

MAREK SŁAWSKI

Ilościowa charakterystyka zróżnicowania struktury borów sosnowych różnego wieku

Quantitative characteristic of structure in Scots pine stands of various age

ABSTRACT

Słowski M. 2012. Ilościowa charakterystyka zróżnicowania struktury borów sosnowych różnego wieku. Sylwan 156 (5): 349-359.

Structure of 10 Scots pine stands in Nowe Ramuki Forest District was analyzed. The stands were of age from 25 to 220 years. Structure of pine stands younger than 115 years is characterized by low species diversity, low DHB differentiation and regular dispersion of trees. Stands older than 115-135 years show higher species richness, big diameter diversity and random dispersion of trees. Moreover, indices calculated for each stand show higher dispersion in older stands than in younger ones. Structure of old-growth pine stands is similar to natural stands of boreal zone.

KEY WORDS

stand structure, *Pinus sylvestris*, structural indices, neighborhood-based indices

ADDRESSES

Marek Słowski – e-mail: mslawski@poczta.onet.pl

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

Wstęp

Poznanie i właściwy opis struktury lasu ma podstawowe znaczenie dla racjonalnej gospodarki w ekosystemach leśnych. Dotyczy to zarówno kwestii związanych ze sferą produkcji drewna, jak i pozaprodukcyjnymi świadczeniami lasu. Działania gospodarcze ingerują w strukturę drzewostanu, a zmiany te mogą istotnie wpływać na różnorodność biologiczną, zdolność lasu do ochrony gleby czy wody. Według Pommereninga [2002] strukturę drzewostanu możemy rozpatrywać w kontekście bogactwa gatunkowego, zróżnicowania przestrzennego oraz zróżnicowania wymiarowego. Wskaźniki opisujące strukturę lasu w tych trzech aspektach można podzielić na traktujące drzewostan jako względnie jednolitą całość oraz te, które uwzględniają przestrzenne relacje między drzewami [Kint i in. 2000; Pommerening 2002; Brzeziecki 2002]. Wśród tej drugiej grupy godne uwagi wydają się wskaźniki oparte o analizę sąsiedztwa poszczególnych drzew. Podstawą ich konstrukcji jest pojedyncze drzewo wraz z kilkoma najbliższymi drzewami sąsiadującymi. Wskaźniki te są intuicyjne i proste w interpretacji. Były już wykorzystywane do opisu struktury drzewostanów o charakterze naturalnym [Aguirre i in. 2003; Mason i in. 2007], oceny stowarzyszania się drzew [Brzeziecki 2004] i wpływu zabiegów pielęgnacyjnych na strukturę drzewostanu [Brzeziecki 2005]. W wielu pracach wykorzystujących te wskaźniki porównywano drzewostany różniące się siedliskiem, składem gatunkowym, wiekiem lub zagęszczeniem drzew. Interesujące wydaje się sprawdzenie, jak zmieniają się one wraz z wiekiem dla drzewostanów jednego rodzaju rosnących w dość wąskich ramach siedliskowych.

Celem pracy jest przedstawienie zmienności wskaźników strukturalnych drzewostanów sosnowych w szerokim spektrum wiekowym. Ważnym aspektem jest objęcie badaniami drze-

wostanów starszych niż 200 lat, co nada wynikom charakter referencyjny i pozwoli określić skalę zmienności użytych wskaźników.

Obiekt badań

Badania przeprowadzono na terenie Nadleśnictwa Nowe Ramuki położonego w krainie Mazursko-Podlaskiej, dzielnicy Równiny Mazurskiej. Rzeźba terenu ukształtowana przez zlodowacenie bałtyckie cechuje się dużym zróżnicowaniem wysokości oraz obecnością dużych jezior rynnowych. W budowie geomorfologicznej występują różne formy krajobrazu młodoglacjalnego z dominującymi morenami czołowymi i polami sandrowymi. Siedliska boru mieszanego świeżego i boru świeżego stanowią łącznie 45% powierzchni Nadleśnictwa. Klimat jest surowy o cechach przejściowych między atlantyckim a kontynentalnym. Roczne opady wynoszą średnio 657 mm, a średnia temperatura roczna 6,6 °C. Okres wegetacyjny trwa 160-200 dni. Lasy Nadleśnictwa Nowe Ramuki cechują się wysokim udziałem drzewostanów starszych. Średni wiek drzewostanów wynosi 83 lata, a drzewostany V i starszych klas wieku zajmują 41% powierzchni.

Materiał i metody

PRACE TERENOWE. Badaniami objęto 10 drzewostanów w wieku od 25 do 220 lat rosnących na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. Materiał zbierano przy użyciu jednorazowo zakładanych powierzchni kołowych. W każdym drzewostanie zakładano trzy powierzchnie. Pierwszą położoną była we wnętrzu drzewostanu, w odległości nie mniejszej niż 50 metrów od jego brzegu, następne zakładano co 100 metrów na linii przecinającej drzewostan. W zależności od wieku drzewostanu przyjęto różne wielkości powierzchni pomiarowych – w drzewostanach do 40 lat wynosiła ona 0,01 ha, od 41 do 60 lat – 0,02 ha, od 61 do 150 lat – 0,05 ha, od 150 do 200 lat – 0,08 ha i powyżej 200 lat – 0,12 ha. W najstarszym, 220-letnim drzewostanie założono dodatkową powierzchnię z wyboru tak, aby w pełni uchwycić jego zmienność. Zróżnicowanie wielkości powierzchni pomiarowych pozwoliło uzyskać na każdej powierzchni podobną liczbę drzew niezbędną do oszacowania określanych parametrów. Zbyt mała liczba drzew może silnie wpływać na wartości obliczonych wskaźników [Pommerening, Stoyan 2006]. Na każdej powierzchni dokonywano pomiaru pierśnic wszystkich drzew powyżej 7 cm, określając ich współrzędne biegunowe (azymut oraz odległość od środka powierzchni). Łącznie założono 31 powierzchni, na których pomierzono 714 drzew. Przeciętnie liczba drzew na jednej powierzchni wynosiła 23 (SD 10,4). Dla drzewostanów najstarszych, gdzie zastosowano największe powierzchnie kołowe, liczba drzew zmierzonych jest wyraźnie większa niż na pozostałych. Wynika to z liczego występowania drzew młodych, których pierśnica przekroczyła próg 7 cm. Zastosowanie tych dużych powierzchni wydaje się jednak celowe, gdyż liczba drzew najstarszych przypadających na jednostkę powierzchni jest w tych drzewostanach wyraźnie mniejsza niż w młodszych.

PRACE KAMERALNE. Zastosowano trzy grupy wskaźników obrazujących różnorodność gatunkową, rozmieszczenie oraz zróżnicowanie wymiarów drzew. W każdej z tych grup obliczono wskaźniki dla całej powierzchni badawczej, które nie uwzględniają wzajemnych relacji drzew oraz wskaźniki uwzględniające pozycję drzewa względem jego najbliższych sąsiadów.

Do opisu różnorodności gatunkowej użyto wskaźnika Simpsona oraz wskaźnika zmieszania. Wskaźnik Simpsona nie uwzględnia przestrzennych relacji między drzewami, a można go zdefiniować jako odwrotność sumy kwadratów udziałów poszczególnych gatunków drzew [Pommerening 2006b]. Drugim wskaźnikiem charakteryzującym bogactwo gatunkowe jest wskaźnik zmieszania

[Brzeziecki 2002]. Można go zdefiniować jako proporcję liczby drzew nienależących do tego samego gatunku co drzewo referencyjne spośród jego trzech najbliższych sąsiadów.

Do opisu zróżnicowania wymiarowego drzew zastosowano następujące wskaźniki: rozstęp pierśnic, wskaźnik zróżnicowania pierśnic i wskaźnik dominacji pierśnicy. Rozstęp pierśnic nie uwzględnia relacji przestrzennych i jest on różnicą między pierśnicą najgrubszego i najcieńszego drzewa na powierzchni. Drugi wskaźnik z tej grupy to wskaźnik zróżnicowania pierśnic [Brzeziecki 2002; Pommerening 2002]. Można go zdefiniować jako względną różnicę grubości drzewa referencyjnego i jego najbliższego sąsiada. Wskaźnik dominacji pierśnicy to proporcja drzew o pierśnicy mniejszej lub równej pierśnicy drzewa referencyjnego wśród jego 3 najbliższych sąsiadów [Pommerening 2006a].

Z grupy wskaźników opisujących przestrzenne rozmieszczenie drzew obliczono wskaźnik Clarka-Evansa [Pommerening 2002] i miarę kątową. Wskaźnik Clarka-Evansa możemy zdefiniować jako proporcję między średnią odległością między drzewami w drzewostanie a teoretyczną średnią odległością między drzewami w analogicznym drzewostanie przy losowym rozmieszczeniu drzew. Drugim wskaźnikiem opisującym przestrzenne rozmieszczenie drzew bazującym na przestrzennych relacjach drzewa i jego 4 sąsiadów była miara kątowa [Brzeziecki 2002]. Możemy ją zdefiniować jako proporcję kątów mniejszych lub równych 90° spośród kątów wyznaczonych przez drzewo referencyjne i jego 4 najbliższych sąsiadów.

Do obliczeń wskaźników przestrzennego rozmieszczenia drzew wykorzystano program Crancod 1.3 [Pommerening 2006b]. W przypadku obliczania wskaźników przestrzennych ważne jest uwzględnienie efektu brzegowego. Drzewa znajdujące się blisko brzegu powierzchni mogą mieć swoich najbliższych sąsiadów poza jej granicami. W takim przypadku brak informacji o drzewach poza powierzchnią nie pozwala poprawnie wyliczyć wskaźników dla tych drzew. Pominięcie tego faktu może prowadzić do zafałszowania otrzymanych wyników. W trakcie obliczeń wskaźników przestrzennych zastosowano metodę minimalizującą wpływ efektu brzegowego zaproponowaną przez Pommereninga i Stoyana [2006]. Podejście to opiera się na założeniu, że jeżeli najbliżsi sąsiedzi drzewa potrzebni do obliczenia konkretnego wskaźnika znajdują się dalej niż brzeg powierzchni, wskaźnik dla tego drzewa nie jest obliczany. W praktyce działa to tak, jakby stosować strefę buforową o zmiennej szerokości, a decyzja, czy drzewo włączyć do obliczeń, czy też je pominąć jest podejmowana indywidualnie dla każdego drzewa. Uzyskane wartości wskaźników przeanalizowano pod względem ich zmienności ze szczególnym uwzględnieniem zależności ich wartości od wieku drzewostanów.

Wyniki

Zebrany materiał pozwolił scharakteryzować badane drzewostany pod względem zagęszczenia poszczególnych gatunków drzew i ich pierśnicowego pola przekroju (tab.). W wieku od 25 lat do 115 lat są to praktycznie lite sośniny z incydentalnie pojawiającymi się domieszkami brzozy lub modrzewia. W starszych drzewostanach wraz ze spadkiem zagęszczenia sosny w drzewostanie pojawiają się inne gatunki drzew. Najsilniej, i najwcześniej, zaznacza się pojaw młodego pokolenia świerka, a w miarę jak drzewostan górny silniej się przerzedza, wkracza w większej ilości brzoza. W drzewostanach starszych niż 185 lat występują cztery gatunki drzew o udziale powyżej 5% obliczonym na podstawie pierśnicowego pola przekroju. Wkraczanie młodego pokolenia może być spowodowane zmniejszającym się zwarcim sosny, co wyraża się spadkiem pierśnicowego pola przekroju tego gatunku w drzewostanach starszych niż 135 lat.

Wskaźnik Simpsona w badanych drzewostanach wahał się od 1 w drzewostanach litych do ponad 3 w drzewostanach, gdzie występowało najwięcej gatunków drzew (ryc. 1). Niskie

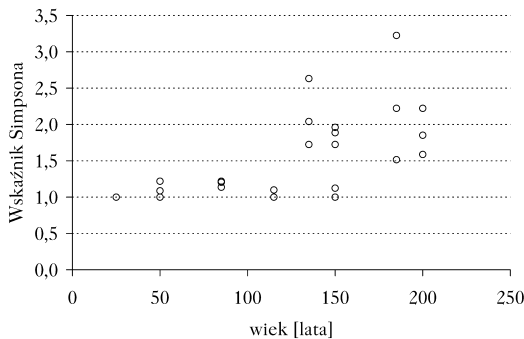
Tabela

Średnie pierśnicowe pole przekroju i zgęszczenie drzew w badanych drzewostanach na tle wieku i typu siedliskowego lasu
 Mean basal area and density of trees in studied stands with regard to their age and site type

Wiek	TSL	Pierśnicowe pole przekroju [m ² /ha]						Zagęszczenie drzew [szt./ha]					
		So	Św	Brz	Md	Db	Razem	So	Św	Brz	Md	Db	Razem
25	BMśw	25,1	-	-	-	-	25,1	2035	-	-	-	-	2035
50	BMśw	35,4	-	0,1	1,6	-	37,1	1016	-	17	17	-	1050
85	BMśw	36,1	2,3	-	-	-	38,4	346	33	-	-	-	380
115	Bśw	38,7	-	-	-	-	38,7	412	-	-	-	-	412
135	BMśw	26,5	8,6	2,2	-	-	37,3	145	279	89	-	-	513
150	Bśw	31,8	-	-	-	-	31,8	235	-	-	-	-	235
150	BMśw	32,4	8,2	-	-	-	40,6	163	124	-	-	-	287
185	BMśw	26,2	3,0	2,2	-	0,6	32,0	132	101	22	-	26	281
200	BMśw	22,3	1,0	1,3	-	1,4	26,1	130	31	14	-	6	180
220	BMśw	11,7	6,8	4,4	1,4	-	24,3	54	234	144	25	-	457

wartości są charakterystyczne dla drzewostanów młodszych niż 115 lat. W drzewostanach powyżej 135 lat wartości wskaźnika Simpsona są wyraźnie wyższe. Związek wartości wskaźnika Simpsona z wiekiem został potwierdzony statystycznie (wskaźnik korelacji Pearsona $R=0,6$; $p=0,0003$). Wartości współczynnika zmieszania zawierały się w przedziale od 0 do ponad 0,6 (ryc. 2). Najniższe wartości charakterystyczne były dla drzewostanów w wieku poniżej 80 lat. Wyraźny wzrost osiąganych wartości (w większości powyżej 0,2) uzyskiwano dla drzewostanów powyżej 135 lat. W tym zakresie wiekowym obserwuje się też największą zmienność tego współczynnika. Zależność współczynnika zmieszania i wieku została potwierdzona statystycznie (wskaźnik korelacji Pearsona $R=0,53$; $p=0,0002$). Wykresy obu wskaźników wyglądają bardzo podobnie, co potwierdza silna korelacja między nimi. Zależność współczynnika Simpsona od wskaźnika zmieszania opisuje równanie prostej regresji $y=1,06+2,41x$ (współczynnik korelacji Pearsona $R=0,88$; $p<0,0000$).

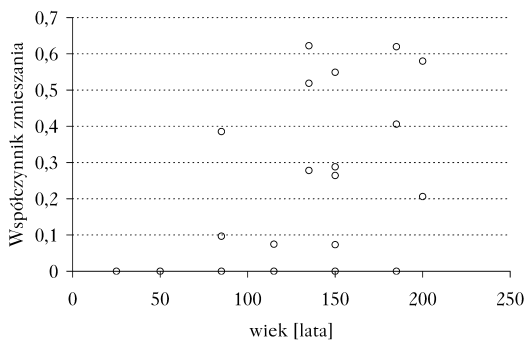
Wskaźnik przestrzennego zróżnicowania pierśnic osiąga na badanych powierzchniach wartości od około 0,1 do 0,55 (ryc. 3). Dla drzewostanów w wieku od 25 do 115 lat zwykle przyjmuje wartości zbliżone do 0,2. Wyjątkiem jest jedna powierzchnia w wieku 50 lat, gdzie wystąpił górujący wymiarami modrzew, dla której wskaźnik osiągnął maksymalną wartość. Na powierzchniach w drzewostanach powyżej 135 lat wskaźniki osiągają wyższe wartości i przeważnie oscylują powyżej 0,3, rzadko spadając poniżej 0,2. Zależność wskaźnika przestrzennego zróżnicowania pierśnic i wieku została potwierdzona statystycznie (wskaźnik korelacji Pearsona $R=0,6$; $p=0,0005$). Wskaźnik dominacji pierśnicy przyjmuje wartości w zakresie od 0,32 do 0,84 (ryc. 4). Na powierzchniach założonych w drzewostanach poniżej 85 lat wartości te są nieco niższe, zwykle poniżej 0,5. W drzewostanach powyżej 115 lat część wartości przekracza 0,5. Wydaje się również, że rozpiętość wartości wskaźnika dominacji pierśnic jest w tych drzewo-



Ryc. 1.

Wskaźnik różnorodności Simpsona na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku

Simpson diversity index on plots in a chronosequence of pine stands



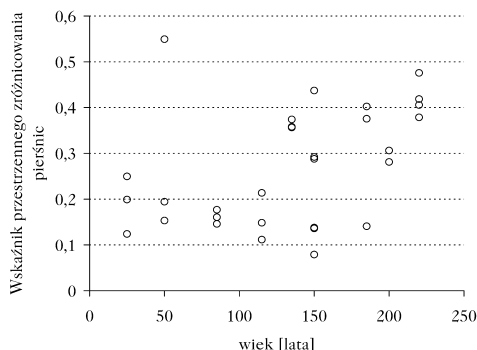
Ryc. 2.

Współczynnik zmieszania na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku

Mingling index on plots in a chronosequence of pine stands

stanach większa. Analiza statystyczna jednak nie potwierdza istotności związku wieku i wskaźnika dominacji pierśnic (wskaźnik korelacji Pearsona $R=0,27$; $p=0,1385$). Rozstęp pierśnic wyraźnie zwiększa się wraz z wiekiem drzewostanu (ryc. 5). Dla najmłodszych badanych powierzchni wynosił około 10 cm, maksymalne wartości osiągnął dla drzewostanów najstarszych (około 85 cm). Im drzewostan starszy, tym różnica między największą a najmniejszą pierśnicą jest większa. Zależność ta została potwierdzona statystycznie (wskaźnik korelacji Pearsona $R=0,76$; $p<0,0000$). Zależność rozstępu pierśnic od wskaźnika zróżnicowania pierśnic opisuje równanie $y=8,2+104,6x$, zależność między tymi wskaźnikami jest istotna statystycznie ($p<0,0000$), ale jej moc jest umiarkowana ($R=0,68$). Brak jest natomiast związku między rozstępem pierśnic a wskaźnikiem dominacji pierśnic ($p=0,4609$).

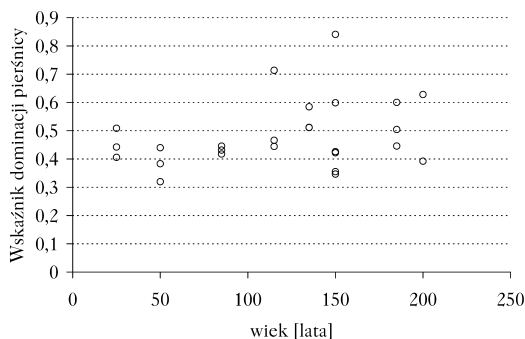
Wskaźnik Clarka-Evansa przyjmuje wartości od 0,59 do 1,42 (ryc. 6). W drzewostanach do 85 lat uzyskuje on wartości w zakresie 1,1-1,4. W większości drzewostanów starszych niż 115 lat



Ryc. 3.

Wskaźnik przestrzennego zróżnicowania pierśnic na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku

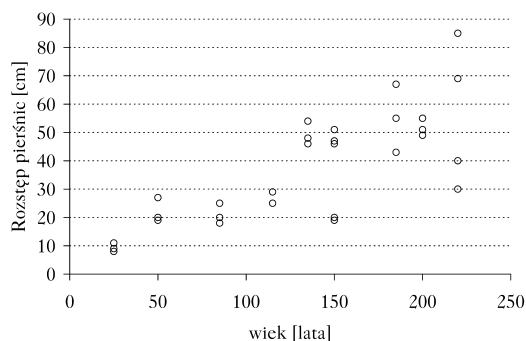
DHB differentiation index on plots in a chronosequence of pine stands



Ryc. 4.

Wskaźnik dominacji pierśnicy na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku

DBH dominance index on plots in a chronosequence of pine stands



Ryc. 5.

Rozstęp pierśnic na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku

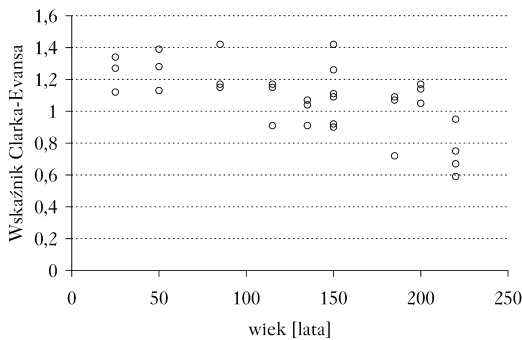
DHB dispersion on plots in a chronosequence of pine stands

jego wartość kształtuje się poniżej 1,2. W najstarszym badanym drzewostanie wszystkie wartości są poniżej jedności. Zależność wieku i wskaźnika Clarka-Evansa została potwierdzona statystycznie (wskaźnik korelacji Pearsona $R=-0,63$; $p=0,0001$). Wartości miary kątovej stwierdzone na badanych powierzchniach zawierają się w przedziale od 0,11 do 0,6 (ryc. 7). W drzewostanach do 85 lat wartość tego wskaźnika jest niska i nie przekracza 0,35. W drzewostanach powyżej 135 lat osiąga on nieco wyższe wartości, wynoszące w większości w powyżej 0,4. Związek wieku i miary kątovej nie został jednak potwierdzony statystycznie (wskaźnik korelacji Pearsona $R=0,3$; $p=0,1051$). Brak też istotnego związku statystycznego między wskaźnikiem Clarka-Evansa i miarą kątovej ($p=0,1966$).

Wyraźne jest rozgraniczenie na drzewostany starsze i młodsze. Dotyczy to nie tylko skokowej zmiany wartości wskaźników, ale również ich większej zmienności. Grupa drzewostanów w wieku do 115 lat wyraźnie różni się od grupy drzewostanów powyżej 135 lat. Test Kołmogorowa-Smirnowa potwierdza te różnice dla wskaźnika różnorodności Simpsona ($p=0,0002$), współczynnika zmieszania ($p=0,0005$), wskaźnika przestrzennego zróżnicowania pierśnic ($p=0,001$), rozstępu pierśnic ($p<0,0000$), wskaźnika Clarka-Evansa ($p=0,0013$) i miary kątovej ($p<0,0001$).

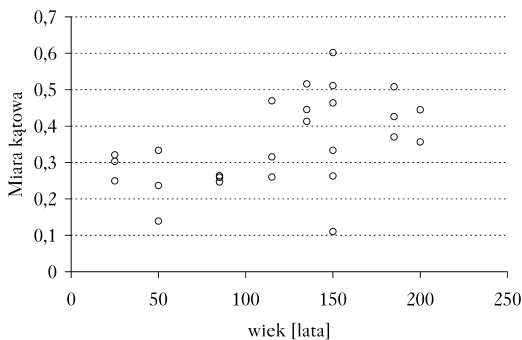
Dyskusja

Omówienie uzyskanych wyników musi być poprzedzone zastrzeżeniem, że prezentowane tu różnice w strukturze drzewostanów i ich zależność od wieku niekoniecznie obrazują ciągły proces. Nie ma żadnej pewności, że drzewostany młode, np. 50-letnie, będą za 100 lat przypominały te, które dzisiaj mają około 150 lat. Historia, a zwłaszcza sposób powstania, zabiegi pielęgnacyjne oraz oddziaływania biotyczne, są różne dla różnych grup wiekowych drzewostanów. Z tego względu w pracy nie obliczano równania linii regresji dla zależności obliczonych wskaźników od



Ryc. 6.

Wskaźnik Clarka-Evansa na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku
Clark-Evans index on plots in a chronosequence of pine stands



Ryc. 7.

Miara kątovej na powierzchniach badawczych w drzewostanach różnego wieku
Contagion index on plots in a chronosequence of pine stands

wieku drzewostanu. Obserwowane różnice i trendy mogą wynikać zarówno z naturalnych tendencji rozwojowych, jak i z różnego pochodzenia drzewostanów lub ich historii. Drzewostany najstarsze (140-220 lat) powstawały najprawdopodobniej w wyniku samosiewu, być może na dużych zrębach związanych z działającą na tym terenie od połowy XVII wieku do lat siedemdziesiątych XIX wieku hutą szkła w Jełguniu. Młodsze powstawały w wyniku odnowienia sztucznego na zrębach zupełnych. Początki odnowień sztucznych mogły mieć miejsce w latach siedemdziesiątych XIX wieku w okresie pracy na tym terenie Justusa Mortzfeldta [Ceitel, Perz 2006]. Może być też tak, że w skali 200 lat sposób powstania drzewostanów ma mniejsze znaczenie, a istotniejsze są zjawiska konkurencji i wydzielania drzew, zabiegi pielęgnacyjne, występowanie gradacji, pożarów, szkód od wiatru itp. Z pewnością na obraz struktury lasu w danym momencie czasowym składają się zarówno sposób jego powstania, jego historia oraz tendencje rozwojowe i trudno odpowiedzieć, który z tych czynników ma decydujące znaczenie.

Wartości wskaźników opartych o przestrzenne relacje drzew i wskaźników obliczonych dla całych powierzchni próbnych wykazują podobną zależność od wieku drzewostanu, chociaż nie zawsze udało się ją potwierdzić statystycznie. Najsilniejszą korelację zaobserwowano dla wskaźników opisujących różnorodność gatunkową. Wydaje się to dość oczywiste, ponieważ opisujemy młode monokultury i starsze drzewostany o większym bogactwie gatunkowym. Nieco słabiej korelują z wiekiem miary zmienności pierśnic. Rozstępy wyraźnie rośnie w starych drzewostanach za sprawą osiągania przez stare drzewa coraz większych rozmiarów i stałą obecność cienkich drzew młodego pokolenia. W skali pojedynczego drzewa i jego sąsiadów zróżnicowanie pierśnic jest mniejsze, jednak i w tym wypadku daje się zaobserwować większe zróżnicowanie wartości dla starszych drzewostanów. Brak zależności wskaźnika dominacji pierśnicy od wieku mimo silnego zróżnicowania wymiarów drzew w starych drzewostanach wskazuje, że drzewa o względnie podobnych wymiarach występują w nich blisko siebie.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono związku między obiema zastosowanymi miarami przestrzennego rozmieszczenia drzew. Analiza statystyczna nie wykazała zależności między miarą kątową a wskaźnikiem Clarka-Evansa, brak też zależności miary kątowej od wieku drzewostanu. Kwestie przestrzennego rozmieszczenia drzew są dość złożone i zastosowanie odmiennych metod daje czasami rozbieżne rezultaty [Bolibok 2003; Brzezicki 2004]. Wydaje się prawdopodobne, że miara kątowa jest silniej zróżnicowana między poszczególnymi drzewami, stąd większy rozrzut uzyskanych wartości i brak statystycznego potwierdzenia trendu.

Drzewostany młode charakteryzują się niską różnorodnością (wskaźnik Simpsona i zmieszania), małym zróżnicowaniem pierśnic i równomiernym rozmieszczeniem drzew. Drzewostany stare cechują się wyższą różnorodnością, dużym zróżnicowaniem pierśnic oraz losowym rozmieszczeniem drzew. Bardzo podobny trend zaobserwował Kint [2005], badając strukturę dojrzewających drzewostanów sosnowych w Belgii. Większość obliczonych w prezentowanej pracy wskaźników przyjmuje podobne wartości i poziom zróżnicowania jak w drzewostanach badanych przez tego autora. Mniej wyraźne różnice zaobserwował Pommerening [2007] porównując trzy jednogatunkowe drzewostany sosnowe w Szkocji: 78-letnią plantację i dwa drzewostany seminaturalne w wieku 200 i 300 lat. Jednak i w tej pracy starodrzewie cechowały się losowym rozmieszczeniem drzew i większym zróżnicowaniem pierśnic niż młody drzewostan. Większe podobieństwo prezentowanych wyników do danych z Belgii wynika najprawdopodobniej z tego, że w obu przypadkach badano drzewostany o zróżnicowanym składzie gatunkowym. Tam, gdzie warunki siedliskowe pozwalają na występowanie drzewostanów mieszanych, powstają stare drzewostany sosnowe o większym zróżnicowaniu nie tylko gatunkowym, co jest oczywiste, ale również pod względem przestrzennego rozmieszczenia drzew oraz zróżnicowania pierśnic.

Wzrost bogactwa gatunkowego warstwy drzew może mieć istotne znaczenie dla różnorodności całej biocenozy. Stare drzewostany sosnowe w Nadleśnictwie Nowe Ramuki pod wieloma względami przypominają naturalne lasy strefy borealnej. Wymienić tu należy przede wszystkim duże zróżnicowanie pierśnic wskazywane jako cecha drzewostanów naturalnych [Rouvinen, Kuuluvainen 2005; Pommerening 2007]. Wskaźnik zróżnicowania pierśnic w grupie drzewostanów starszych niż 135 lat często przekraczał wartość 0,4, potwierdzając ich naturalny charakter [Bilski, Brzeziecki 2005]. Kolejną ważną cechą zbliżającą strukturę starych drzewostanów do lasów naturalnych jest silne przestrzenne zróżnicowanie wewnątrz drzewostanów. Poszczególne płaty tego samego drzewostanu silnie różnią się pod względem obliczonych statystyk. Różnice te są silniejsze w grupie drzewostanów starszych. Takie zróżnicowanie wykazują współczynnik zmieszania, wskaźnik różnorodności Simpsona i przestrzenne zróżnicowanie pierśnic. Silne przestrzenne zróżnicowanie starodrzewia sosnowego w wieku powyżej 200 lat opisywali Andrzejczyk i Brzeziecki [1995]. Taka wewnętrzna heterogenność drzewostanów wskazywana jest jako podstawowe źródło różnorodności biologicznej lasu [Kuuluvainen 2002]. Homogenność młodych drzewostanów sosnowych wydaje się być cechą niezależną od sposobu ich powstania. Typowa jest zarówno dla powierzchni powstałych z sadzenia w regularnej więźbie, jak i powstałych z naturalnego obsiewu na powierzchniach otwartych [Andrzejczyk 2000]. W przypadku tych drugich konkurencja i związana z nią śmiertelność młodych sosen prowadzi do wyrównania zagęszczenia nalotów.

Analizując przedstawione wyniki, można pokusić się o próbę określenia wieku, w jakim struktura drzewostanu sosnowego zmienia się z typowej dla drzewostanów młodych w typową dla starodrzewia. Badane wskaźniki zmieniają się w istotny sposób wraz z wiekiem drzewostanów. Niektóre z nich wykazują wyraźnie prostoliniowy charakter tych zmian, np. wskaźnik Clarka-Evansa i rozstęp pierśnic. W przypadku pozostałych wskaźników można zauważyć wyraźną zmianę różnicującą drzewostany na młodsze i starsze. W ten sposób zachowują się wskaźnik różnorodności Simpsona, wskaźnik zmieszania, wskaźnik zróżnicowania pierśnic oraz miara kątowna. Młodsza grupa cechuje się przede wszystkim mniejszym zróżnicowaniem obliczonych wskaźników zarówno dla drzewostanów, jak i między drzewostanami. Granica różnicująca drzewostany na młode i stare to wiek między 115 a 135 lat. Można przypuszczać, że kluczowe dla tej wartości jest dorośnięcie drzew młodszego pokolenia do progu pomiaru pierśnic, wynoszącego w tych badaniach 7 cm. Granica ta jest do pewnego stopnia umowna, gdyby przyjąć niższy próg pomiaru pierśnic, wiek ten byłby niższy. Warto odnotowania jest to, że ten wiek graniczny silniej zaznacza się dla wskaźników opartych o wzajemne relacje przestrzenne niż te, w których powierzchnia próbna jest traktowana jako całość. Wskazywałoby to, że miary oparte o wzajemne sąsiedztwo drzew są subtelniejszym narzędziem opisu struktury drzewostanu, ponieważ silniej reagują na jego wewnętrzną zmienność.

Przedstawione różnice między młodymi i starymi drzewostanami sosnowymi mogą być przyczynkiem wskazania dróg do aktywnego przyspieszenia różnicowania się struktury młodych drzewostanów sztucznego pochodzenia. Przyspieszenie zmian struktury w stronę drzewostanów bardziej heterogennych może pozytywnie wpływać na różnorodność całej biocenozy lasu. Tam, gdzie nadrzędnym celem prowadzonej gospodarki jest ochrona różnorodności biologicznej, np. w parkach narodowych, modyfikacja zasad cięć przedrębnych tak, by zwiększyć stopień zróżnicowania struktury drzewostanów, jest jak najbardziej pożądana. Wyniki prezentowanych badań nie upoważniają do sformułowania dokładnych zaleceń, wskazują jedynie kierunki możliwych poszukiwań. Właściwe wydaje się popieranie zróżnicowania gatunkowego, przyspieszanie formowania drugiego piętra lub warstwy podszytu oraz zróżnicowanie przestrzenne

rozmieszczenia drzew i ich wymiarów. Najłatwiej osiągnąć to poprzez duże przestrzenne zróżnicowanie intensywności prowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych w drzewostanie. Próby wykorzystania trzebieży jako narzędzia służącego do skomplikowaniu struktury drzewostanów zastosowano w Stanach Zjednoczonych [Muir i in. 2002].

Prezentowana praca jest przyczynkiem do poznania zróżnicowania struktury drzewostanów sosnowych. Przeanalizowanie dość skromnego materiału, bo zaledwie z 10 drzewostanów, nie upoważnia do stawiania daleko idących wniosków. Wskazuje na potencjał tkwiący we wskaźnikach struktury drzewostanu jako w narzędziu badawczym. Z metodycznego punktu widzenia interesujące byłoby przesłedzenie proporcji drzew w poszczególnych klasach wskaźników strukturalnych w drzewostanach różnego wieku [Brzeziecki 2004; Pommerening 2002, 2006a]. Ciekawe jest pytanie, czy przedstawiony wzorec zmian struktury drzewostanu i jego związek z wiekiem potwierdziłby się przy zastosowaniu dużych powierzchni rzędu kilku hektarów. Interesujące byłoby również obserwacje zmian struktury drzewostanu na stałych powierzchniach, wskazujące czy przedstawione tu różnice między młodymi a starymi drzewostanami są wynikiem spontanicznych tendencji rozwojowych niezależnych od sposobu powstania drzewostanu.

Podsumowanie

W prezentowanej pracy opisano strukturę drzewostanów sosnowych w wieku od 25 do 220 lat za pomocą szeregu syntetycznych wskaźników. Zastosowane wskaźniki dobrze opisują różnice struktury starych i młodych drzewostanów sosnowych. Wskaźniki oparte o wzajemne relacje przestrzenne drzew silnie reagują na wewnętrzne przestrzenne zróżnicowanie drzewostanu. Młode drzewostany sosnowe cechują się niską różnorodnością gatunkową, małym zróżnicowaniem pierśnic oraz równomiernym rozmieszczeniem drzew. W starych drzewostanach wzrasta bogactwo gatunkowe, zróżnicowanie pierśnic, a drzewa rozmieszczone są losowo lub niekiedy skupiskowo. Te cechy upodobią stare drzewostany w wieku powyżej 115-135 lat do drzewostanów naturalnych strefy borealnej. Najważniejszą cechą tych drzewostanów jest ich silne zróżnicowanie wewnętrzne i wynikający stąd większy rozrzut uzyskiwanych statystyk. Bardzo istotne dla struktury starych drzewostanów jest formowanie się dolnych warstw drzewostanu: podszytu, podrostów oraz drugiego piętra. Wydaje się, że zabiegi trzebieżowe o dużym zróżnicowanym nasileniu w obrębie jednego drzewostanu mogą przyspieszyć moment osiągnięcia przez ten drzewostan struktury przestrzennej przypominającej drzewostany naturalne.

Literatura

- Aguire O., Hui G., Gadom H., Jimenez J. 2003. An analyzing of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- Andrzejczyk T. 2000. Wpływ odległości od ściany drzewostanu na zagęszczenie i przeżywalność nalotów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na zrębach zupełnych i gniazdach. *Sylwan* 144 (1): 27-42.
- Andrzejczyk T., Brzeziecki B. 1995. The structure and dynamics of old-growth *Pinus sylvestris* (L.) stand in the Wigry National Park, north-eastern Poland. *Vegetatio* 117: 81-94.
- Bilski M., Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży przerębowej na zróżnicowanie strukturalne drzewostanu. *Sylwan* 149 (4): 21-33.
- Bolibok L. 2003. Dynamika struktury przestrzennej drzewostanów naturalnych w oddziale 319 BPN – czy biogrupy drzew są powszechne i trwałe w nizinym lesie naturalnym? *Sylwan* 147 (1): 12-23.
- Brzeziecki B. 2002. Wskaźniki zróżnicowania struktury drzewostanu. *Sylwan* 146 (4): 69-79.
- Brzeziecki B. 2004. Biogrupy drzew w lesie naturalnym: czy prof. Włoczewski miał rację? *Sylwan* 148 (7): 3-10.
- Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów sosnowych. *Sylwan* 149 (10): 11-19.
- Ceitel J., Perz B. 2006. Sposób Mortzfeldta przebudowy składu gatunkowego drzewostanów. *Sylwan* 150 (7): 23-34.
- Kint V., Lust N., Ferris R., Olsthoorn A. F. M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Forest Systems* 9 (3): 147-163.

- Kuuluvainen T. 2002.** Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva Fenica* 36 (1): 97-125.
- Mason W. L., Connolly T., Pommerening A., Edwards C. 2007.** Spatial structure of semi-natural and plantation stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Scotland. *Forestry* 80 (5): 567-586.
- Muir P. S., Mattingly R. L., Tappeiner II J. C., Bailey J. D., Elliott W. E., Hagar J. C., Miller J. C., Peterson E. B., Starkey E. E. 2002.** Managing for biodiversity in young Douglas-fir forests of western Oregon. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Biological Science Report USGS/BRD/BSR-2002-0006. 76.
- Pommerening A. 2002.** Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75 (3): 305-324.
- Pommerening A. 2006a.** Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266-277.
- Pommerening A. 2006b.** Crancod – A program for the analysis and reconstruction of spatial forest structure. Version 1.3. University of Wales. Bangor. 1-24
- Pommerening A., Stoyan D. 2006.** Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1723-1739.
- Rouvinen S., Kuuluvainen T. 2005.** Tree diameter distribution in natural and managed old *Pinus sylvestris* – dominated forests. *Forest Ecology and Management* 208: 45-61.

SUMMARY

Quantitative characteristic of structure in Scots pine stands of various age

Structure of 10 stands in Nowe Ramuki Forest District was analyzed in age range from 25 to 220 years. In each stand three circular plots were established and DHB and polar coordinates of each tree thicker than 7 cm were measured. Depending on stand age the following plot sizes were used: to 40 years – 0.01 ha, from 41 to 60 years – 0.02 ha, from 61 to 150 years – 0.05 ha, from 150 to 200 years – 0.08 ha over 201 – 0.12 ha. Species diversity, variation in tree dimensions and spatial distribution was analyzed. For each plot following indices were calculated: Simpson diversity index, mingling index, DHB dispersion, DHB differentiation index, DBH dominance index, Clark–Evans index and contagion index. Significant relation to age was found for all indices calculated except DHB dominance and contagion indices. Stands younger than 115 years are characterized by simple structure. Those stands are mostly pure pine, with little DHB differentiation and regular spatial distribution. Indices calculated for those stands are in a following range: Simpson diversity index 1-1.2; mingling index 0-0.3; DHB dispersion 8-25 cm; DHB differentiation index 0.1-0.2; DBH dominance index 0.3-0.5; Clark-Evans index 0.9-1.4; contagion index 0.1-0.4. Structure of stands in age 135-220 years is more complex than in young ones. Species diversity is higher, mostly because of appearance of young generation of spruce, birch and oak. As a result diameter differentiation increase and trees are randomly distributed. Indices calculated for those stands are in a following range: Simpson diversity index 1-3.2; mingling index 0-0.6; DHB dispersion 19-85 cm; DHB differentiation index 0.1-0.5; DBH dominance index 0.3-0.8; Clark-Evans index 0.6-1.4; contagion index 0.1-0.6. Dispersion of indices within one stand is higher in this group of stands than in young ones. Differences between young and old stands may be result of natural tendencies in development or different origin and history of both groups. High dimension differentiation, heterogeneity and random distribution of trees in old stands resemble natural stands of boreal zone. It seems possible to shape structure of young stands originated from artificial regeneration with the aim to mimic structure of natural stands. Thinning of various intensity in one stand could be the way leading to complex structure in species, dimension and spatial aspect.