

## WYKORZYSTANIE SEMIWARIANCJI DO ANALIZY DYNAMIKI GRADACJI STRZYGONI CHOINÓWKI NA OBSZARZE PUSZCZY NOTECKIEJ

### THE USE OF SEMIVARIANCE FOR ANALYZING OF OUTBREAK FOCI DYNAMICS OF PINE NOCTUID IN THE NOTECKA PRIMARY FOREST

**Jerzy Mozgawa<sup>1</sup>, Wiktor Tracz<sup>1</sup>, Grażyna Kamińska<sup>1</sup>, Andrzej Kolk<sup>2</sup>,  
Lidia Sukovata<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny, SGGW

<sup>2</sup> Zakład Ochrony Lasu, IBL

**Słowa kluczowe:** SIP, geostatystyka, ogniska gradacyjne, szkodniki liściożerne sosny, strzygonia choinówka

**Keywords:** GIS, geostatistics, outbreak foci, pine insect defoliators, pine noctuid

## Wstęp

Waga gospodarcza i naukowa zjawisk gradacyjnych najważniejszych foliofagów (owadów liściożernych) sosny jest od szeregu lat przedmiotem zainteresowania nauki i praktyki ochrony lasu. Gwałtowne narastanie liczebności owadów, przybierające z czasem rozmiary klęski, rozpoczyna się w miejscach, najbardziej szkodnikowi odpowiadających, czyli tzw. „pierwotnych ogniskach gradacyjnych”. Wskazanie lokalizacji pierwotnych ognisk gradacyjnych oraz znajomość mechanizmów ich rozszerzania stwarzałyby możliwość wczesnego ograniczenia gradacji w samym jej ognisku, a przez to niedopuszczenie do jej powstania na dużych obszarach lasu.

Propozycje metodyczne dotyczące lokalizacji ognisk gradacyjnych najgroźniejszych owadów liściożernych sosny: brudnicy mniszki, strzygoni choinówki, barczatki sosnowki, poprocha cetyniaka i siwiotka borowca na terenie Puszczy Noteckiej zaprezentowano na łamach Roczników Geomatyki (Mozgawa i in., 2006). Do analiz czasowo-przestrzennych zasięgu gradacji ww. szkodników liściożernych wykorzystano pakiet oprogramowania ArcGIS.

Pomimo zagwarantowania w badaniach populacyjnych wysoko zaawansowanego programu komputerowego, autorzy opracowania (Mozgawa i inni, 2006) byli świadomi, że przy zastosowaniu tylko konwencjonalnych metod analiz przestrzennych nawet ten pakiet nie mógł zapewnić wszechstronnej analizy danych zgromadzonych w komputerowej bazie Instytutu Badawczego Leśnictwa (IBL).

Mając powyższe na uwadze, w niniejszym artykule zaprezentowano propozycje przetworzeń geostatystycznych danych przestrzenno-czasowych, dotyczących jednego z najgroźniejszych szkodników pierwotnych sosny – strzygoni choinówki.

Generalne przesłanki, leżące u podstaw podjęcia tej problematyki sprowadzały się do przyjęcia tezy, że kartowanie danych do postaci określonej mapy tematycznej można wykorzystać również w wersjach rastrowych map semiwariancji powierzchniowej i semiwariancji krzyżowej powierzchniowej (Johnson i in., 2001), które powinny ułatwić rozpoznanie przestrzennych wzorców, jakie tworzą na obszarze Puszczy Noteckiej stopnie zagrożenia lasu.

Podstawowym celem metodycznym transformacji wyników obserwacji terenowych na formę możliwie prostych w legendzie różnych map tematycznych było więc przede wszystkim wywołanie u analityka wrażenia przestrzennej natury populacyjnych zjawisk przyrodniczych.

Inne przesłanki, leżące u podstaw podjęcia problematyki analiz geostatystycznych w ochronie lasu były następujące:

- metody analiz, wykorzystujące podejście geostatystyczne do analiz zjawisk populacyjnych najgroźniejszych szkodników drzew leśnych ciągle znajdują się w początkowej fazie rozpoznania ich przydatności praktycznej (Zawadzki i in., 2006; Frączek, 2007),
- corocznie dokonywane są różnorodne inwentaryzacje kontroli stanu populacji owadów; zachodzi w związku z tym potrzeba opracowania stosownych metod analiz tego typu danych monitoringowych (Instrukcja Ochrony Lasu),
- artykułowane są potrzeby opracowania aplikacji użytkowej na bazie leśnej mapy numerycznej i SILP dla badania zjawisk populacyjnych na obszarach przekraczających terytoria poszczególnych nadleśnictw (Mozgawa, 2006),
- rezultaty analiz geostatystycznych mogą być traktowane jako szczególna forma kwantyfikowania konwencjonalnych map tematycznych (Zawadzki 2005).

## Metodyka badań

### Metodyka przygotowania danych przestrzennych do analiz geostatystycznych

Do wykonanie analizy geostatystycznej wykorzystano dostarczoną przez Instytut Badawczy Leśnictwa komputerową bazę danych o stopniach zagrożenia drzewostanów Puszczy Noteckiej. Dane o stopniu zagrożenia drzewostanów pochodziły z bardzo długiego ciągu obserwacji stanu populacji owadów, z okresu 1946–2004, obejmując 4771 oddziałów obszaru Puszczy Noteckiej. Tak obszerny zestaw danych empirycznych został wykorzystany w niniejszym opracowaniu tylko w niewielkim stopniu. Gwarantował właściwą ocenę przydatności zastosowanych analiz liczbowych do kwantyfikacji określonego zjawiska przyrodniczego, jakim jest przestrzenno-czasowa dynamika zmian zagrożenia lasu związana z liczebnością szkodliwych owadów. Dysponując niezbędnymi materiałami kartograficznymi utworzono stosowną geometryczną bazę danych, którą następnie zintegrowano z bazą opisową (Mozgawa i inni, 2006).

Przyjęto szereg ustaleń metodycznych, związanych ze specyfiką analiz przestrzennych o stanie populacji owadów. Były one następujące:

- przyjęto upraszczające, ale konieczne założenie, że analizy przestrzenno-czasowe zebranych danych będą wykonywane na poziomie, którego najmniejszą jednostką prze-

strzeni jest oddział, a czasową rok (przyjęcie tylko jednej, syntetycznej wartości wskaźnika zagrożenia dla jednego roku kalendarzowego),

- centroid oddziału był miejscem, w którym pobierano próby terenowe, monitorujące stan populacji foliofagów,
- wyselekcjonowano wskaźnik zagrożenia lasu, definiowany w Instrukcjach Ochrony Lasu, jako podstawowy i jedyny parametr opisujący stan lasu w okresach między gradacjami i w czasie gradacji,
- przyjęto założenie, że wskaźnik zagrożenia w sposób maksymalnie syntetyczny oddaje niebezpieczny dla lasu stan populacji gatunku foliofaga (inaczej – przyjęto założenie, że wskaźnik zagrożenia umożliwia wnioskowanie o stanie populacji owada), co w konsekwencji umożliwiło ograniczenie analiz nad wyznaczeniem kierunków rozprzestrzeniania się i zasięgów gradacji do dystrybucji czasowo-przestrzennej wartości tylko wskaźnika zagrożenia lasu.

Dla podawanych w Instrukcjach Ochrony Lasu stopni zagrożenia przyjęto poniższe kody: stopień „0” – 0; „0/+” – 0,5; „+” – 1; „+/+” – 1,5; „++” – 2; „++/+++” – 2,5; „+++” – 3.

Materiał do analiz geostatystycznych uzyskano wyznaczając na obszarze Puszczy Noteckiej centra gradacyjne, jako wstępny etap wyznaczania najważniejszych dla praktyki ochrony lasu ognisk gradacyjnych – miejsc w drzewostanach, gdzie inicjowane jest zjawisko powtarzającego się w czasie narastania liczebności szkodliwych owadów.

Dążąc do wyznaczenia położenia ognisk gradacyjnych dla konkretnego gatunku owada przyjęto, że ogniska będą identyczne z miejscami, w których w ciągu badanych 58 lat zagrożenie w stopniu co najmniej 2 (tzn. 2, 2,5 i 3) powtórzyło się dwu- lub wielokrotnie, pod warunkiem, że jeśli w ramach jednej gradacji w danym oddziale wysoki stopień zagrożenia powtarzał się z roku na rok, to uwzględniono go tylko jeden raz.

Na wstępie dokonano wizualizacje stopni zagrożenia drzewostanów Puszczy przez dany gatunek owada oraz obszary chemicznego zwalczania w poszczególnych latach kalendarzowych w okresie 1946-2004. Do wizualizacji zastosowano kartodiagram kołowy prosty skokowy, który w postaci rozmieszczonych na mapie diagramów elementarnych, opracowanych dla poszczególnych oddziałów przedstawiał różne stopnie zagrożenia w postaci kół o różnych rozmiarach i intensywności koloru. Lokalizację kartodiagramów kołowych na mapie tematycznej wykonano w centroidach oddziałów. Kartodiagram elementarny konstruowano dla stopni zagrożenia, jednoznacznie określonych w atrybutowej bazie danych w przedziale 0-3, z odstopniowaniem 0,5. Takie postępowanie umożliwiło wstępne określenie dat i miejsc gradacji oraz zmian zasięgów przestrzennych gradacji. Uwzględniając informację o częstotliwości wystąpienia zagrożenia drzewostanów w stopniu co najmniej 2 utworzono w następnej kolejności mapy przestrzennego rozkładu takich wysokich i częstych zagrożeń. Na tych mapach wizualnie zlokalizowano zwarte kompleksy ognisk gradacyjnych, dla których przyjęto nazwę centrów gradacyjnych.

Przy wyznaczaniu lokalizacji pierwotnych ognisk gradacyjnych kierowano się podanymi poniżej (za Instrukcją Ochrony Lasu, 2004) pojęciami, merytorycznie związanymi z dynamiką ilościowych zmian w populacji owadów.

*Ognisko gradacyjne – miejsce w drzewostanie lub cały drzewostan, gdzie inicjowane jest zjawisko częstego narastania liczebności szkodliwych owadów.*

*Miejsca, w których rozpoczyna się narastanie liczebności owadów uznaje się za pierwotne ognisko gradacyjne.*

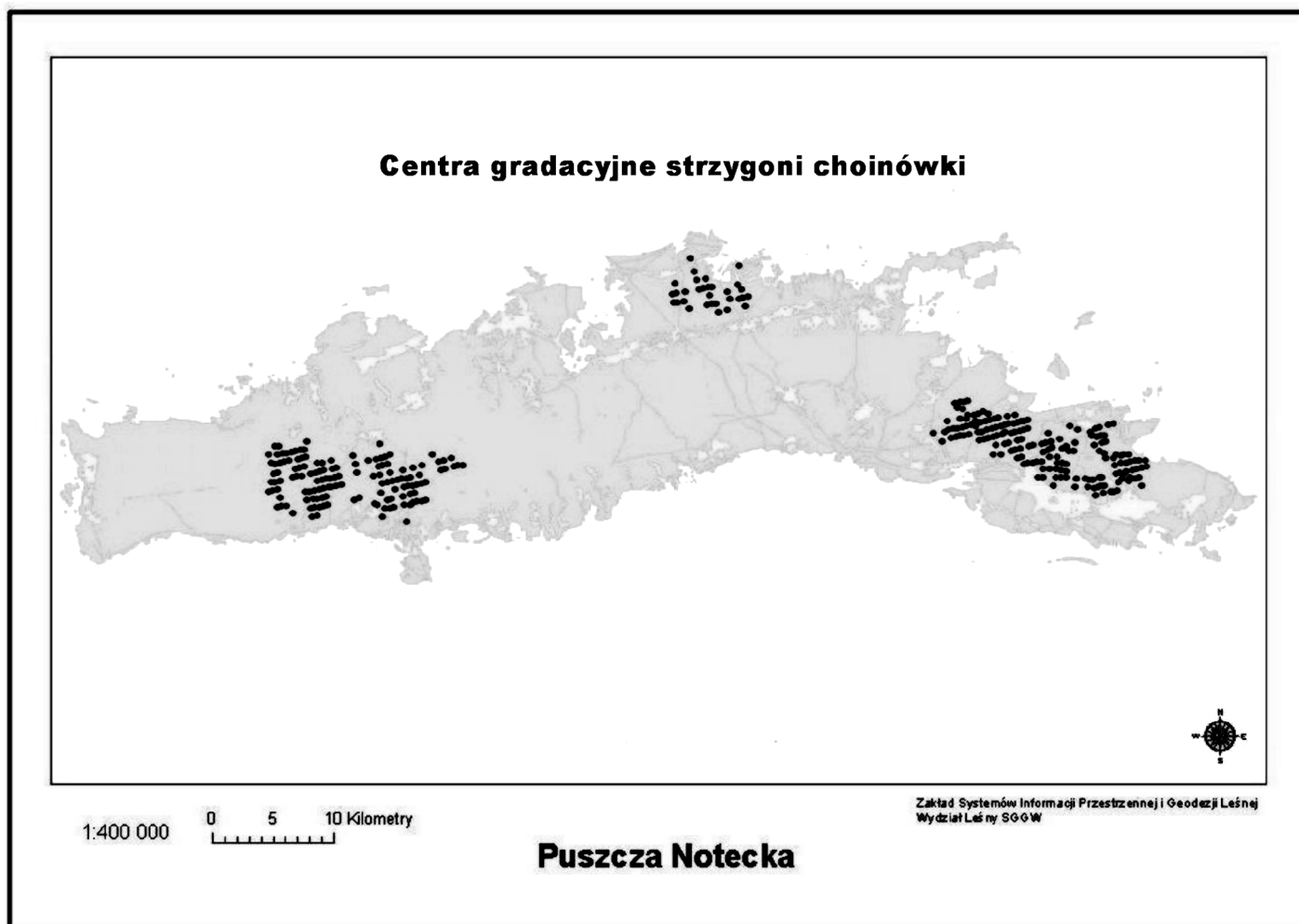
*W kolejnych latach trwania gradacji szkodnik rozprzestrzenia się z pierwotnego ogniska i tworzą się dodatkowe miejsca narastania liczebności – wtórne ogniska gradacyjne.*

*Przy wyznaczaniu pierwotnych ognisk gradacyjnych należy kierować się następującymi informacjami:*

- rok rozpoczęcia gradacji szkodnika,
- lokalizacja miejsc z podwyższoną liczebnością szkodnika w roku rozpoczęcia gradacji,
- częstotliwość występowania gradacji w danym miejscu w analizowanym czasie.

Uwzględniając powyższe przesłanki:

- Wyświetlano z bazy danych i poddawano analizie kolejne mapy tematyczne stopni zagrożenia przez konkretny gatunek owada oraz obszary zwalczania w poszczególnych latach kalendarzowych w okresie 1946–2004, co umożliwiło wstępne wizualne uchwycenie miejsc rozpoczęcia procesów gradacyjnych oraz przestrzennych zmian zasięgów gradacji.
- Analizowano sekwens wyżej wyszczególnionych map tematycznych zagrożenia i zwalczania.
- Na podstawie dwu wyżej wymienionych metod analizy treści wyświetlonych map tematycznych dokładnie wyselekcjonowano okresy dużego wzrostu liczebności populacji, spełniające definicje gradacji; dla tych okresów metodami geostatystyki analizowano w dalszych etapach pracy cechy przestrzenne rozwoju gradacji.
- W tematycznej bazie danych o zagrożeniach wyszukano oddziały, które spełniały założone warunki logiczne, ustalone przez ekspertów IBL na podstawie wiadomości merytorycznych na temat przebiegu typowych procesów gradacyjnych.
- Warunki logiczne wyselekcjonowały z tematycznej bazy danych rekordy (oddziały) o określonym stopniu zagrożenia i częstotliwości występowania zagrożenia.
- W rezultacie powyższego postępowania wyświetlano mapy obrazujące przestrzenną dystrybucję wybranych charakterystyk czasowo-przestrzennych populacji określonego owada; mapa pierwsza obrazowała częstotliwości (trzy-, dwu- i jednokrotne) występowania w poszczególnych oddziałach zagrożenia powyżej 1 (w przyjętej dla wszystkich analiz skali zagrożenia 1–3), a mapa druga przedstawiała częstotliwość występowania w oddziałach zagrożenia o natężeniach z przedziału (2, 2,5 i 3).
- Na wyświetlonych mapach: mapie tematycznej częstotliwości występowania zagrożenia z przedziału (2, 2,5 i 3) i mapie wskaźnika syntetycznego, wyznaczonego z sumy wartości zagrożeń i wysokiej częstotliwości występowania zagrożenia z przedziału (2, 2,5, 3) wizualnie lokalizowano obszary z całego terytorium Puszczy, na których z wysokim prawdopodobieństwem położone są miejsca spełniające definicję ognisk gradacyjnych określonego gatunku owada.
- Granice tych obszarów, zwanych dalej centrami gradacyjnymi poszczególnych gatunków owadów, uszczegółowiono do postaci wielokątów, a następnie wykonano dla tak wyznaczonych poligonów stosowne kopie fragmentów geometrycznych i opisowych baz danych o stopniu zagrożenia określonym gatunkiem owada.
- Tak przygotowane kopie były wykorzystywane w dalszych etapach pracy do liczbowej charakterystyki wytypowanych centrów gradacyjnych metodami geostatystyki.
- Centra gradacyjne, ustalone dla badanego gatunku owada (strzygoni choinówki) przez zespół ekspertów przedstawiono na rysunku 1. Dla strzygoni wyznaczono 3 centra gradacyjne. Położenie centroidów oddziałów w granicach centrów gradacyjnych oraz odpowiadające im stopnie zagrożenia w wyselekcjonowanych, charakterystycznych momentach gradacji z okresy 1946-2003 podano analizie geostatystycznej.



Rys. 1. Lokalizacja centrów gradacyjnych strzygony choinówki na obszarze Puszczy Noteckiej

## Metodyka analiz geostatystycznych

Analizę geostatystyczną prowadzono dla centrów gradacyjnych, wyznaczonych jako obszary prawdopodobnej lokalizacji ognisk gradacyjnych, dla określonego gatunku owada i lat gradacji.

Postawiono hipotezę, że istnieje złożona struktura przestrzenna, związana ze stopniami zagrożenia (przestrzenne zróżnicowanie i wzajemna zależność wartości zagrożenia, mierzonych w środku oddziałów) i etapami gradacji, której rozpoznanie pozwoli na poszerzenie wiedzy o mechanizmach powstawania gradacji.

Weryfikację powyższej hipotezy prowadzono korzystając z metod geostatystyki, opracowanych dla potrzeb tzw. analizy strukturalnej (Johnson i in., 2001).

W analizie strukturalnej, zwanej w geostatystyce również wariografią lub kwantyfikacją przestrzennej struktury danych, badano przede wszystkim przestrzenną autokorelację stopni zagrożenia lasu, lokalizowaną, co do wartości liczbowych w centroidach oddziałów. Stwierdzenie określonej autokorelacji potwierdzałoby fakt, że stopień zagrożenia przez określonego owada w konkretnym miejscu Puszczy Noteckiej jest w określony sposób skorelowany ze stopniami zagrożenia w otoczeniu tego miejsca.

Do weryfikacji hipotezy, że stopień zagrożenia przez określonego owada w konkretnym miejscu Puszczy jest w określony sposób skorelowany ze stopniami zagrożenia w otoczeniu tego miejsca, wykorzystano metody geostatystyczne, opracowane do analiz jednej zmiennej, a pozwalające na efektywne wyznaczenie korelacji przestrzennych.

W celu rozpoznania struktury przestrzennej stopni zagrożenia lasu przez jednego szkodnika pierwotnego (strzygonię choinówkę) wykorzystano podstawową geostatystyczną miarę ciągłości przestrzennej – semiwariancję i jej specjalną wizualizację na wykresie zwanym semiwariogramem (Zawadzki i in., 2004a; 2004b).

Geostatystyka definiuje semiwariancję jako połowę kwadratów różnic pomiędzy parami danych monitoringowych, lokalizowanych w różnych miejscach analizowanego obszaru (Johnson i inni, 2001). Obliczenie semiwariancji oddzielnie dla zgrupowanych przedziałów odległości par punktów monitoringowych i po ich uśrednieniu dla konkretnego przedziału odległości przedstawiano na wykresie, zwanym empirycznym semiwariogramem. Na podstawie semiwariogramu empirycznego, technikami regresji krzywoliniowej można było dopasować modele teoretyczne. Generalnie, na podstawie empirycznych lub modelowych semiwariogramów można było uzyskać syntetyczną dla wszystkich kierunków badanego obszaru lasu charakterystykę ciągłości przestrzennej, występującej w zbiorze danych o stopniu zagrożenia.

Semiwariancje obliczone nie dla wszystkich, lecz tylko dla pewnego zakresu tolerancji kierunku (dokładniej tolerancji kierunku wektora separacji) (Zawadzki, 2005) noszą w geostatystyce nazwę semiwariancji kierunkowych. Na podstawie danych semiwariancji kierunkowych, wykorzystując różne odległości pomiędzy punktami monitoringowymi, tworzone semiwariogramy kierunkowe.

W badaniach szeroko korzystano z semiwariancji powierzchniowej, będącej specjalną mapą tematyczną. Wykorzystane w badaniach semiwariancje powierzchniowe były zatem specyficznymi rastrowymi mapami, na których przedstawiano wartości semiwariancji obliczone dla wszystkich możliwych kierunków i zwrotów wektora separacji.

Semiwariancje powierzchniowe są w analizie strukturalnej przede wszystkim syntetycznym źródłem informacji o występowaniu anizotropii związków przestrzennych, mogących mieć przyczyny między innymi w ważnych czynnikach hipotetycznie kontrolujących dyna-



mikę populacji owadów (kierunki panujących podczas gradacji wiatrów, nierównomierność powierzchniowa opadów atmosferycznych, zmienność budowy geologicznej podłoża itp.).

W zakresie rozpoznawania anizotropii korzystano z semiwariogramów powierzchniowych ustalając pod kontrolą programu:

- dwie główne, prostopadłe do siebie, osie występującej anizotropii oraz usytuowanie przestrzenne (azymut) jednej z osi,
- typy semiwariancji empirycznej na obydwu osiach anizotropii.

Semiwariogramy powierzchniowe wykorzystano w niniejszych badaniach dodatkowo jako specyficzne źródło informacji o sile przestrzennych autokorelacji i typach semiwariancji, występujących na dowolnych kierunkach (azymutach), wyznaczanych dla obszarów gradacji, w kolejnych etapach jej rozwoju.

Przesłanki merytoryczne tego fragmentu analiz były następujące:

- wybierając parametry semiwariogramu kierunkowego (kąąt tolerancji, azymut analizowanego kierunku, szerokość pasa terenu, dla którego liczona jest wariancja) (Johnson i in., 2001) można dla tego kierunku ustalić (bezpośrednio na podstawie interpretacji semiwariogramu powierzchniowego lub pośrednio, poprzez utworzenie dla wybranego kierunku semiwariogramu kierunkowego) typ semiwariancji,
- poprzez ustalony typ semiwariancji wnioskujemy o cechach związków przestrzennych dla analizowanego kierunku (Zawadzki i in., 2004a),
- wprowadzając do analizy konkretną, wykorzystywaną w badaniach cechę przestrzenną (Łupikasz, 2007; Namysłowska-Wilczyńska, 2007) (w przypadku niniejszych badań jedyną analizowaną cechą przestrzenną był syntetyczny wskaźnik zagrożenia, ustalany dla konkretnego roku kalendarzowego i lokalizowany geometrycznie w centroidach oddziałów) można było scharakteryzować kierunkowe związki przestrzenne tej cechy, występujące w konkretnym roku gradacji, dla określonego gatunku owada, na analizowanym obszarze lasu, ustalonym jako centrum gradacyjne.

Semiwariogramy kierunkowe były wyznaczane na osiach anizotropii i dodatkowo na kierunkach różny wiatrów, w odstopniowaniu  $22,5^\circ$  na podstawie semiwariogramów powierzchniowych. Każdy z uzyskanych semiwariogramów kierunkowych zaklasyfikowywano do jednego z kilku opisanych w literaturze geostatystycznej i scharakteryzowanych poniżej typów.

Dla semiwariogramów kierunkowych, rozpoznanych jako semiwariogramy o klasycznym kształcie (Zawadzki i in., 2004a) (typ I semiwariogramu), można było dodatkowo ustalić model teoretyczny i jego podstawowe trzy parametry: zakres oddziaływania (*range*), próg (*sill*) i efekt samorodka (*nugget*). Parametry te interpretowano w podany poniżej sposób.

Zakres oddziaływania w semiwariogramie był interpretowany jako odległość pomiędzy środkami geometrycznymi oddziałów, powyżej której wartości stopni zagrożenia nie są skorelowane przestrzennie. Odległość równa zakresowi może stąd stanowić naturalną jednostkę odległości w przestrzennej dystrybucji stopni zagrożenia, wskazującą pośrednio na najniższą dopuszczalną gęstość zakładania prób monitoringowych.

Próg był interpretowany jako miara zmienności stopni zagrożenia dla tych wszystkich odległości pomiędzy miejscami monitoringu (środkami geometrycznymi oddziałów), dla których nie wystąpiła korelacja przestrzenna.

Efekt samorodka był interpretowany jako zmienność stopnia zagrożenia niezależna od odległości. Zmienność ta mogła wynikać z przyjęcia w analizach:

- uproszczonej do centroidu oddziału lokalizacji miejsca monitoringu owadów,
- średniej wartości zagrożenia dla przypadków kilku prób monitoringowych na obszarze jednego oddziału,

- naturalnej zmienności zagrożenia występującej na odległościach mniejszych niż odległości pomiędzy środkami geometrycznymi oddziałów.

Semiwariogramy kierunkowe, rozpoznane jako semiwariogramy nieposiadające wyraźnej struktury przestrzennej, umożliwiającej ich interpretację poprzez: zakres, próg i efekt samorodka, były równie wartościowym, jak semiwariogramy klasyczne, źródłem informacji o związkach przestrzennych, zachodzących pomiędzy liczbowo wyrażonymi stopniami zagrożenia drzewostanów.

Wśród tych semiwariogramów kierunkowych ważne z punktu widzenia celów analizy strukturalnej były semiwariogramy wskazujące na różne odmiany semiwariancji (Zawadzki i in., 2004a):

- z dominującym efektem samorodka (typ II), wskazujące na brak występowania istotnych korelacji przestrzennych (brak autokorelacji świadczy o niespełnieniu warunku postawionej hipotezy) w wartościach zagrożenia na badanym kierunku,
- wykazujące paraboliczny wzrost przebiegu semiwariogramu dla dużych odległości pomiędzy analizowanymi punktami, co może sugerować prawdopodobne występowanie trendu w analizowanym zbiorze wartości wskaźnika zagrożenia (typ III),
- charakteryzujące się szybkim wzrostem semiwariancji (czyli szybkim spadkiem korelacji przestrzennych) dla małych odległości pomiędzy analizowanymi punktami i liniowym (nie parabolicznym, jak dla typu III) wzrostem semiwariancji dla większych odległości, sugerując występowanie w danych na analizowanym kierunku wolno zanikających, słabych korelacji dla większych odległości pomiędzy punktami monitoringowymi (typ IV),
- o cechach periodyczności, wskazujące na wysoce prawdopodobne występowanie na określonym kierunku analizowanego obszaru lasu powtarzających się wzorów, utworzonych z rozmieszczonych w przestrzeni wartości stopni zagrożenia (typ V).

## Wyniki badań

Prezentowane w niniejszym opracowaniu analizy geostatystyczne umożliwiły dalszy wgląd w strukturę zależności przestrzennych dotyczących zróżnicowanego stopnia zagrożenia lasu na różnych kierunkach róży wiatrów w obszarze Puszczy, a szczególnie w jej fragmentach nazwanych centrami gradacyjnymi – obszarami, na których w okresie kilkudziesięciu ostatnich lat powtarzały się zjawiska gradacyjne.

Dla Puszczy Noteckiej zlokalizowane zostały duże obszary, na których powtarzają się w odstępach kilkunastu lat masowe wystąpienia szkodników, stwarzając w tych miejscach i w czasie poszczególnych etapów rozwoju masowego wystąpienia wysoki stopień zagrożenia lasu. Obszary te nazwane zostały centrami gradacyjnymi. Metodę wyznaczania centrów gradacyjnych przedstawiono w poprzednim rozdziale. Dla strzygoni choinówki lokalizację centrów gradacyjnych zaprezentowano na rysunku 1.

Na podstawie map częstotliwości występowania zagrożenia w stopniu co najmniej 2 wyróżniono 3 centra gradacyjne:

- region wschodni, obręby: Lubasz, Kiszewo i Obrzycko,
- region północny, obręb Potrzebowice,
- region zachodni, obręby: Rapin, Międzychód i Krobielewko.



Podkreślamy, że wyznaczenie obszarów centrów gradacyjnych bazuje na statystykach całej dostępnej bazy danych (Mozgawa i inni, 2006), pochodzącej z kilkudziesięciu lat obserwacji entomologicznych. Interpretacja przyrodnicza centrów gradacyjnych jest przede wszystkim taka, że w obrębie granic centrów z dużym prawdopodobieństwem położone są miejsca, gdzie rozpoczynają się procesy masowego rozrodu owadów.

Szczegółową analizę danych geostatystycznych dla centrów gradacyjnych strzygoni choinówki podczas rozwoju gradacji występującej w określonych latach kalendarzowych przedstawiono poniżej. Analiza wyraźnie wykazuje wysoką komplikację procesów czasowo-przestrzennych rozwoju gradacji strzygoni choinówki na obszarze Puszczy Noteckiej i interesujące odzwierciedlenie tych procesów w postaci semiwariogramów powierzchniowych i kierunkowych.

### Region północny

Powierzchniowy wykres semiwariogramu dla obszaru centrum gradacyjnego (rys. 2) w 1961 r. charakteryzuje się wyraźną anizotropią. Na podstawie semiwariogramów kierunkowych można wywnioskować, że długość obszaru, w którym stwierdzono duże stopnie zagrożenia, wynosiła w kierunku PnW-PdZ ok. 2400 m (rys. 2a), w kierunku W-Z – 3600 m (rys. 2b), a w kierunku PnZ-PdW – 1200–1800 m (rys. 2c).

W 1962 r. kształt semiwariogramu dla zagrożonego obszaru również charakteryzował się anizotropią (rys. 3), ale semiwariogramy kierunkowe wykazały różnice w rozmieszczeniu zagrożonych oddziałów. Większość oddziałów z wysokim stopniem zagrożenia ułożona była w kierunku PnW-PdZ i długość zagrożonego obszaru w tym kierunku wyniosła ok. 4800 m (rys. 3a). W kierunku Pn-Pd długość ta wyniosła ok. 2000 m (rys. 3b), a w kierunku PnZ-PdW – ok. 3000 m (rys. 3c).

### Region wschodni

Wschodnie centrum gradacyjne strzygoni choinówki w Puszczy Noteckiej pierwsze słabe sygnały o swoim istnieniu dawało już w 1950 i 1957 r., ale najbardziej uaktywniło się w 1962 roku. Zagrożenie w stopniu 2 i 3 obejmowało oddziały rozciągnięte w pasie o szerokości ok. 2400 m na odcinku ponad 13 km w kierunku PnZ-PdW (kąt nachylenia  $112^\circ$ , rys. 4a), ale zlokalizowane w małych grupach po kilka oddziałów. Analiza semiwariogramów kierunkowych pozwoliła określić, że grupy te miały wydłużony kształt z dłuższą stroną skierowaną dokładnie w kierunku PnZ-PdW (kąt nachylenia  $135^\circ$ ), a ich długość wyniosła ok. 3000 m (rys. 4b). Szerokość skupisk oddziałów (tzn. ich długość w kierunku PnW-PdZ z kątem nachylenia  $67,9^\circ$ ) wyniosła ok. 1800 m (rys. 4c).

Rok później gradacja skupiła się w jednym większym obszarze w środkowej części centrum gradacyjnego, czyli w zachodnich oddziałach obrębu Kiszewo (nadleśnictwo Oborniki), gdzie w tym samym roku liczebność strzygoni była ograniczana zabiegami chemicznymi. Zagrożony obszar również miał wydłużony kształt. Większa liczba oddziałów z wysokim stopniem zagrożenia była rozmieszczona w kierunku lekko odchylonym od kierunku północnego w stronę zachodu i długość skupiska takich oddziałów dochodziła maksymalnie do 3000 m (rys. 5a).

Szerokość zagrożonego obszaru wyniosła ok. 2400 m, ale w tym kierunku (kąt nachylenia  $87,5^\circ$ ) wartości charakteryzowały się dużą zmiennością (rys. 5b) z jej minimum w odle-

głości ok. 800 m, co wskazywałoby na niejednorodne rozmieszczenie zagrożonych oddziałów w ramach obszaru.

W 1988 roku gradacja strzygoni wystąpiła w kilku oddziałach z roku 1963, ale główne zagrożenie przesunęło się o około 8–10 km na wschód i występowało w kilku rozrzuconych oddziałach zachodniej części obrębu Oborniki. Rok później zagrożeniem objęte były prawie całe dwa wschodnie nadleśnictwa Puszczy: Oborniki i Krucz. Obecność dużej liczby blisko położonych oddziałów z wysokimi stopniami zagrożenia w centrum gradacyjnym podczas gradacji potwierdza semiwariogram, na którym wyraźnie widać brak zmienności pomiędzy punktami położonymi w różnych odległościach (rys. 6). W tym samym roku na znacznym obszarze występowania strzygoni we wschodnim centrum gradacyjnym przeprowadzono skuteczne zabiegi zwalczania.

Ponowne wystąpienie zagrożenia w omawianym centrum gradacyjnym nastąpiło w 2000 roku i koncentrowało się głównie w północno-zachodniej jego części, aby po zabiegach zwalczania rozproszyć się w następnym roku na północną i zachodnią część Puszczy (odległość przemieszczenia ogniska gradacyjnego wynosiła około 3–5 km). Na podstawie semiwariogramu dla 2000 r. można stwierdzić, że punkty o podobnych stopniach zagrożenia leżały w odległości ok. 3000 m wzdłuż dłuższej strony pasa, chociaż nawet w odległości do 6000 m nie stwierdza się dużych różnic w wartościach zmienności (rys. 7a). W węższej stronie pasa oddziały o podobnych zagrożeniach leżały w odległościach do ok. 3000 m (rys. 7b).

### **Region zachodni**

Zachodnie centrum gradacyjne po raz pierwszy (w badanym okresie) ujawniło się w 1947 i 1950 roku, stwarzając lokalne zagrożenie w zachodnich oddziałach obrębu Międzychód. Drugi raz dało znać o sobie w 1957 roku, gdy wysokie zagrożenie zaobserwowano w większości oddziałów tego centrum. W 1962 roku zagrożenie ponownie wystąpiło na tych samych terenach. Większość zagrożonych oddziałów była ułożona w kierunku północ-południe z lekkim przechyleniem w zachodnią stronę (rys. 8), a stopnie zagrożenia charakteryzowały się słabą zmiennością pomiędzy punktami leżącymi nawet w odległości ok. 4800 m.

W roku 2000 centrum gradacyjne znów się uaktywniło, lecz zagrożony obszar „przemieścił się” na południowy wschód o około 5-10 km od oddziałów zagrożonych w 1957 i 1962 roku. Jak wykazuje semiwariogram kierunkowy (rys. 9a), oddziały o podobnych, wysokich stopniach zagrożenia były zgrupowane w pasie ułożonym dłuższą stroną w kierunku PnW-PdZ (kąt nachylenia ok. 71°), a odległości między takimi oddziałami przekraczały 6000 m. W prostopadłym kierunku pas ten miał mniejszy zasięg i jego długość wyniosła ok. 2000 m (rys. 9b).

### **Uwagi końcowe**

W badaniach nad wyznaczaniem kierunków rozprzestrzeniania się i zasięgów gradacji najważniejszych foliofagów sosny na obszarze Puszczy Noteckiej (Mozgawa i inni, 2006) zastosowano generalne podejście metodyczne do analiz procesów populacyjnych, które wykorzystywało w maksymalnym stopniu wiedzę ekspercką, w zakresie merytorycznej znajomości procesów przyrodniczych. Podejście to sprowadzało się do przetwarzania geometryczno-opisowej bazy danych o zjawiskach populacyjnych do postaci map tematycznych,

zestawień statystycznych i diagramów analiz geostatystycznych, a następnie interpretacji wyników wyżej wymienionych przetworzeń w kategoriach procesów populacyjnych.

Podjęta w niniejszym opracowaniu próba wykorzystania analiz geostatystycznych miała na celu zrealizowanie dwóch celów. Po pierwsze chodziło o ocenę, czy wyselekcjonowane narzędzia geostatystyczne, przede wszystkim kształt i parametry semiwariancji kierunkowych, umożliwią rozpoznanie charakteru związków przestrzennych w stopniach nasilenia procesów populacyjnych na obszarach centrów gradacyjnych. Po drugie, liczone na możliwość wykorzystania miar semiwariogramów, szczególnie zakresu semiwariogramu, do ustalenia minimalnej gęstości zakładania prób monitoringowych.

Wielokierunkowa analiza semiwariogramów kierunkowych dla strzygoni, wykazała bardzo dużą ich zmienność, generalnie wzrastającą wraz z latami kalendarzowymi, w których występowały gradacje. W materiale doświadczalnym stwierdzono wszystkie typy semiwariogramów, na podstawie których można wnioskować o cechach związków przestrzennych występujących na różnych kierunkach (azymutach) centrów gradacyjnych.

Niewielki procent wszystkich przeanalizowanych semiwariogramów posiadał charakterystyczny kształt dla semiwariogramów klasycznych, które umożliwiają dokładne ich modelowanie, a w następnym kroku – wyznaczenie ich parametrów, w tym ważnego dla celów praktycznych (dla ustalenia gęstości prób monitoringowych) zakresu.

### Literatura

- Frańcek W., 2007: Optymalizacja gęstości sieci pomiarowej stężeń ozonu w lasach górskich z zastosowaniem GIS-u. Rozprawa doktorska, WL SGGW.
- Instrukcja Ochrony Lasu (kolejne edycje z okresu 1946–2005).
- Johnson K., Ver Hoef J., Krivoruchko K., Lucas N., 2001: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, Redlands, USA.
- Lupikasza E., 2007: Metody analiz przestrzennych w badaniu zmienności opadów w Europie. *Roczniki Geomatyki*, Tom V, Zeszyt 1, s. 71-80. PTIP, Warszawa.
- Mozgawa J., 2006: Wybrane propozycje do budowy aplikacji użytkowych wykorzystujących SIP. III Konferencja SIP w Lasach Państwowych „Stan i perspektywy wdrażania leśnej mapy numerycznej”. Rogów 11-13 września 2006 r., [http://www.lasypanstwowe.gov.pl/sip/Konfer2006/Program2006\\_1.htm](http://www.lasypanstwowe.gov.pl/sip/Konfer2006/Program2006_1.htm)
- Mozgawa J., Tracz W., Kamińska G., Kolk A., Sukovata L., 2006: Zastosowanie SIP do wyznaczania ognisk gradacyjnych ważniejszych szkodników liściożernych sosny na przykładzie Puszczy Noteckiej. *Roczniki Geomatyki*, Tom IV, Zeszyt 4, s.75-82. PTIP, Warszawa.
- Namysłowska-Wilczyńska B., 2007: Analizy przestrzenne z zastosowaniem metod geostatystycznych. *Roczniki Geomatyki*, Tom V, Zeszyt 1, s. 91-103. PTIP, Warszawa.
- Zawadzki J., 2005: Wykorzystanie metod geostatystycznych w badaniach środowiska przyrodniczego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Zawadzki J., Cieszewski Ch. J., Zasada M., 2004a: Wykorzystanie metod geostatystycznych do klasyfikacji ekosystemów leśnych przy użyciu technik satelitarnych. *Sylvan* 2, s. 36-51.
- Zawadzki J., Cieszewski Ch. J., Zasada M., 2004b: Zastosowanie metod geostatystycznych do wyznaczania cech taksacyjnych i parametrów biofizycznych lasów technikami teledetekcyjnymi. *Sylvan* 3, s. 51-62.
- Zawadzki J., Cieszewski Ch. J., Zasada M., Lowe R. 2006. Applying geostatistics for investigations of forest ecosystems using remote sensing imagery. *Sylva Fennica* 39 (4), pp. 1-19.

**Summary**

*In the paper, proposals of geostatistical processing of space and time data for analysis of gradation phenomena of one of the most dangerous primary vermins of pine trees - pine noctuid.*

*In the Notecka primary forest areas called gradation centers were located, where at the intervals of a dozen years or so mass outbreak foci of the vermin appear creating in this place and during subsequent stages of development of the outbreak foci a high degree of danger for the forest.*

*Basic geostatistical measure of spatial continuity – semivariance and its visualization on a graph called semivariogram were used with the aim to identify spatial structure of the degree of the threat posed by the pine noctuid for the forest. A special type of semivariance, so called surface semivariance was used. Surface semivariograms were used as information source about the strength of spatial correlation and types of semivariance appearing on any directions (azimuths) fixed for outbreak loci in subsequent stages of their development.*

*The analysis of geostatistical data for gradation centers of pine noctuid explicitly show high complication of time and space processes in the development of outbreak loci.*

prof. zw. dr hab. Jerzy Mozgawa  
Jerzy.Mozgawa@wl.sggw.waw.pl

dr inż. Wiktor Tracz  
wiktor.tracz@wl.sggw.pl

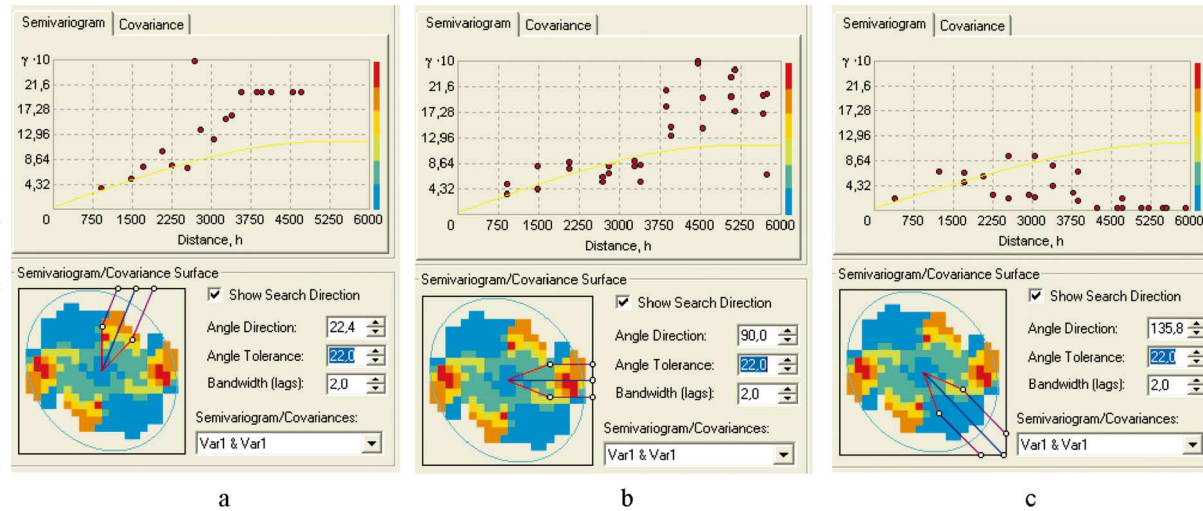
dr inż. Grażyna Kamińska  
Grażyna.kaminska@wl.sggw.pl

doc. dr hab. Andrzej Kolk  
A.Kolk@ibles.wew.pl

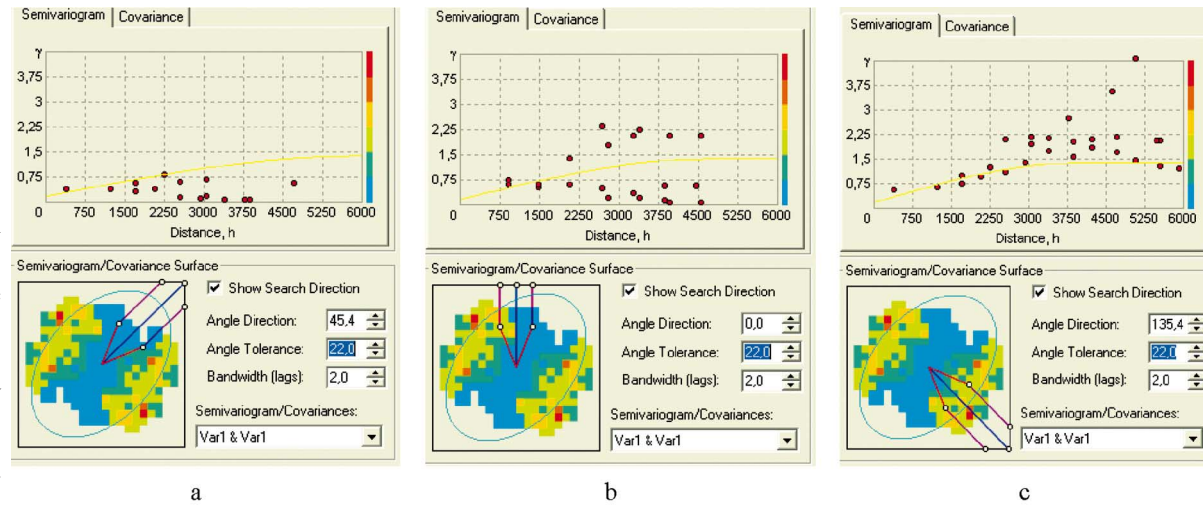
dr inż. Lidia Sukovata  
L.Sukowata@ibles.waw.pl

## Region północny

**Rys. 2.** Semiwariogramy dla centrum gradacyjnego strzygoni choinówki w regionie północnym Puszczy Noteckiej w 1961 r. w kierunkach: z północnego wschodu na południowy zachód (a), wschód-zachód (b) i z północnego zachodu na południowy wschód (c)



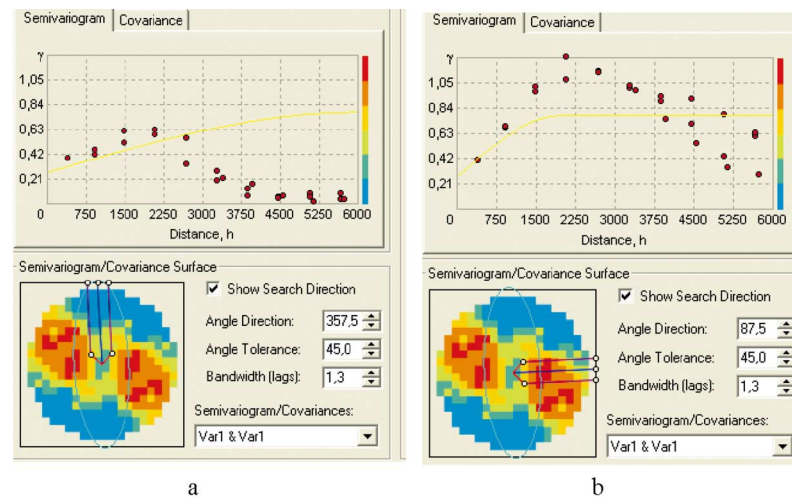
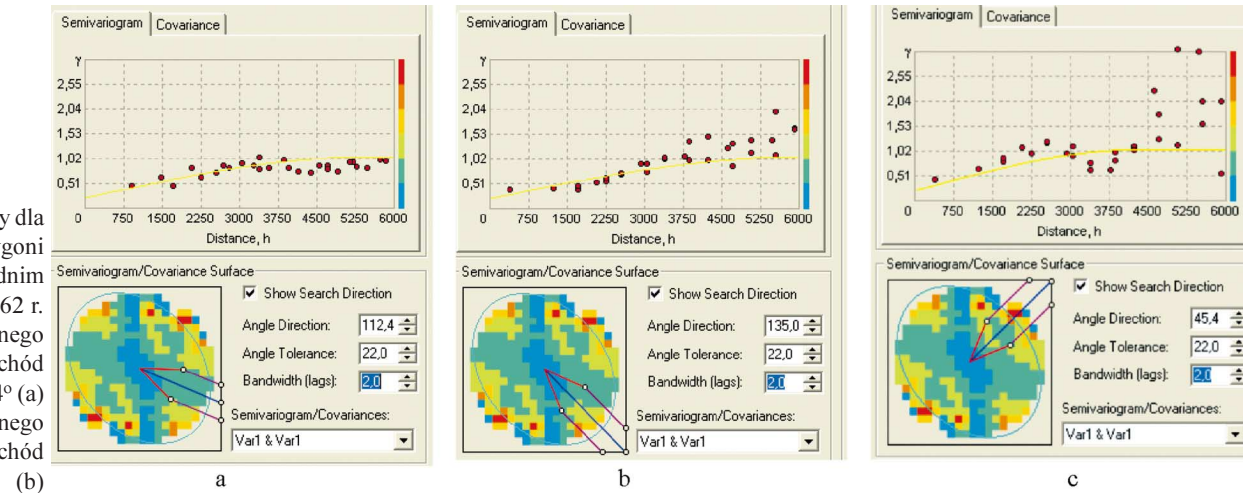
**Rys. 3.** Semiwariogramy dla centrum gradacyjnego strzygoni choinówki w regionie północnym Puszczy Noteckiej w 1962 r. w kierunkach: z północnego wschodu na południowy zachód (a), z północy na południe (b) i z północnego zachodu na południowy wschód (c)





## Region wschodni

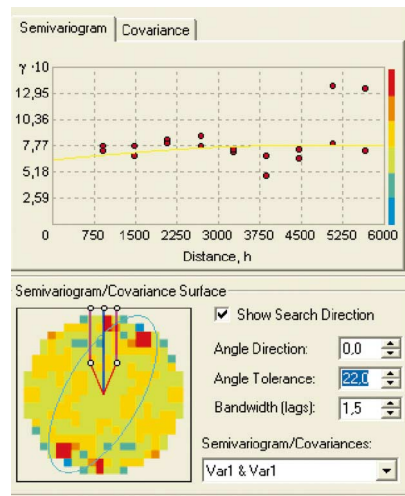
**Rys. 4.** Semiwariogramy dla centrum gradacyjnego strzygoni choinówki w regionie wschodnim Puszczy Noteckiej w 1962 r. w kierunkach: z północnego zachodu na południowy wschód z kątem nachylenia  $112,4^\circ$  (a) i  $135^\circ$  (b) oraz z północnego wschodu na południowy zachód



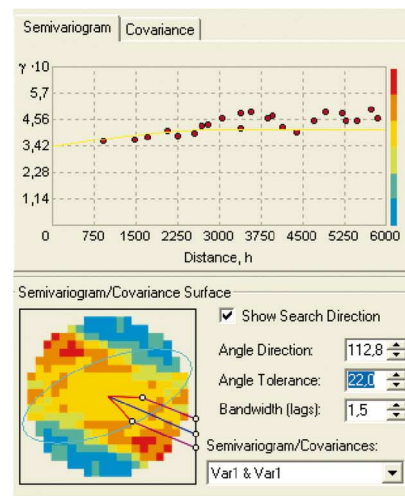
**Rys. 5.** Semiwariogramy dla centrum gradacyjnego strzygoni choinówki w regionie wschodnim Puszczy Noteckiej w 1963 r. w kierunkach: z północnego zachodu na południowy wschód z kątem nachylenia  $357,5^\circ$  (a) i z północnego wschodu na południowy zachód z kątem  $87,5^\circ$  (b)



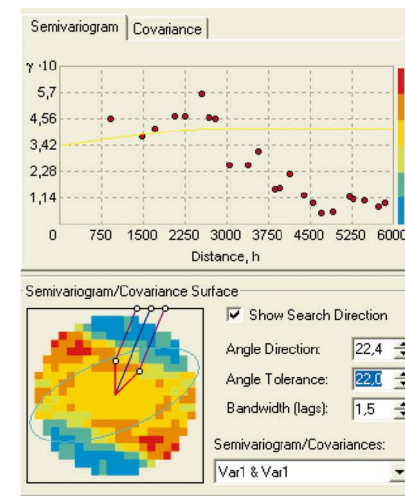
## Region wschodni



**Rys. 6.** Semiwariogram dla centrum gradacyjnego strzygoni choinówki w regionie wschodnim Puszczy Noteckiej w 1989 r.



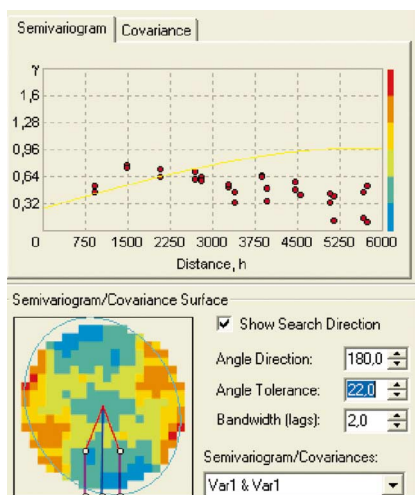
a



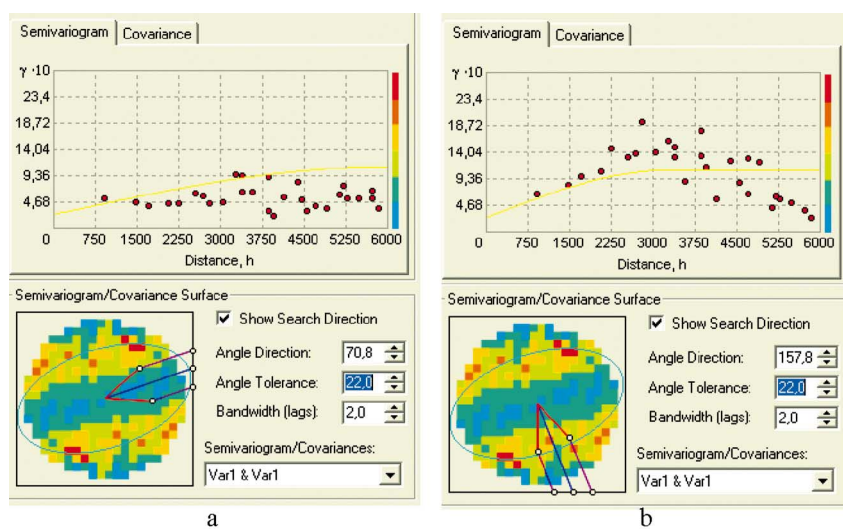
b

**Rys. 7.** Semiwariogramy dla centrum gradacyjnego strzygoni choinówki w regionie wschodnim Puszczy Noteckiej w 2000 r. w kierunkach: północny zachód – południowy wschód z kątem nachylenia 112,8° (a) i północny wschód – południowy zachód z kątem 22,4° (b)

## Region zachodni



**Rys. 8.** Semiwariogram dla centrum gradacyjnego strzygony choinówki w regionie zachodnim Puszczy Noteckiej w 1962 r. w kierunku północ – południe



**Rys. 9.** Semiwariogram dla centrum gradacyjnego strzygony choinówki w regionie zachodnim Puszczy Noteckiej w 2000 r. w kierunkach: północny wschód – południowy zachód z kątem  $70,8^\circ$  (a) i północny zachód – południowy wschód z kątem nachylenia  $157,8^\circ$  (b)