

Andrzej Nienartowicz, Mieczysław Kunz, Dominik Domin

*Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi*

## **PORÓWNANIE STRUKTURY KRAJOBRAZU NA OBSZARACH INTENSYWNEJ I EKOLOGICZNIE ZRÓWNOWAŻONEJ GOSPODARKI LEŚNEJ**

### **The comparison of landscape structure in the area of intensive and sustainable forest economy**

Zastosowano technologię GIS i metody teledetekcji satelitarnej do oceny i porównań znormalizowanego wskaźnika wegetacji (NDVI), różnorodności i fragmentacji dwóch obszarów leśnych o różnym użytkowaniu w XIX wieku i różnej intensywności pozyskiwania drewna w ostatnich latach. Oba kompleksy leśne zlokalizowane są w Zaborskim Parku Krajobrazowym w województwie pomorskim. Pierwsze stanowisko (M) obejmuje lasy odtworzone w końcu XIX stulecia poprzez nasadzenia sosny na byłych pastwiskach i gruntach ornych. W wyniku intensywnego użytkowania lasów znaczną część terenu zajmują zręby i kilkunastoletnie uprawy sosnowe. Drugie stanowisko (P) obejmuje teren leśny w przeszłości nie użytkowany rolniczo, na którym od kilkunastu lat ograniczono pozyskiwanie drewna, a w 1996 roku utworzono Park Narodowy Bory Tucholskie. Strukturę krajobrazu porównano na pięciu powierzchniach badawczych (około 150 ha lub 500 ha każda) na stanowisku M i czterech powierzchniach o podobnych rozmiarach na stanowisku P. W analizie użyto zdjęcie satelitarne z 28 lipca 1990 roku oraz program Idrisi 32. Stwierdzono, że powierzchnie na stanowisku M charakteryzują się niższymi wartościami NDVI, ale wyższą różnorodnością i fragmentacją, niż powierzchnie zlokalizowane na obszarze dzisiejszego parku narodowego. Znaczne różnice w strukturze krajobrazu na stanowisku obejmującym lasy intensywnie użytkowane i na obszarze lasów o ograniczonym pozyskiwaniu drewna wykazano też metodami klasyfikacji i ordynacji numerycznej.

## **1. WPROWADZENIE**

Na strukturę krajobrazu leśnego w znacznym stopniu wpływa intensywność produkcji i sposób pozyskiwania drewna. Spośród technologii stosowanych w leśnictwie przy zbiorze produktu głównego największe zmiany w strukturze krajobrazu powodują zręby zupełne. W wyniku ich stosowania i ponownego odtwarzania ekosystemu leśnego następuje wzrost różnorodności wiekowej drzewostanów pomiędzy pododdziałami leśnymi i znaczny spadek tego parametru wewnątrz poszczególnych wydzieleń. Ponieważ do niedawna przy odnawianiu

lasów na porębach stosowano zazwyczaj jeden gatunek drzewa, tj. sosnę zwyczajną, jednocześnie następuje spadek różnorodności gatunkowej, zarówno w poszczególnych pododdziałach, jak i w całym kompleksie leśnym. Ponadto na obszarach leśnych zręby przyczyniają się do wzrostu fragmentacji krajobrazu, zaś w wyniku wprowadzania sosny następuje spadek jakości siedliska.

W ostatnich latach opublikowano sporo prac dotyczących zmian struktury krajobrazu w wyniku gospodarczej działalności człowieka. Porównania takie przeprowadzane są zarówno w czasie jak i w przestrzeni. Bardzo często przedmiotem porównań są obszary leśne a celem tych prac jest ocena wpływu stosowania różnych zabiegów gospodarczych jak wprowadzanie linii oddziałowych, dróg leśnych, zrębów, a także czynników naturalnych jak wiatr czy ogień na różnorodność i heterogenność krajobrazu. Ocen jakości siedlisk i struktury krajobrazu zazwyczaj dokonuje się z pałapu lotniczego satelitarnego.

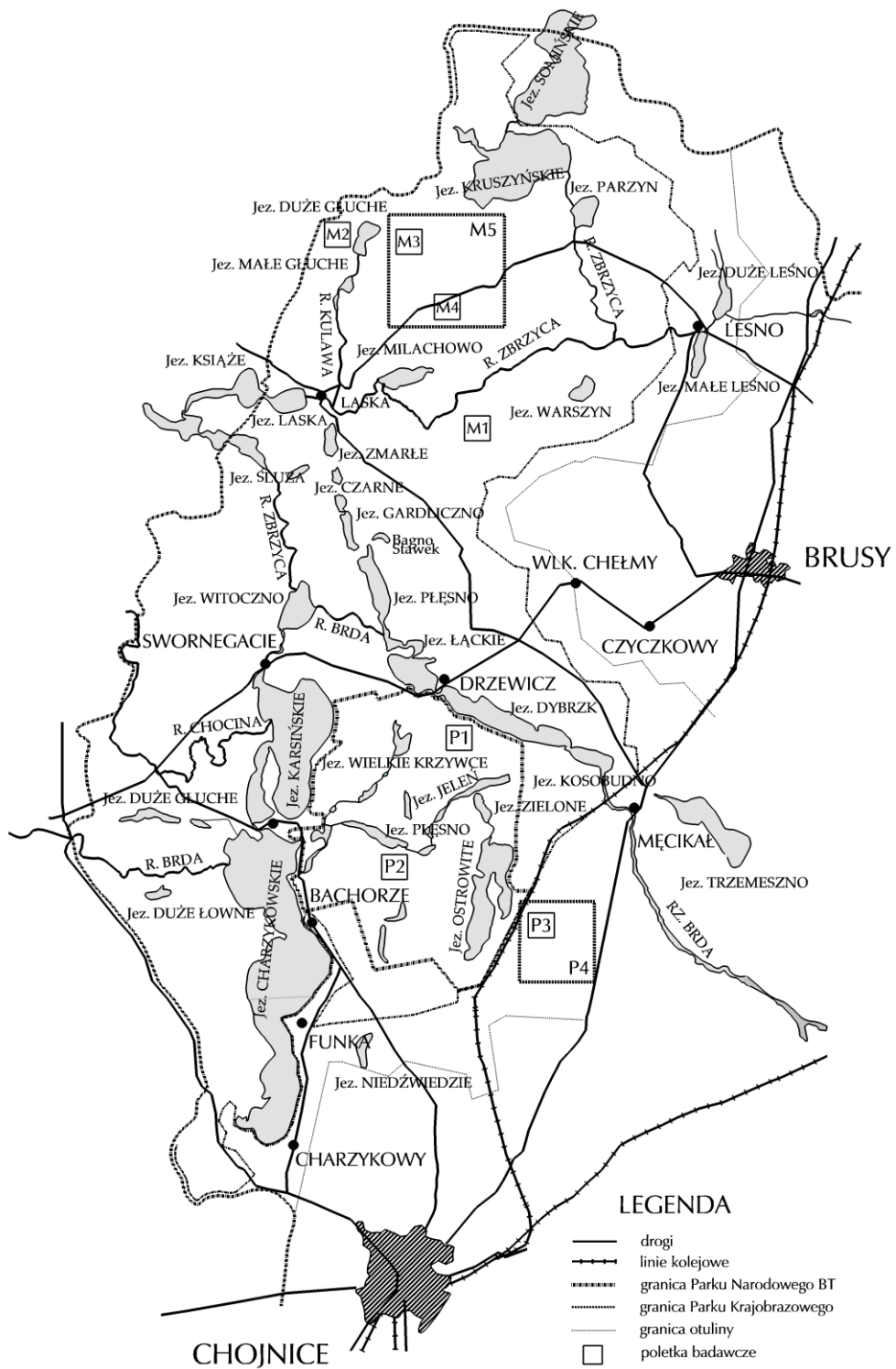
Niniejsza praca przedstawia zastosowanie metod teledetekcji satelitarnej do określenia wpływu zabiegów gospodarczych stosowanych w leśnictwie na jakość siedliska i wzorzec przestrzenny (*pattern*) krajobrazu. Wpływ działalności człowieka określono poprzez porównanie dwóch obszarów leśnych, na których w ostatnich latach stosowano zręby zupełne z różną intensywnością. Jeden to obszar intensywnej gospodarki leśnej, drugi to teren obecnego Parku Narodowego „Bory Tucholskie”, gdzie na kilka lat przed wprowadzeniem tej formy ochrony w znacznym stopniu pozyskanie drewna metodą zrębów zupełnych. Porównań jakości siedlisk i struktury krajobrazu dokonano na podstawie wskaźników NDVI, różnorodności i fragmentacji. Analizy przeprowadzono w ramach grantu KBN P04F 01313.

## 2. TEREN BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone głównie w Zaborskim Parku Krajobrazowym, położonym w pld. części województwa pomorskiego, na zachód od miasta Brusy (rys. 1). W 1996 r. w południowej części Zaborskiego Parku Krajobrazowego, która należy do gminy Chojnice, utworzony został Park Narodowy "Bory Tucholskie". Obszar parku narodowego jest niewielki, ponieważ rady innych gmin nie wyraziły zgody na objęcie ich terenów tą formą ochrony.

Rozległe kompleksy leśne obszaru badań wchodzą w skład Nadleśnictw Przymuszewo (obręby Przymuszewo i Laska) oraz Ryteł (obręb Klosnowo) Rejonowej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu.

Badania przeprowadzono na dwóch obszarach: w Nadleśnictwie Przymuszewo, w północnej części Zaborskiego Parku Krajobrazowego (stanowisko M) oraz na terenie, który dziś wchodzi w skład Parku Narodowego Bory Tucholskie (stanowisko P). Na pierwszym stanowisku panują dziś suche i świeże bory sosnowe (Sokołowski, 1965). Powstały one w wyniku zalesiania poręb, często żyźniejszych siedlisk leśnych i gleb użytkowanych rolniczo, monokulturami sosny. Znaczną powierzchnię zajmuje też zbiorowisko *Pinus-Calluna*, które wytworzyło się przez



Rys. 1. Teren badań (M – obszar lasów intensywnie użytkowanych, P – teren Parku Narodowego „Bory Tucholskie”)

zalesienie wrzosowisk i muraw wykorzystywanych w przeszłości do wypasu owiec (Boiński, 1988). Resztki lasów liściastych - grądów, buczyn, kwaśnych dąbrów i olsów zachowały się na niewielkich powierzchniach w dolinach licznych tu jezior i rzek. Znaczny obszar zajmują natomiast postacie degeneracyjne grądów i buczyn – chojniaki sosnowe ze śmiałkiem pogiętym *Deschampsia flexuosa* (Boiński, 1988). Na obszarze parku narodowego dominującym typem lasu jest bór świeży typowy. Teren ten w przeszłości nie był wykorzystywany rolniczo. Na obu stanowiskach występuje wiele jezior, w pobliżu których na niewielkich powierzchniach występują też bory wilgotne (zbiorowisko *Pinus-Molinia*) i bory bagienne (*Vaccinio uliginosi - Pinetum*).

Pierwsze stanowisko to obszar intensywnej produkcji drewna. Na początku lat dziewięćdziesiątych drewno pozyskiwane tu było metodą czystych zrębów. W ostatnich kilku latach po wprowadzeniu nowych zasad hodowli lasu zręby takie stosowane są na mniejszą skalę, a jeśli są stosowane to zazwyczaj pozostawia się na nich kępy drzew nasiennych.

Na obszarze leśnym P, na którym w 1996 roku utworzono park narodowy, już od połowy lat osiemdziesiątych ograniczono pozyskanie drewna. W związku z tym nie występowały tu powierzchnie zrębowe a wiek monokultur sosnowych był wyższy niż na stanowisku M.

Szczegółowe analizy NDVI, różnorodności i fragmentacji na obu stanowiskach przeprowadzono na mniejszych powierzchniach badawczych, obejmujących po sześć oddziałów leśnych (tj. po około 150 ha każda) i na powierzchniach większych, które tworzyło 21 oddziałów leśnych (około 500 ha). Powierzchniami badawczymi były obszary na wysoczyznach, na których nie występowały większe ekosystemy wodne.

Na stanowisku M wyznaczono cztery mniejsze i jedną dużą powierzchnię badawczą. Były one zlokalizowane w następujących miejscach:

- powierzchnia M1 w pobliżu miejscowości Rolbik, gdzie były majątki ziemskie po II wojnie światowej w zostały znacjonalizowane, zalesione i włączone do lasów państwowych,
- powierzchnia M2 – najdalej wysunięta na północ spośród wszystkich powierzchni badawczych, zlokalizowana w pobliżu terenów rolniczych wsi Zapceń, na równinie sandrowej, pomiędzy dolinami rzek Kłonecznicy i Kulawej,
- powierzchnia M3 – położona na wysoczyźnie na wschód od doliny jeziora Duże Głuche i przepływającej przez nie rzeki Kulawej,
- powierzchnia M4 położone na północ od jeziora Milachowo, na terenie byłego polskiego majątku ziemskiego, który w 1890 roku został sprzedany pruskiej administracji leśnej i włączony do Nadleśnictwa Zwangshof,
- powierzchnia M5 (ok. 500 ha) obejmująca teren wyżej wymienionego majątku ziemskiego i tereny przyległe.

Na stanowisku P wyznaczono cztery powierzchnie, trzy mniejsze i jedną dużą. Ich lokalizacja była następująca:

- powierzchnia P1 – położona na terenie dzisiejszego parku narodowego, tuż przy jego granicy, obejmująca pasy przeciwpożarowe i ze względu na częściowe

- odlesienie nawiązująca strukturą do powierzchni zlokalizowanych na stanowisku M,
- powierzchnia P2 – położona na płd-wsch. od jeziora Płesno i w pobliżu jeziora Gacno Wielkie,
  - powierzchnie P3 (ok. 150 ha) i P4 (ok. 500 ha) – położone na wschód od jeziora Ostrowite w pobliżu leśniczówki Dębowa Góra, w bezpośredniej otulinie parku narodowego.

### 3. METODA BADAŃ

Zmienność przestrzenną struktury krajobrazu obszaru Zaborskiego Parku Krajobrazowego badano w oparciu o zdjęcie satelitarne Landsat TM wykonane 28 lipca 1990 r. z rozdzielczością 30 m. W analizie obrazu wykorzystano program Idrisi 32. Dla każdej z dziewięciu powierzchni badawczych obliczono wskaźnik NDVI poszczególnych pikseli. Określono też średnią wartość NDVI, zakres jego zmienności i odchylenie standardowe. Całkowity teoretyczny zakres zmienności NDVI od -1 do +1 przeskalowano na 256 klas, którym przypisano liczby od 1 do 255. Dla każdej powierzchni badawczej obliczono frekwencję i procentowy udział pikseli w każdej klasie oraz sporządzono histogramy. Badane powierzchnie porównano pod względem zmienności NDVI metodami taksonomii numerycznej. Klasyfikację przeprowadzono metodą *average linkage clustering* (Orlóci, 1978), stosując odległość euklidesową jako miarę różnic pomiędzy powierzchniami. Ordynację przeprowadzono metodą składowych głównych. Jako cech porównywanych obiektów użyto frekwencję (wyrażoną w procentach) w 256 klasach wartości NDVI. W obliczeniach zastosowano program MVSP (Kovach, 1993).

Różnorodność i fragmentację poszczególnych powierzchni badawczych obliczono wyznaczając w ich obrębie kwadraty obejmujące różną liczbę pikseli. Zastosowano trzy wielkości kwadratów: 3x3; 5x5 i 7x7 pikseli (rys. 2).

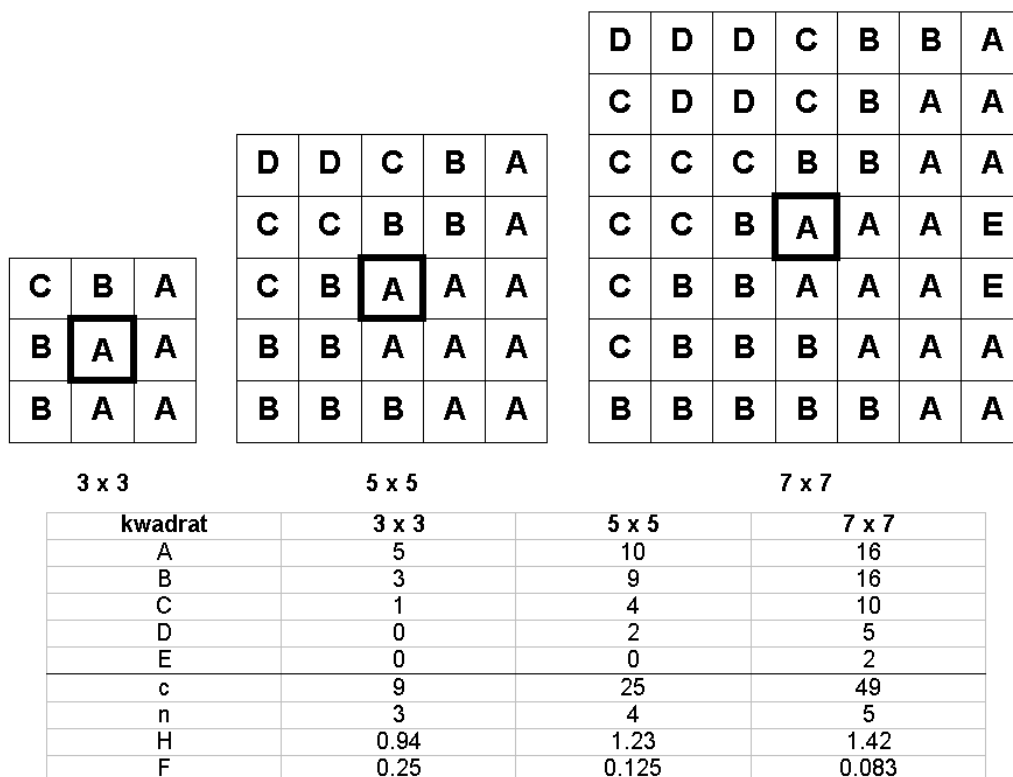
Różnorodność obliczono stosując wzór Shannona:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

gdzie  $p_i$  oznacza udział  $i$  – tej klasy pikseli ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ),  $n$  – liczbę kategorii pikseli w kwadracie. Fragmentację obliczono według wzoru:

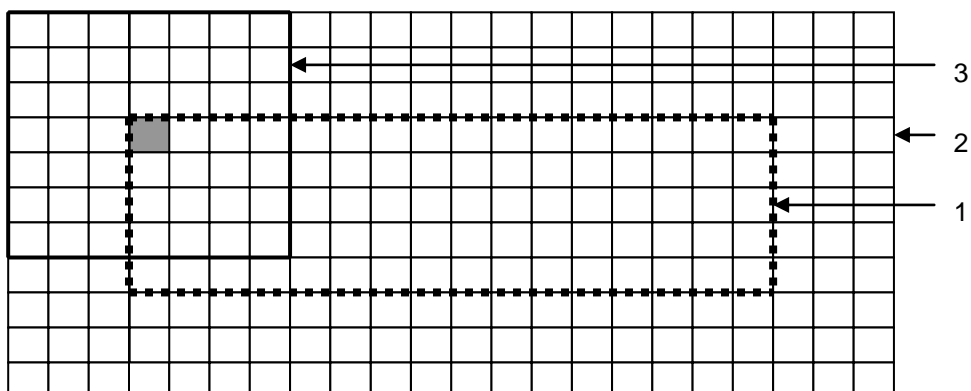
$$F = (n - 1)/(c - 1),$$

gdzie  $n$  oznacza, podobnie jak we wzorze poprzednim, liczbę kategorii pikseli, zaś  $c$  – liczbę pikseli w kwadracie (9, 25 lub 49). Sposób wykonywania obliczeń przedstawia rys. 2. Szczegółowy opis powyższych metod podali Monmonier (1974), Murphy (1985) i Turner (1989).



Rys. 2. Stosowane wielkości kwadratów oraz sposób obliczania różnorodności i fragmentacji (A, B, C, D, E – kategorie pikseli)

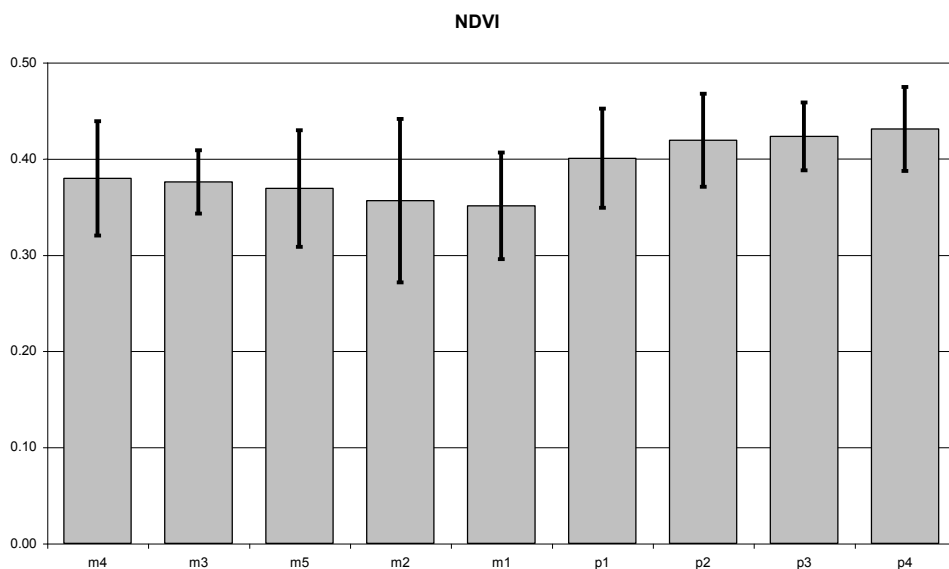
Każdą powierzchnię charakteryzowały średnie wartości  $H$  oraz  $F$ . Były to średnie arytmetyczne z wartości uzyskanych dla zbioru kwadratów, których środkowym polem był kolejno każdy piksel rozpatrywanej powierzchni. Przy postępowaniu według tego schematu dla pikseli położonych przy brzegach powierzchni badawczej wyznaczone kwadraty 3x3, 5x5, 7x7 obejmowały również piksele położone poza obszarem badań. W celu zachowania jednakowego sposobu obliczeń dla wszystkich kwadratów powierzchni badawczej w analizach różnorodności i fragmentacji uwzględniono dodatkowo po trzy szeregi pikseli leżących na zewnątrz każdego boku analizowanego obszaru (rys. 3). Takie postępowanie było zgodne z sugestiami dotyczącymi powyższej metody, które podali Upton i Fingleton (1985) oraz Hauser i Mucina (1991).



Rys. 3. Przykład analizy brzeżnych pikseli powierzchni badań przy zastosowaniu wielkości kwadratów 7x7 (1 – granica powierzchni badawczej, 2 – granica zewnętrznego pasa pikseli dodatkowych, 3 – bok kwadratu 7x7 pikseli)

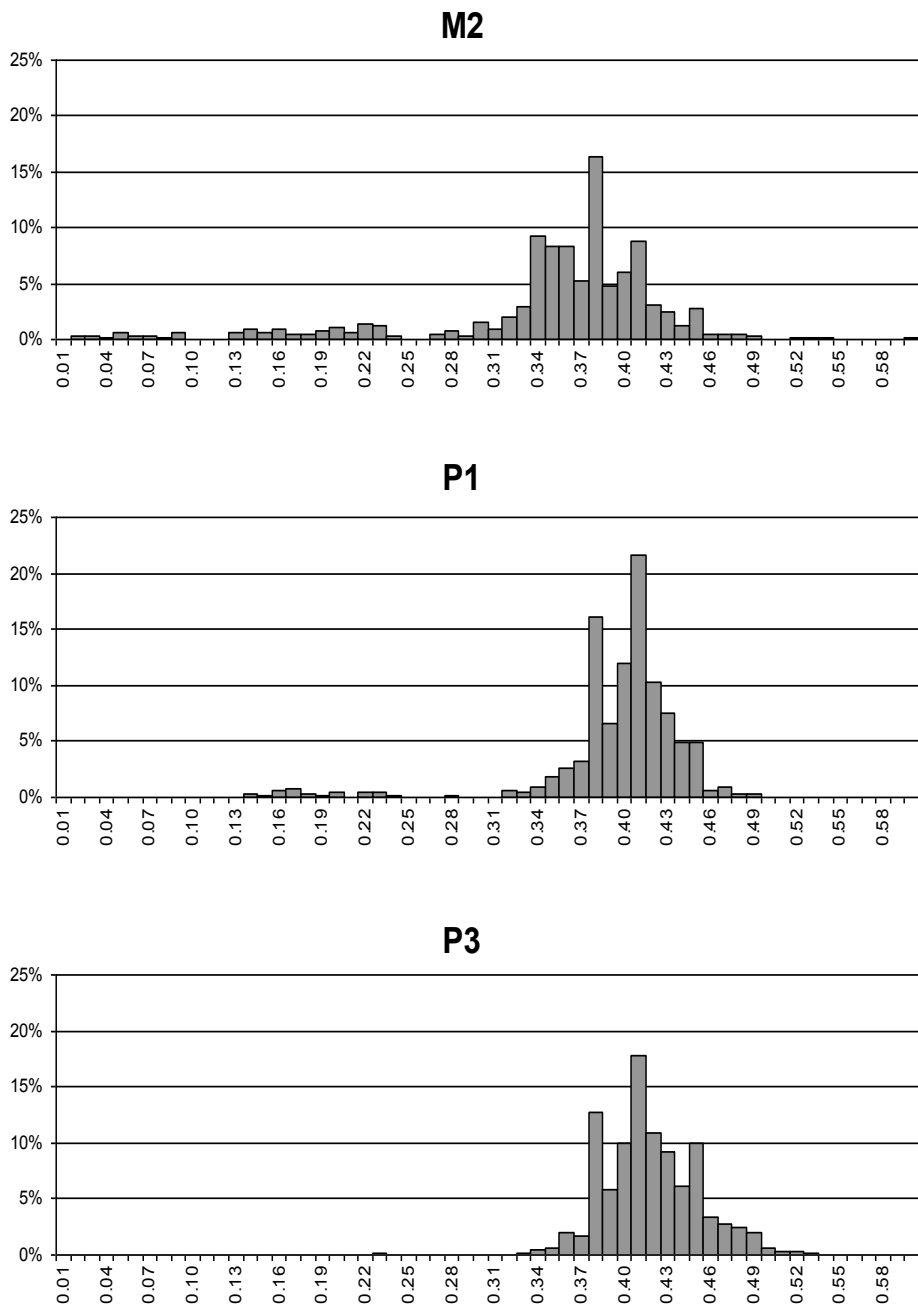
#### 4. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych porównań stwierdzono, że powierzchnie zlokalizowane na obszarze parku narodowego odznaczają się wyższymi wartościami NDVI niż powierzchnie obejmujące lasy intensywnie użytkowane (rys. 4). Na obszarze o wysokim statusie ochrony NDVI przekracza nieco wartości 0,4. Na wszystkich powierzchniach obejmujących lasy w których prowadzi się intensywną produkcję drewna średnia wartość NDVI nie przekracza tej wartości. Ponadto powierzchnie zlokalizowane poza parkiem narodowym odznaczają się większą zmiennością wskaźnika.



Rys. 4. Średnia wartość NDVI i błąd standardowy na dziewięciu powierzchniach

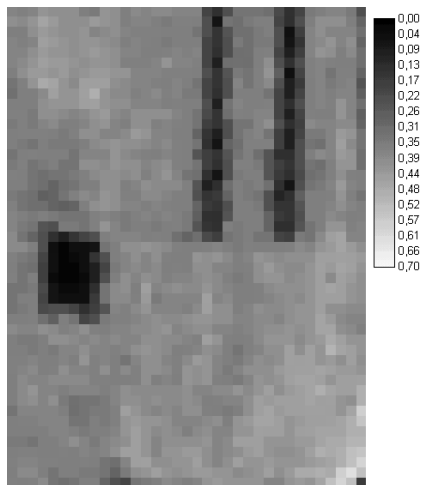
Na rys. 5 zaznaczono rozkład frekwencji NDVI dla powierzchni M2, która charakteryzowała się największą zmiennością spośród dziewięciu porównywanych obiektów oraz powierzchni P3, której NDVI obejmował najmniejszą liczbę klas. Na rysunku tym zaznaczono również histogram powierzchni P1.



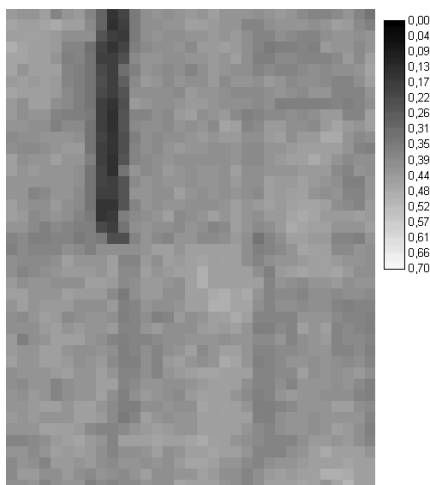
Rys. 5. Rozkład częstości NDVI dla trzech wybranych powierzchni badawczych



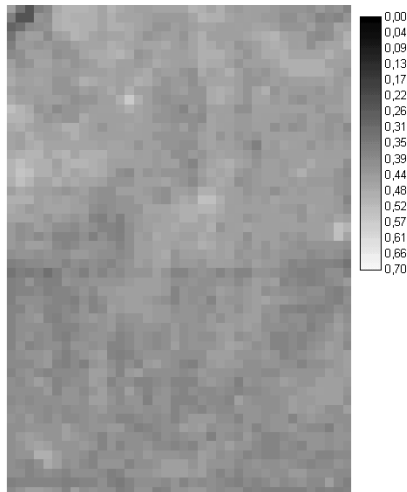
Miała ona charakter pośredni i chociaż zlokalizowana była na obszarze parku narodowego to zmienność przestrzenna NDVI była na niej znaczna. Powierzchnia ta leżała na skraju dzisiejszego parku narodowego i obejmowała linie przeciwpożarowe. Ponieważ z pasów tych drzewa były stale usuwane, zaznaczały się znaczne różnice stanów biomasy, a w konsekwencji i NDVI, pomiędzy różnymi częściami powierzchni P1. Rozkład przestrzenny znormalizowanego wskaźnika wegetacji dla trzech opisanych powierzchni przedstawiają rys. 6-8.



Rys. 6. Zmienność przestrzenna NDVI na powierzchni M2

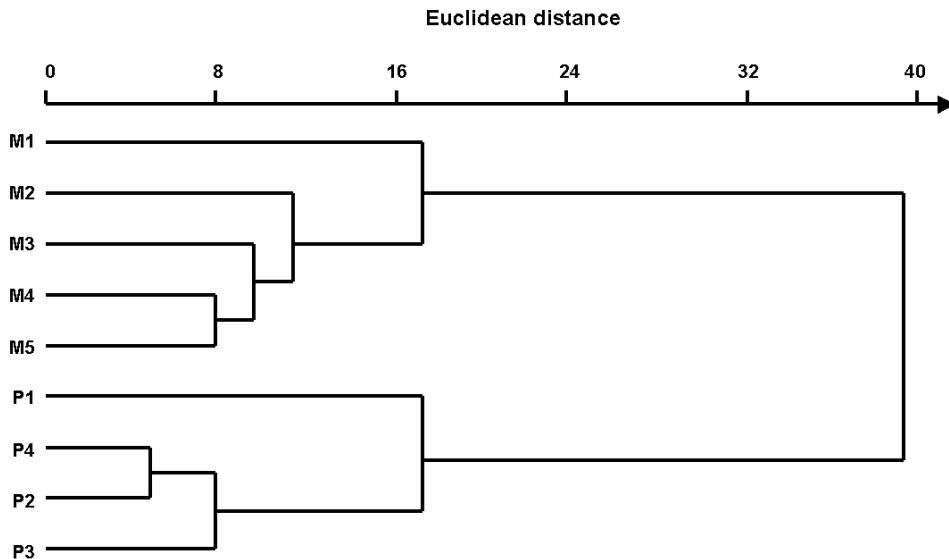


Rys. 7. Zmienność przestrzenna NDVI na powierzchni P1



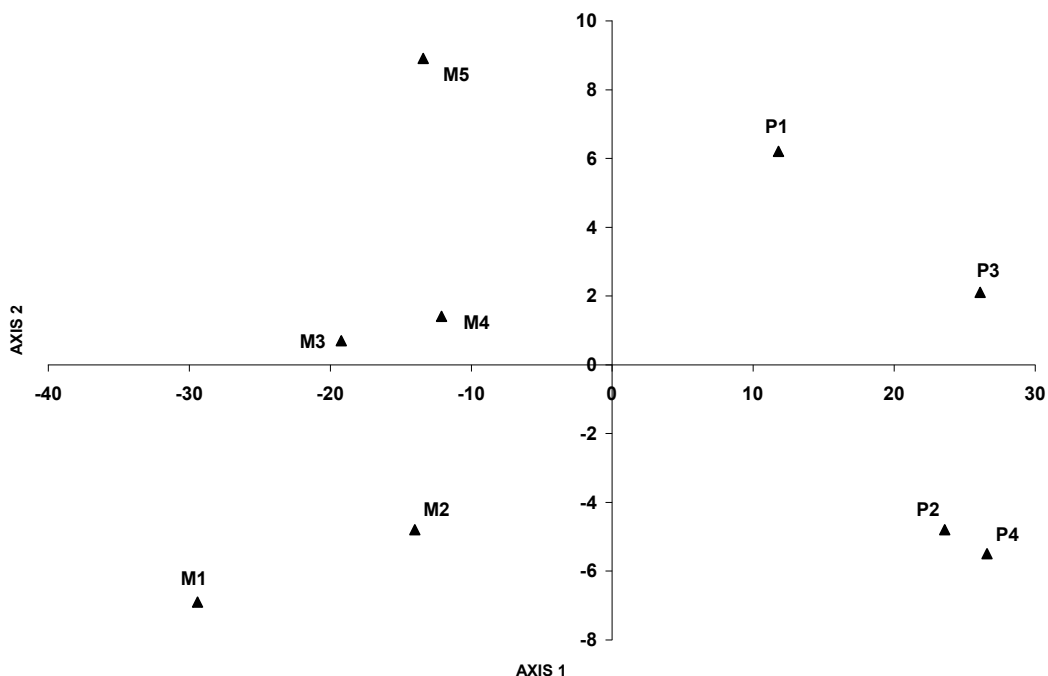
Rys. 8. Zmienność przestrzenna NDVI na powierzchni P3

Wartości NDVI oraz zakresy jego zmienności kształtowały się bardzo podobnie w obrębie każdego podzbioru powierzchni próbnych. Na dendrogramie sporządzonym programem MVSP zaznaczyły się znaczne różnice pomiędzy powierzchniami wyznaczonymi na terenie parku narodowego a leżącymi poza jego obszarem i w konsekwencji elementy obu podzbiorów tworzą odrębne skupienia (rys. 9). W skupieniu prób z parku narodowego zaznacza się znaczna odrębność powierzchni P1 obejmującej pasy przeciwpożarowe.



Rys. 9. Podobieństwo powierzchni badawczych pod względem rozkładu częstości NDVI

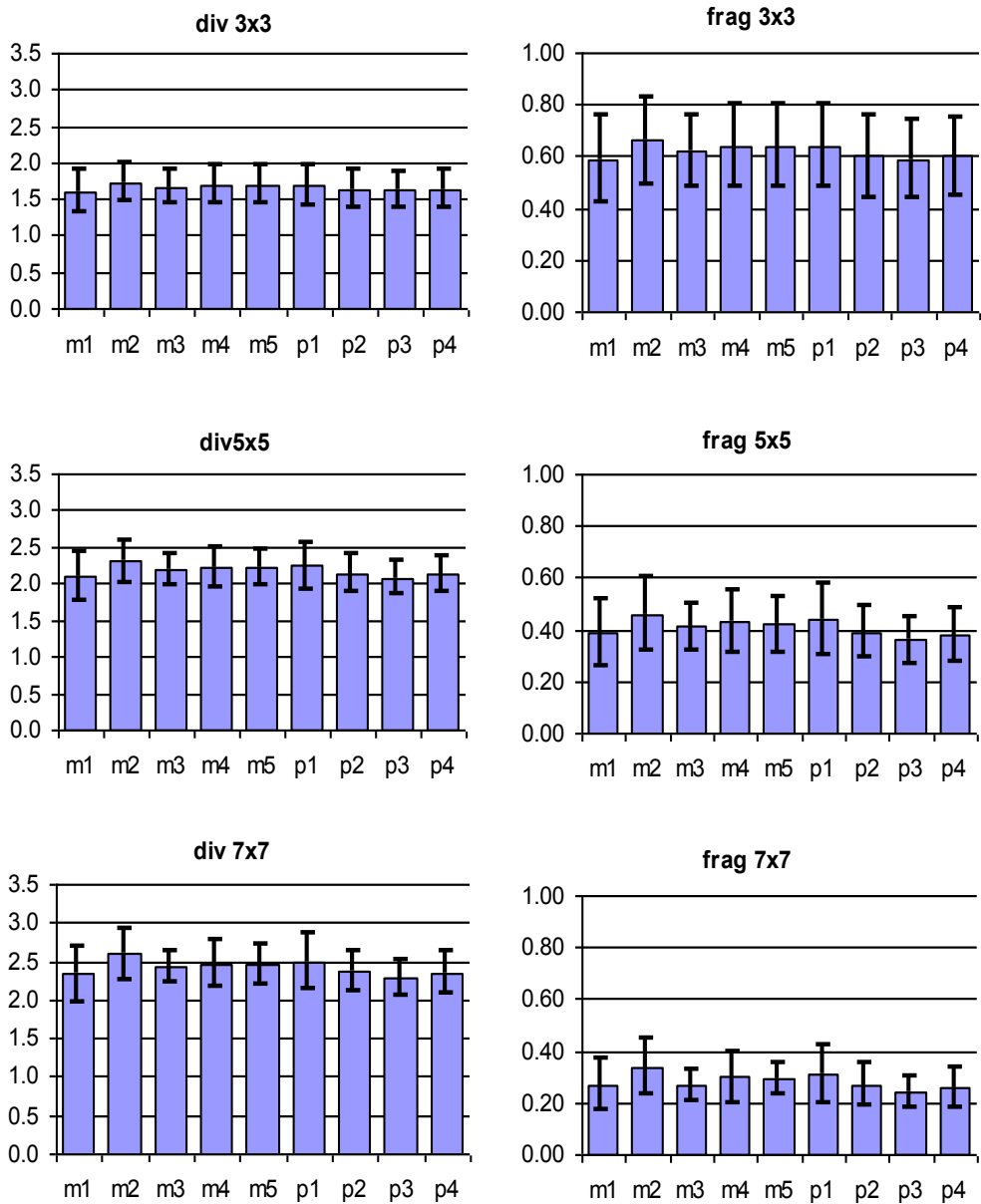
Przejściowy charakter tej powierzchni ujawnia się również bardzo wyraźnie na diagramie ordynacyjnym (rys. 10). Punkt reprezentujący tę powierzchnię jest zlokalizowany pomiędzy dwiema chmurami punktów odpowiadającymi próbom z parku narodowego lub z obszarów charakteryzujących się dużą intensywnością gospodarki leśnej.



Rys. 10. Ordynacja dziewięciu powierzchni badawczych

Ponieważ powierzchnie wyznaczone w lasach intensywnie użytkowanych obejmowały zarówno zręby jak i starsze drzewostany z różnych klas wieku ich różnorodność i fragmentacja były nieco większe niż powierzchnie badawczych z parku narodowego (rys. 11). Na prezentowanych histogramach ponownie zaznacza się odmienność powierzchni P1 od pozostałych powierzchni z parku narodowego i jednocześnie jej znaczne podobieństwo do prób obejmujących lasy intensywnie użytkowane. Spośród powierzchni należących do tej ostatniej grupy obiektów największe podobieństwo pod względem różnorodności i fragmentacji do prób z parku narodowego wykazuje powierzchnia M1.

Z analizy histogramów wynika też, że przy zwiększaniu powierzchni kwadratów (kolejno 9, 25 i 49 pikseli) następuje wzrost różnorodności i spadek fragmentacji.



Rys. 11. Średnie wartości i błąd standardowy różnorodności i fragmentacji dziewięciu powierzchni badawczych

## 5. DYSKUSJA

Z porównań zakresów i średnich wartości wskaźnika wegetacji na poszczególnych powierzchniach oraz historycznych materiałów kartograficznych wynika, że NDVI koresponduje ze sposobem użytkowania terenu. Na obszarach leśnych zlokalizowanych w północnej części Zaborskiego Parku Krajobrazowego, gdzie wyznaczono powierzchnie M1–5, przeważają bory sosnowe odtworzone na gruntach porolnych. Pod względem składu gatunkowego nawiązują one do borów suchych. Podobieństwo to wynika głównie z racji mniejszego udziału krzewinek oraz wysokiej frekwencji i pokrycia porostów naziemnych. Znaczną powierzchnię w tej części parku krajobrazowego zajmują też wyróżnione przez Boińskiego (1988) zbiorowisko *Pinus-Calluna*. Bór wrzosowy wykształcił się głównie wskutek zalesiania na przełomie XIX i XX wieku ubogich pastwisk. W zbiorowisku tym oprócz wrzosu zwyczajnego znaczną rolę odgrywają naziemne mchy i porosty. Inne zbiorowiska leśne dominują w południowej części terenu badań, tj. w miejscu gdzie utworzony został park narodowy. Ponieważ obszar ten nie był w przeszłości użytkowany rolniczo, a degeneracja zbiorowisk leśnych polegała głównie na wprowadzaniu monokultur sosnowych na zręby, dziś dominują tu bory świeże, zaklasyfikowane do zespołu *Leucobryo-Pinetum*. Jak wykazał Barcikowski (1992, 1996) bory te charakteryzują się większym stanem biomasy zielonej i zawartości chlorofilu niż bory suche. Dotyczy to nie tylko dojrzałych drzewostanów ale wszystkich analogicznych faz rozwojowych w procesach sukcesji wtórnej lasu na tych siedliskach. Ze względu na mniejszy stan biomasy zielonej i niższą zawartość chlorofilu na jednostkę powierzchni terenu, notowaną w lasach nawiązujących do borów suchych, NDVI w kompleksach lasów porolnych, w których dominują takie fitocenozy, jest niższy. Stwierdzili to metodami teledetekcji satelitarnej i opisali w odrębnym opracowaniu Kunz i in. (2000).

Uzyskane średnie wartości NDVI od 0,35 do 0,45 są zbliżone do danych podawanych dla plantacji innych gatunków sosny w innych częściach świata. Wartości uzyskane dla Zaborskiego Parku Krajobrazowego są na przykład zbliżone do wartości 0,3–0,5, jakie dla plantacji *Pinus densiflora* w górskich regionach Japonii podają Lee i Nakane (1997). Gholtz i in. (1997) analizując odpowiedź spektralną *Pinus elliotti var. elliotti* na Florydzie w USA uzyskali wartości wyższe, bo w granicach 0,55–0,66. Tak wysokie wartości NDVI w Zaborskim Parku Krajobrazowym osiągają tylko lasy na ze starszym drzewostanem o dużym zwarciu, występujące na siedlisku boru świeżego.

Z danych podawanych przez Barcikowskiego (1992, 1996) wynika, że na niższe wartości NDVI dla powierzchni obejmujących lasy intensywnie eksploatowane najbardziej wpływa obecność zrębów i kilkuletnich upraw sosnowych. Biomasa i wskaźnik chlorofilu w takich układach ekologicznych jest bardzo niski. W fitocenozach od około 20 lat zmiany obu parametrów w zależności od wieku drzewostanu są już niewielkie. Stąd też na obszarze dzisiejszego parku narodowego, gdzie zróżnicowanie wiekowe obejmuje przede wszystkim klasy III – VI, zaznacza się nie tylko wyższa wartość NDVI ale również notuje się niższą różnorodność i fragmentację krajobrazu. Na powierzchniach obejmujących lasy intensywnie eksploatowane w związku z obecnością wielu powierzchni zrębowych i kilkuletnich

upraw NDVI obniża się, zaś różnorodność i fragmentacja rośnie. Kierunek zmian dwóch ostatnich parametrów jest zgodny z obliczeniami, które na teoretycznych modelach struktury krajobrazu leśnego z różnym udziałem i rozmieszczeniem powierzchni zrębowych przeprowadzili Franklin i Forman (1987).

W porównaniach przeprowadzonych w niniejszej pracy użyto zdjęcia satelitarnego z 1990 roku. Badano więc stan istniejący na ponad pięć lat przed ustanowieniem Parku Narodowego „Bory Tucholskie”, tj. w okresie gdy na tym terenie prowadzono jeszcze wyręby lasu. Po utworzeniu parku narodowego pozyskanie drewna zostało mocno ograniczone a czystych zrębów nie stosuje się wcale. Stąd różnice pomiędzy tą częścią badanego kompleksu leśnego a jego częścią północną zapewne pogłębiły się, chociaż i na terenach intensywnej gospodarki leśnej ogranicza się stosowanie czystych zrębów, a jeśli są one stosowane to na porębach pozostawia się biogrupy drzew stanowiących nasienniki. Czy powstanie parku narodowego przyczyni się do mniejszej różnorodności i fragmentacji krajobrazu leśnego w tej części Borów Tucholskich i jakie są następstwa stosowania nowych technologii leśnych będzie można określić poprzez porównanie obrazów satelitarnych z 1990 i 2000 roku.

## LITERATURA

- Barcikowski A., 1992. Differentiation in the structure and energy flow in phytocenoses with primary and secondary succession. In: R. Bohr, A. Nienartowicz, J. Wilkoń-Michalska (eds.), *Some ecological processes of biological systems in North Poland*. N. Copernicus University Press, Toruń.
- Barcikowski A., 1996. Biomass and chlorophyll of photosynthesizing organs of plant communities in secondary succession in pine forest habitat. *Photosynthetica* 32: 63-76.
- Boiński M., 1988. Roślinność rzeki Kulawej. *Acta Univ. N. Copernici, Biologia* 32, *Nauki Mat.-Przyr.* 69: 73-95.
- Franklin J.F., Forman R.T.T., 1987. Creating landscape patterns by forest cutting: Ecological consequences and principles. *Landscape Ecology* 1(1): 5-18.
- Gholz H.L., Curran P.J., Kupiec J.A., Smith G.M., 1997. Assessing leaf area and canopy biochemistry of Florida pine plantations using remote sensing. In: Gholz H.L., Nakane K., Shimoda H. (eds.), *The use of remote sensing in the modelling of forest productivity*, pp 3-22. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Boston London.
- Hauser M., Mucina L., 1991. Spatial interpolation methods for interpretation of ordination diagrams. In: E. Feoli and L. Orloci (eds.), *Computer Assisted Vegetation Analysis*, pp. 299-316. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Kovach W.L., 1993. *MVSP- A Multi Variate statistical Package for IBM PC's, version 2.1*. Kovach Computing Services. Pentraeth. Wales, U.K.
- Kunz M., Nienartowicz A., Deptuła M., 2000. The use of satellite remote sensing imagery for detection of secondary forests on post-agricultural soils: A case study of Tuchola Forest, Northern Poland. In: J.L. Casanova (ed.), *Remote Sensing in the 21<sup>st</sup> Century. Economic and Environmental Applications*, pp. 61-66. Proceedings of the 19<sup>th</sup> EARSeL Symposium on Remote Sensing in the 21st Century/Valladolid/Spain/31 May – 2 June 1999. A.A. Balkema/Rotterdam/Blokkfield/2000.
- Lee N.J., Nakane K., 1997. Forest vegetation classification and biomass estimation based on Landsat TM data in a Mountain Region of West Japan. In: Gholz H.L., Nakane K., Shimoda H. (eds.), *The use of remote sensing in the modelling of forest productivity*, pp. 159-172. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Boston London.

- Monmonier M.S., 1974. Measures of pattern complexity for choropleth maps. *The American Cartographer* 1(1): 159-169.
- Murphy D.L., 1985. Estimating neighborhood variability with a binary comparison matrix. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 51(6): 667-674.
- Orlóci L., 1978. *Multivariate Analysis of Vegetatio Research*. Dr W. Junk Publishers, The Hague Boston.
- Sokołowski A., 1965. Zespoły leśne Nadleśnictwa Laska w Borach Tucholskich. *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 11: 96-119.
- Turner M.G., 1989. Landscape Ecology: The effect of pattern on process. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 20: 171-197.
- Upton G.J., Fingleton B., 1985 *Spatial data analysis by example. Volume 1. Point pattern and quantitative data*. J. Wiley and Sons, Chichester.
- Wilkoń-Michalska J., Nienartowicz A., Kunz M., Deptuła M., 1999. Old land-use maps as a basis for Interpreting of the contemporary structure of forest communities in Zabory Landscape Park. *Phytocoenosis* 11: 139-154.

## SUMMARY

GIS and remote sensing technology have been used to compare Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), diversity and fragmentation of two forest complexes different each from the other in the structure of land use in the 19th century and intensively of timber exploitation in the recent several years. Both complexes have been located in Zabory Landscape Park in Pomerania Province. The first site M has been comprised secondary forests restored by introduction of pine seedlings on former poor seep pastures and arable lands. Due to intensive timber exploitation a big part of those area has been occupied by clear-cuttings and few-year-old pine plantations apart from the oldest pine forests. The second site P has been forest complex where the timber exploitation was significantly reduced since the middle of eighties. The structure of landscape in the first site has been assessed on the basis of five sample plots about 150 or 500 hectares. Four plots of similar size have been chosen in the site P. The Landsat TM imagery from 28 July 1990 and Idrisi 32 software have been used in analysis. It results from the calculations that landscape with intensively exploited forests on former agricultural soils has been characterised by lower values of NDVI and higher values of diversity and fragmentation in comparison to those with sustainable forest management. Significant differences in the structure of landscapes have also been clearly expressed by the methods of numerical classification and ordination.

### **Andrzej Nienartowicz, Dominik Domin**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Instytut Ekologii i Ochrony Środowiska

ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń

e-mail: nienart@biol.uni.torun.pl, djdomin@goplay.com

### **Mieczysław Kunz**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Instytut Geografii

ul. Gagarina 5, 87-100 Toruń

e-mail: met@cc.uni.torun.pl