ilościowym. Dla stanowiska 2, w programie ArcView 3.2 utworzono warstwę buforową zawierającą 86 stref w interwale co 10 m. Strefy te były rozmieszczone od granicy polno-leśnej, wyznaczonej na podstawie zdigitalizowanych uprzednio pododdziałów leśnych, w głąb badanego kompleksu leśnego. Następnie scalono warstwę buforową ze pododdziałami leśnymi (Spatial Analyst). Z tabel uzyskanych z połączenia obu zbiorów danych wyselekcjonowano informacje dotyczące objętości pozyskanego drewna dla danego

pododdziału leśnego, jego powierzchnię i położenie w określonej strefie buforowej. Wielkość szkód wywołanych przez wiatr w m^3 podzielono przez powierzchnię pododdziału leśnego. Obliczone wielkości szkód zsumowano dla każdej strefy buforowej oddzielnie. Z tabeli zawierającej: objętość pozyskanego drewna w [m^3/ha] i odległości 86 stref buforowych od granicy polno-leśnej w metrach, obliczono współczynnik korelacji oraz określono funkcję wyrażającą zależność pomiędzy tymi parametrami. W obliczeniach wykorzystano komputerowe programy statystyczne.

W przypadku poligonu badawczego Park Narodowy „Bory Tucholskie” rozmieszczenie (GPS) powałów i złomów, naniesiono na jego mapę numeryczną. Na utworzoną warstwę informacji nałożono zdjęcie satelitarne IKONOS z 2003 roku, wykonane z rozdzielczością terenową 4 m (multispectral) i 1 m (panchro). Dokonano porównań mozaikowatości obrazu koron drzew z obszaru parku narodowego z terenem położonym poza parkiem po zachodniej stronie jeziora Charzykowskiego. Dane o rozmieszczeniu i wielkości szkód na terenach zlokalizowanych poza dwoma poligonami badawczymi wybranymi do przeprowadzenia analiz szczegółowych, pozyskano poprzez rozesłanie ankiet do poszczególnych nadleśnictw.

4. Wyniki

4.1. Zmienność czasowa i przestrzenna szkód na obszarze Borów Tucholskich

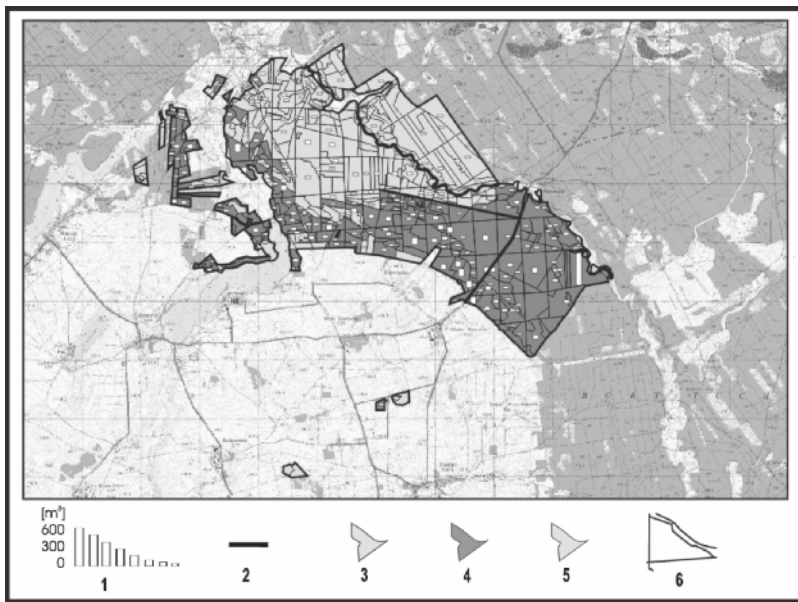
Na podstawie danych nadesłanych z nadleśnictw stwierdzono, że w latach 1998–2002 pozyskanie drewna ze złomów i wykrotów na obszarze Borów Tucholskich (BT) wyniosło 601 915 m^3 . Z tego 58% stanowiło drewno usunięte w 2000 r. Na tak wysoką wartość złożyły się szkody usuwane w pierwszej połowie roku 2000, a stanowiące efekt działalności wspomnianych huraganów z końca 1999 r., oraz szkody usuwane w drugiej połowie tego samego roku gospodarczego, będące następstwem wichury z dnia 22.06.2000 r. W sumie, w 2000 r. pozyskanie drewna z wykrotów i złomów w nadleśnictwach należących do dzielnicy Borów Tucholskich wyniosło 347 931 m^3 . W tym największe szkody w analizowanym roku wystąpiły w północno-zachodniej części tej dzielnicy. Suma drewna z wykrotów i złomów pozyskanego w ośmiu nadleśnictwach RDLP Szczecinek stanowiła 45% strat zanotowanych w całym regionie. Na pozostałe 55% strat składało się drewno usunięte z nadleśnictw RDLP Gdańsk i Toruń oraz parku narodowego.

W dzielnicy przyrodniczo-leśnej Bory Tucholskie dość duże straty spowodowane przez wiatr wystąpiły też w 2002 roku, jednakże w całym badanym regionie pozyskanie drewna z wykrotów i złomów w tym okresie stanowiło tylko 49% wielkości zanotowanej na tym obszarze w roku 2000. Analizując wielkość szkód według nadleśnictw stwierdzono, że w roku 2000 najwyższe wartości (52 819 m^3) zanotowano w Nadleśnictwie Bytów, a duże drewna usunięto w nadleśnictwach Szczecinek, Ryteł i Czernik - średnio 31 071 m^3 . Dla porównania średnie pozyskanie drewna z powałów i złomów w przeliczeniu na jedno nadleśnictwo to 1 363 m^3 w 1998 r. oraz 1 727 m^3 w 2001 r. Najbliższą średniej ilość drewna z wykrotów i złomów w 2000 r. pozyskano w nadleśnictwach Woziwoda i Przymuszewo (12 887 m^3 i 17 856 m^3).

4.2. Wpływ dawnego użytkowania terenu na rozmieszczenie przestrzenne szkód

Stanowisko badawcze w Leśnictwie Komorza przedstawia rycina 1. Suma powierzchni pododdziałów leśnych stanowiących powierzchnię badawczą wyniosła 1 683 ha. Na podstawie analizy danych pochodzących z historycznych inwentaryzacji leśnych, starych map topograficznych i leśnych map gospodarczych oraz zdjęcia satelitarnego z 2000 roku ustalono, że wtórne lasy porolne występowały na 51% powierzchni badawczej. Pozostałą część, czyli 49% stanowiły lasy na glebach nie użytkowanych w przeszłości rolniczo. Powierzchnia terenów o odmiennym sposobie użytkowania w przeszłości była więc niemal identyczna. Na całej powierzchni badań w Leśnictwie Komorza w wyniku działania huraganu z 22.06.2000 roku zanotowano trzy szkody powierzchniowe wielkości 0,2 ha, 0,4 ha, 0,5 ha oraz kilkaset pojedynczych złomów i powalów. Łączna ilość drewna pozyskanego z tych szkód wyniosła 4 478 m³, z tego 3 831 m³ w lasach na glebach porolnych, a 646 m³ na glebach leśnych. W przeliczeniu na hektar kategorii lasu straty wynosiły odpowiednio 4,6 m³/ha i 0,8 m³/ha. Szkody w lasach wtórnych na glebach porolnych stanowiły 86% strat a w pozostałych lasach tylko 14%.

W pozyskanej masie zdecydowanie dominowało drewno sosnowe, które stanowiło 93% całości. Drewna bukowego pozyskano 4% i 3% z innych gatunków drzew liściastych. Najwięcej szkód, bo 32,8%, wystąpiło na najżyźniejszych siedliskach leśnych, które przylegały do granicy polno-leśnej. Wysoka żyzność siedlisk wskazuje, że były to lasy porolne lub monokultury sosnowe zastępujące uprzednie lasy liściaste. Analizując występowanie szkód względem rozmieszczenia przestrzennego typów siedliskowych lasu



Ryc. 1. Rozmieszczenie przestrzenne lasów wtórnych na gruntach porolnych oraz lasów na glebach leśnych i wielkość pozyskanego drewna z wiatrolomów (Wielka Komorza) [1 – objętość powalonego drewna, 2 – granica powierzchni badawczej, 3 – grunty leśne, 4 – grunty porolne, 5 – powierzchnia bez danych ilościowych, 6 – granice pododdziałów leśnych].

stwierdzono, że najwięcej drewna pozyskano z wiatrołomów na siedlisku boru mieszanego świeżego 47%, boru świeżego 27% i lasu mieszanego świeżego 25%.

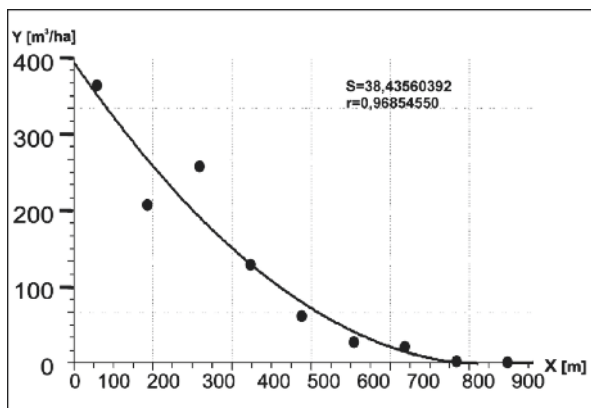
4.3. Wpływ odległości od granicy polno-leśnej

Z map opracowanych w technologii GIS oraz sporządzonych histogramów wynika, że większe szkody występują przy granicy polno-leśnej niż w głębi lasu. Na analizowanym dystansie 860 m od skraju do środka kompleksu leśnego w pierwszych 430 m pozyskano 1 005 m³/ha drewna pochodzącego z wiatrołomów. W drugiej strefie, czyli w odległości 430–860 m, pozyskanie wyniosło tylko 97 m³/ha. Analizując strefy buforowe w interwale 10 m stwierdzono, że największe szkody w ilości 103 m³/ha wystąpiły w odległości 290–300 m. W strefie 140–150 m było ich 65 m³/ha. Podobny poziom szkód wystąpił w strefach od 0 m do 170 m (od 52 do 63 m³/ha). W pozostałych strefach buforowych pozyskanie drewna było znacznie niższe. Współczynnik korelacji wyrażający zależność szkód od odległości od granicy polno-leśnej w analizie przeprowadzonej w interwałach 10 metrowych uzyskał wartość –0,6086.

W analizie w interwałach 100 m stwierdzono, że największe szkody, rzędu 373 m³/ha, wystąpiły w pasie 0–100 m. W strefie 100-300 m od skraju lasu oceniono je pomiędzy 213 a 264 m³/ha. Stanowiło to odpowiednio 34% oraz 22,5% drewna pozyskanego na całej analizowanej powierzchni leśnej. Łącznie w pasie lasu na odległość 300 m od granicy polno-leśnej zanotowano 77% szkód. Dla obliczeń wykonanych w interwale przestrzennym 100 m funkcja wyrażająca zależność wielkości szkód od odległości od granicy polno-leśnej miała postać jak na rycinie 2. Natomiast współczynnik korelacji dla tej zależności uzyskał wartość –0,968.

4.4. Wpływ wieku drzewostanu na występowanie wiatrowalów

Z danych zgromadzonych w GIS wynika, że na powierzchni badawczej Wielka Komorza największe szkody wywołane niszczycielską siłą wiatru występują



Ryc. 2. Zależność pomiędzy wielkością pozyskanego drewna a odległością od granicy p – l w 100 m interwałach na powierzchni badawczej Wielka Komorza. X – odległość od granicy polno-leśnej, Y – objętość pozyskanego drewna w m³/ha.

w drzewostanach III kl. wieku. Usunięto z nich 1 626 m³ drewna, co stanowiło 36% całości strat. W drzewostanach IV klasy wieku szkody były niższe (986 m³). W stosunku do całej masy usuniętego drewna straty w drzewostanach tej klasy wieku stanowiły 22%. Nieco niższe straty, w ilości 899 m³, tj. 20% całości usuniętego drewna, zanotowano w drzewostanach VI kl. wieku. Ponieważ drzewostany 100–120-letnie zajmowały tylko 119 ha, wielkość strat w przeliczeniu na 1 ha w VI kl. wieku była największa i sięgała 7 m³/ha. Drzewostany klasy III występowały na powierzchni 403 ha a ilość drewna usuniętego z wywrotów i złomów w przeliczeniu na jednostkę powierzchni tej kategorii wiekowej wynosiła 4 m³/ha. Drzewostany IV klasy wieku zajmowały największą powierzchnię, bo aż 444 ha. Przy ilości usuniętego drewna wynoszącej 986 m³ dało to wartość tylko 2 m³/ha. Duże straty w przeliczeniu na jednostkę powierzchni wystąpiły w drzewostanach VIII kl. wieku, które zajmowały najmniejszą powierzchnię spośród wszystkich kategorii wiekowych. Ich powierzchnia wynosiła tylko 2,8 ha a wielkość strat 5 m³/ha. W powyższych obliczeniach zredukowano wpływ wielkości powierzchni zajmowanej przez drzewostan z poszczególnych klas wieku poprzez wyrażanie wielkości strat w przeliczeniu na 1 ha lasu. Jednakże znaczny wpływ na kształtowanie wielkości strat w poszczególnych przedziałach wiekowych ma rozmieszczenie przestrzenne drzewostanów różnego wieku względem skraju kompleksu leśnego oraz występowania gleb porolnych i leśnych.

4.5. Wpływ dużych zbiorników wodnych

Wpływ dużych otwartych powierzchni jezior badano głównie na stanowisku 3, tj. w Parku Narodowym „Bory Tucholskie”. Było ono zlokalizowane w pobliżu ciągu dużych jezior Charzykowskiego i Karsińskiego. Jeziora ciągną się na kierunku północ-południe po zachodniej stronie parku. Stwierdzono, że zdecydowana większość szkód wystąpiła po wschodniej stronie jezior. Przy dominujących wiatrach zachodnich drzewostany te są najbardziej narażone na oddziaływanie mas powietrza, uzyskujących znaczną prędkość nad taflą otwartych wód. Po zachodniej stronie jezior szkód spowodowanych przez wiatr nie było.

Na obszarze parku narodowego głównym miejscem występowania złomów i wykrotów były drzewostany po południowej stronie „Strugi Siedmiu Jezior”, a zwłaszcza rosnące w pobliżu jeziora Wielkie Gacno (Ryc. 3). Tę część parku porastają najstarsze drzewostany, brak zaś lasów wtórnie odtworzonych na glebach czasowo użytkowanych rolniczo. Po północnej stronie „Strugi” powały i złomy zdarzały się znacznie rzadziej, chociaż na podstawie pokrycia terenu odczytanego z mapy Schröttera-Engelhardta z przełomu XVIII i XIX wieku oraz z mapy gospodarczej pruskiego „Königlichen Oberförsterei Chotzenmühl” z 1896 roku, można jednak stwierdzić, że część lasów tego fragmentu parku narodowego została odtworzona w późniejszym okresie na terenach nieleśnych. Z rozmieszczenia przestrzennego szkód spowodowanych przez silne wiatry, a zaprezentowanego na mapie całego Parku Narodowego „Bory Tucholskie” (Ryc. 3) wynika też, że na północ od „Strugi Siedmiu Jezior” powały i złomy zdarzały się znacznie rzadziej, pomimo, że w niewielkiej odległości na zachód od tego terenu występowało duże jezioro Karsińskie. Na podstawie analizy dolnej mapki zamieszczonej na rycinie 3

stwierdzić można natomiast, że w Parku Narodowym „Bory Tucholskie”, podobnie jak na stanowisku Wielka Komorza, szkody od wiatru były częstsze i znacznie większe w starszych drzewostanach niż w młodszych. Powąły i złomy wywołują znaczne zmiany w warstwie koron drzew (*canopy*). W przypadku wykrotów i złomów pojedynczych drzew, jak to ma miejsce w Parku Narodowym „Bory Tucholskie”, przekształcenia struktury tego elementu ekosystemu leśnego są dobrze rozpoznawalne na wysokorozdzielczym zdjęciu satelitarnym IKONOS. Porównanie heterogeniczności powierzchni koron drzew rosnących na obszarze parku o największych szkodach spowodowanych wichurą z drzewostanem niezaburzonym przez czynnik wiatru, bo rosnącym po zachodniej stronie jeziora Charzykowskiego, przedstawia rycina 4. Ubytki w warstwie koron drzew w pierwszym fragmencie lasu są bardzo wyraźne.

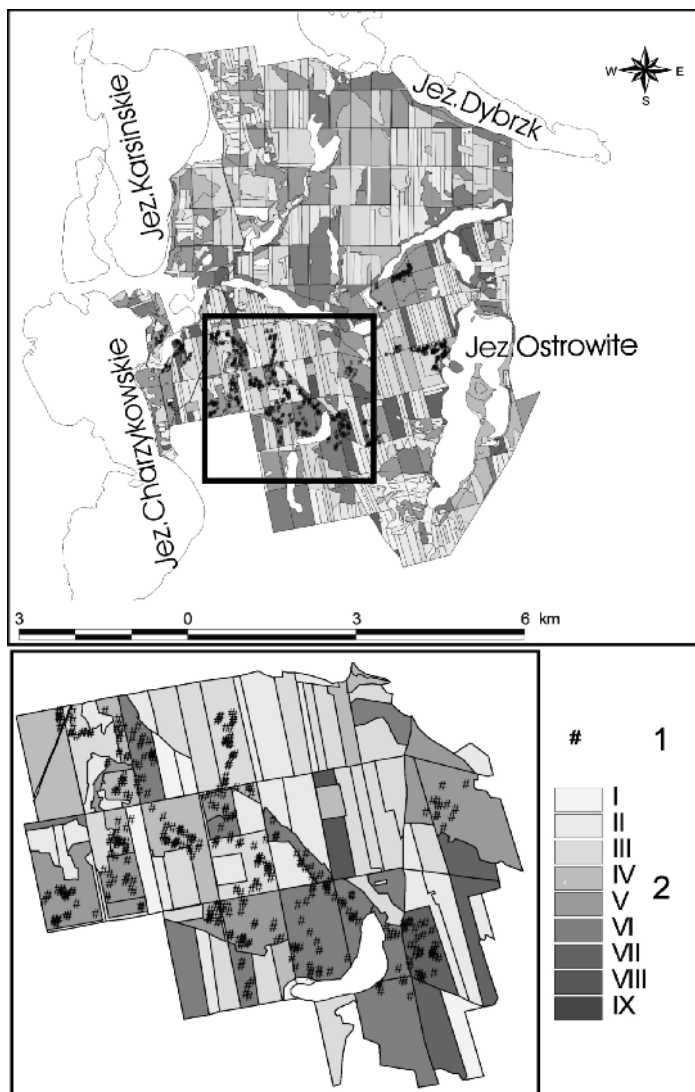
5. Dyskusja i wnioski

Z literatury ekologicznej wynika, że w ostatnim trzydziestoleciu intensywne badania nad szkodami wiatrowymi prowadzono niemal na wszystkich kontynentach. Szkody te były rozpatrywane jako: następstwa zmian globalnych klimatu oraz przyczyny wzrostu CO₂ w atmosferze, będącego następstwem zmniejszenia się powierzchni leśnej. W wielu badaniach tego typu stosowane były metody teledetekcji i technologia GIS, w tym również programy komputerowe użyte w niniejszej pracy (np. Foster i in., 1992; Quine i in., 1998; Lekes i in., 2000). Przy pomocy tych metod porównywano częstość wiatrolomów i szkód od wiatru w lasach o różnej historii, zarówno naturalnych jak i w plantacjach leśnych (Quine i in., 1999). Badano też szereg różnorodnych właściwości zbiorowisk leśnych, które wpływają na strukturę przestrzenną i wielkość szkód, jak skład gatunkowy drzewostanu, architektura koron, wysokość i pierśnica drzew (Peltola i in., 2000; Wilson i in., 2000) i cech stanowiska, z których najważniejsze to elewacja i ekspozycja (Peterson i in., 1990; Zajączkowski, 1991). Spośród różnorodnych czynników, bliskość skraju lasu jako jedną z głównych przyczyn wpływających na rozmieszczenie przestrzenne i wielkość szkód podali Kellomäki i Peltola (1999), a także Campbell (1998) oraz Ruel i in. (1998). W naszej pracy wykazaliśmy, że większe szkody powstają bliżej skraju lasu. Podobną zależność podali Laurance i in. (1998) dla lasów strefy tropikalnej. Oprócz granicy polno-leśnej efekt skraju może wystąpić też na powierzchniach zrębowych zlokalizowanych wewnątrz kompleksów leśnych. W analizowanym Leśnictwie Komorza wielkość strat zwiększyła też zapewne obecność trasy komunikacyjnej przecinającej kompleks leśny. Na znaczenie tego elementu krajobrazu w lokalizacji szkód wskazywał Ruel (2000). Wpływ na rozmieszczenie przestrzenne szkód wiatrowych w Borach Tucholskich miała historia użytkowania terenu. Wiele wtórnych lasów w tym regionie występuje na słabych glebach piaszczystych. Po ich degradacji i odłogowaniu rozwija się na nich bór suchy lub bór wrzosowy. Takie lasy zajmują małe powierzchnie wśród dużych połąci lasów, które zawsze występowały na glebach leśnych. Wskaźnik NDVI takich wtórnych lasów jest najczęściej niższy. Ich biomasa zielona jest bowiem mniejsza niż borów świeżych na glebach leśnych, których rozwój nie był zaburzony czasowym użytkowaniem rolniczym. Inaczej sytuacja wygląda w lasach sąsiadujących z dużymi powierzchniami terenów rolniczych, co ma miejsce w badanym fragmencie regionu w okolicach Tucholi

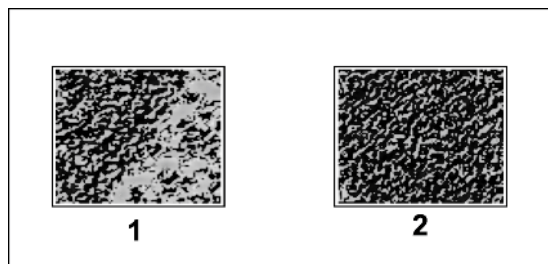
ROZMIESZCZENIE PRZESTRZENNE I WIELKOŚĆ SZKÓD SPOWODOWANYCH PRZEZ WIATR W LASACH WYBRANYCH OBSZARÓW POMORZA

i Wielkiej Komorzy. Tu gleby rolnicze są żyzne, podobnie jak i gleby porolne, na których las został odtworzony. Biomasa zielona tych lasów jest wyższa niż plantacji sosnowych na glebach leśnych na siedlisku boru świeżego. Wysoką wartość osiąga również NDVI lasów wtórnych. Przy dużych powierzchniach rolniczych lasy porolne najczęściej graniczą bezpośrednio z polami uprawnymi lub łąkami. Duża zawartość pierwiastków w glebie powoduje, że tempo wzrostu drzew jest wysokie.

Ich biomasa nadziemna jest duża i zachwiany zostaje stosunek części nadziemnych do podziemnych. System korzeniowy nie wytrzyma dużego obciążenia i przy silniejszych podmuchach wiatru następują wywroty lub złomy. Małą odpornością na działanie wiatru



Ryc. 3. Szkody wiatrowe w Parku Narodowym „Bory Tucholskie” (1 – powalone i złamane drzewa, 2 – klasy wieku drzewostanów; 3 – oddziały i pododdziały leśne).



Ryc. 4. Heterogeniczność powierzchni koron w drzewostanie z powalami i złomami i w drzewostanie bez zaburzeń (1 – Park Narodowy „Bory Tucholskie”, wschodni brzeg jeziora Charzykowskiego, 2 – poza obszarem parku narodowego, zachodni brzeg jeziora Charzykowskiego). Ikonos z 4 VIII 2003 r.

pogłębia aktywność patogenów, grzybów i owadów, przy której tkanki pnia wykazują obniżoną twardość i sprężystość. Te właśnie czynniki spowodowały, że przy granicy polno-leśnej w Leśnictwie Komorza szkody od wiatru były największe. Do analizy przestrzennej powalów zastosowano metody teledetekcji satelitarnej, które dziś są podstawowym narzędziem do monitorowania stanu lasu (Kennedy, 1997). Zastosowane w pracy zdjęcie Landsat 7ETM+ okazało się przydatne do rozpoznawania lasów rosnących na glebach porolnych, zazwyczaj uboższych lub żyzniejszych niż gleby występujące w borach sosnowych świeżych. Wskazują na to także obserwacje przeprowadzone przez Smith'a (1999), który badał zmiany w obrębie warstwy koron wskutek wypadnięcia pojedynczych drzew przy zastosowaniu zdjęć o rozdzielczości 4 m. Warunek taki spełniają zdjęcia z IKONOSa, które są często stosowane w analizie zmian w strukturze „canopy” (Tanaka i Sugimura, 2001). Przydatność zdjęć wykonanych przez tego satelitę do analizy zmian strukturalnych w warstwie koron wskutek wypadania z drzewostanu pod naporem wiatru pojedynczych drzew potwierdzono również w niniejszej pracy. Odrębnym zagadnieniem, dość rzadko badanym w aspekcie szkód wywołanych w lasach przez huraganowe wiatry, jest zmiana struktury krajobrazu. Może być ona następstwem zwiększania się liczby kategorii płatów roślinnych, co z kolei zwiększa mozaikowość w strukturze fizjocenozy. Zmiany te można wyrazić za pomocą szeregu wskaźników ilości, kształtu i jakości poszczególnych płatów. Wskaźniki oblicza się za pomocą programów komputerowych jak GRASS, FRAGSTATS czy NSCP. W literaturze ekologicznej z zakresu ekologii krajobrazu, pojawiło się wiele artykułów dotyczących oceny mozaikowości oraz wpływu „pattern” krajobrazu na strukturę i funkcjonowanie populacji roślin i zwierząt. Interesującym zagadnieniem jest określenie roli wiatrołomów w procesach przemian takich struktur ekologicznych. Zagadnieniem warty poruszenia, jest stosowanie opracowanego GIS w przyszłych badaniach roślinności Pomorza i Kujaw. Z tego względu istnieje potrzeba powiązania go z innymi bazami danych (np. ATPOL, TurboVeg), zawierającymi informację o tym podstawowym elemencie środowiska przyrodniczego. Wtedy możliwym będzie połączenie informacji fitosocjologicznej pozyskanej w miejscach występowania szkód pohuraganowych z innymi danymi o roślinności. Pozwoli też na stosowanie w szerokim zakresie specjalistycznego oprogramowania z zakresu statystyki i taksonomii numerycznej. Praca została wykonana w ramach grantu KBN 6 P06L 044 21 na lata 2001–2004.

6. Literatura

- Boinski M., 1999. Podstawy geobotanicznej delimitacji Rezerwatu Biosfery „Bory Tucholskie”. [w:] A. Barcikowski, M. Boinski i A. Nienartowicz (red.), *Wielofunkcyjna rola lasu. Ochrona przyrody – Gospodarka – Edukacja*. O.W. „Turpress”, Toruń: 19–40.
- Campbell D. J., 1998. Salt-wind induced wave regeneration in coastal pine forests in New Zealand. *Can. J. For. Res.* 28: 953–960.
- Foster D. R., Goose E. R., 1992. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *J. Ecol.* 80: 79–98.
- Hoszowski S. (red.), 1961. *Lustracja województwa pomorskiego 1565*. Gdańskie Tow. Naukowe, Gdańsk.
- Kellomäki S., Peltola H., 1999. Silvicultural strategies in forest management to optimize yield and growth in boreal forests while minimizing the risks of wind and snow damage. In: C.A. Brebbia & J.L. Usó (eds.), *Ecosystems and Sustainable Development. Advances in Ecological Sciences – Volume 2*. WIT Press, Joensuu: 285–303.
- Kennedy P. (ed.), 1997. *Application of Remote Sensing in European Forest Monitoring*. European Commission, Luxembourg.
- Kondracki J., 1980. *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Warszawa.
- Laurance W. F., Ferreira L. V., Rankin de-Merona J. M., Laurance S. G., 1998. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology* 79: 2032–2040.
- Lekes V., Dandul I., 2000. Using airflow modeling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WINDARC). *Forest Ecol. Managem.* 135: 331–344.
- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Granander M., 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecol. Managem.* 135: 143–153.
- Peterson Ch.J., Pickett S. T. A., 1990. Microsite and elevational influences on early forest regeneration after catastrophic windthrow. *J. Veg. Sci.* 1: 657–662.
- Quine C. P., Bell P. D., 1998. Monitoring of windthrow occurrence and progression in spruce forests in Britain. *Forestry* 71: 87–97.
- Quine C. P., Humphrey J. W., Ferris R., 1999. Should the wind disturbance patterns observed in natural forests be mimicked in planted forest in the British uplands? *Forestry* 72: 337–358.
- Ruel J.C., 2000. Factors influencing windthrow in balsam fir forests: from landscape studies to individual tree studies. *Forest Ecol. Managem.* 135: 169–178.
- Ruel J.C., Pin D., Cooper K., 1998. Effect of topography on wind behaviour in a complex terrain. *Forestry* 71: 261–265.
- Tanaka S., Sugimura T., 2001. A new frontier of remote sensing from IKONOS images. *Int. J. Remote Sens.* 22: 1–5.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A., 1990. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-topograficznych*. PWRiL, Warszawa.
- Ulbrich U., Fink A.H., Kława M., Pinto J. G., 2001. Three extreme storms over Europe in December 1999. *Weather* 56: 70–80.
- Wilson J. S., Oliver C. D., 2000. Stability and density management in Douglas-fir plantations. *Can. J. For. Res.* 30: 910–920.
- Zajączkowski J., 1991. *Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu*. Wyd. Świat, Warszawa.

Streszczenie

W pracy przedstawiono System Informacji Geograficznej stworzony do analizy przestrzennego rozkładu szkód wywołanych przez wiatr w lesie stoi w Borach Tucholskich, w północnej Polsce. Został wykorzystany w kilku kompleksach leśnych głównie na terenie nadleśnictw w Borach Tucholskich: Woziwoda, Przymuszewo oraz Czersk, a także w Parku Narodowym Bory Tucholskie. Szkody były spowodowane głównie przez huragany w 26 grudnia 1999 i 22 czerwca 2000 roku. Niniejsza praca ma na celu odpowiedzieć na trzy pytania: 1 – Czy położenie granicy polno-leśnej wpływa na zakres i wielkość uszkodzeń? 2 – Czy uszkodzenia wywołane przez wiatr występują częściej i są większe w lasach na gruntach regenerowanych niż w lasach, których rozwój nie został przerwany przez tymczasowe wykorzystanie gleby do celów hodowlanych, po wycince drzew? 3 – Jaki wpływ ma ukształtowanie terenu na intensywność i zakres szkód spowodowanych przez wiatr? W celu określenia zmian w lasach, jak również do identyfikacji wtórnych lasów, w badaniach zastosowano stare i współczesne mapy topograficzne wraz z mapami gospodarczymi lasów, a także zdjęcia satelitarne Landsat 7ETM + z 2000 roku i Ikonos z 2003 roku. Informacje pochodzące z tych źródeł a także z inwentaryzacji lasu oraz z bezpośrednich pomiarów terenowych wykonanych z odbiornikiem GPS zostały opracowane w formie systemu informacji geograficznej. Analizę statystyczną wykonano w technologii GIS przy użyciu programów MicroStation, ESRI ArcView3.2 i Idrisi 32. Wykazano, że w/w czynniki mogą istotnie zwiększyć zasięg i częstotliwość szkód spowodowanych przez silny wiatr w ekosystemach leśnych. Szczególnie często dzieje się to w pobliżu dużych odlesionych obszarów, jak na przykład w pobliżu terenów rolnych lub dużych jezior wewnątrz kompleksu leśnego oraz terenów z tymczasowo wykorzystanymi glebami leśnymi do celów hodowlanych. Analizy przeprowadzone w GIS i technologiach teledetekcyjnych wskazują również, że straty w powierzchni leśnej, mogą znacznie zmodyfikować wzorzec przestrzenny krajobrazu leśnego.

Słowa kluczowe: wiatrolomy, pozyskanie drewna, lasy wtórne, krajobraz, teledetekcja.

SPATIAL DISTRIBUTION AND ASSESSMENT OF DAMAGES CAUSED BY WIND STORMS IN FORESTS OF CHOSEN AREAS OF POMERANIA

Summary

The study presents the Geographic Information System created to analyse spatial distribution of wind-induced damages in forest stands of the Tuchola Forest, northern Poland. It was used in several forest complexes mainly on the territory of the following Forest Districts in the Tuchola Forest: Woziwoda, Przymuszewo and Czersk, as well as in the Bory Tucholskie National Park.. The damages in Tuchola Forest were caused mainly by hurricanes in 26th of December 1999 and 22nd of June 2000. This work aimed at answering three questions: 1 – Does nearer location of a forest toward field-forest borderline increases the extent of damages? 2 – Does wind-induced damages occur more often and are greater in secondary forests regenerated on formerly arable lands than in forests of which development was not interrupted by temporary soil exploitation for farming purposes after cutting down the trees? 3 – What influence has the geomorphology on the intensity and extent of wind-induced damages? In order to define changes in forest and agricultural acreage in the study area, as well as to identify secondary forests, old and contemporary topographic maps were applied together with forest economic maps,

satellite imageries Landsat 7ETM+ from the year 2000 and IKONOS dated 2003. Information coming from those sources as well as from the forest inventory and from the direct field measurements carried out with the GPS receiver was compiled in the Geographic Information System. The statistical analysis performed in the GIS technology using the programs MicroStation/Bentley, ESRI ArcView3.2 and Idrisi 32 proved that factors like vicinity of large deforested areas as big agricultural areas or big lakes inside forest complex and temporary exploitation of forest soils for farming purposes indeed increase the extent and frequency of damages caused by strong wind in the canopy of forest ecosystems. The analyses conducted in GIS and remote sensing technology also indicated that losses in forest area, as well as the canopy of overstory, significantly modify the spatial pattern of the forest landscape.

Key words: windthrows, timber harvesting, secondary forest, landscape, remote sensing, GIS.

Grzegorz Koziński

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Wydział Nauk o Ziemi
comarek@umk.pl

Andrzej Nienartowicz

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska
anienart@umk.pl