



Piotr Wężyk, Michał Goś

**ZASTOSOWANIE NARZĘDZI GEOINFORMATYCZNYCH
W MONITORINGU SZATY ROŚLINNEJ PUSZCZY
NIEPOŁOMICKIEJ**

**GEOINFORMATION TOOLS APPLICATION FOR THE PLANT
COVER MONITORING OF THE NIEPOŁOMICE FOREST**

*Akademia Rolnicza im. Hugona Kollątaja w Krakowie, Wydział Leśny,
Katedra Ekologii Lasu, Laboratorium GIS i Teledetekcji
Agricultural University of Cracow, Faculty of Forestry, Department of Forest Ecology
Laboratory of GIS and Remote Sensing*

STRESZCZENIE. Na 185 powierzchniach monitoringowych FOREMMS, regularnie rozmieszczonych na obszarze Puszczy Niepołomickiej, w latach 2001–2002, przeprowadzono spis roślin naczyniowych runa. Do analiz w prezentowanej pracy wybrano: *Carex brisoides* L. (Turzyca drżączkowata) oraz *Vaccinium myrtillus* L. (Borówka czarna), uznając je za charakterystyczne obecnie jak i w przeszłości, dla flory Puszczy Niepołomickiej. Wyniki prac wykazały, że *Carex brisoides* L. wystąpiła aż na 117 (ze 185) powierzchniach, a *Vaccinium myrtillus* L. tylko na 67. Przypadków występowania obu tych roślin jednocześnie doliczono się tylko 30. Wykorzystując oprogramowanie ArcGIS 8.2 (ESRI) wygenerowano obrazy rastrowe (algorytmy interpolacyjne IDW oraz SPLINE) reprezentujące zasięgi oraz intensywność występowania wybranych gatunków roślin na obszarze Puszczy Niepołomickiej. Analizy przestrzenne GIS określiły powierzchnię konkurujących ze sobą *Carex brisoides* L. (7.037 ha; 66%) powierzchni Puszczy Niepołomickiej) oraz *Vaccinium myrtillus* L. (3.968 ha; 37%), a także areal wspólnego ich występowania (1.334 ha; 12,5%).

Dla wybranych analizowanych zmiennych środowiskowych takich jak: pH (H₂O, KCl), zawartość węgla organicznego (C%), azotu (N%), współczynnika C/N w wierzchniej warstwie gleby (0–7 cm) i ściole, zastosowano algorytm interpolacyjny Kriging. Obrazy rastrowe dwóch w/w gatunków roślin poddano korelacjom przestrzennym z opisanymi zmiennymi środowiskowymi. W wybranych przypadkach dowiedziono istnienia związków korelacyjnych (np. *Vaccinium myrtillus* L. z obrazem C/N = +0,68; jonami H⁺ = +0,59) co pozwala na potwierdzenie stawianych hipotez o zjawiskach antropopresji (immisje przemysłowe, zamiany odczynu wierzchniej warstwy gleby, wahania zwierciadła wód gruntowych, niezgodność składu gatunkowego drzewostanu z siedliskiem, itp.).

SŁOWA KLUCZOWE: Geoinformatyka, monitoring roślinny, korelacje przestrzenne, Puszcza Niepołomicka, Turzyca drżączkowata, Borówka czarna

1. WSTĘP

Rozwój technologii informatycznych w ostatnich latach i ich szerokie upowszechnienie powoduje, iż coraz częściej pragniemy szczegółowo opisywać i analizować procesy

zachodzące w ekosystemach. Wynikom badań nad zjawiskami mającymi charakter przestrzenny, takimi jak szata roślinna, stawia się wysokie wymagania pod kątem dokładności, powtarzalności, obiektywizmu i aktualności. Badania szczegółowe z zakresu botaniki bez wykorzystania odpowiedniej techniki do ich statystycznego opracowania i prezentacji (np. kartograficznej) powoli przechodzą do historii.

Z pomocą przychodzą rozwiązania technologiczne z zakresu wielu dziedzin techniki i nauki, określane mianem geomatyki bądź ostatnio również geoinformatyki [9, 23]. Dzięki wykorzystaniu narzędzi geoinformatycznych, a w tym szczególnie interpolujących algorytmów geostatystycznych [1, 7, 8, 11] można uzyskać przybliżony opis rzeczywistości poprzez tzw. próbkowanie obszaru zainteresowania, czyli pozyskiwanie informacji o obiekcie tylko w wybranych miejscach (punktach). W tego typu projektach badawczych stosuje się najczęściej regularne sieci pomiarowe [10, 21, 22], które pozwalają ograniczyć błędy związane z procesem interpolacji danych w miejscach, w których nie dokonywano pomiaru. Przed rozpoczęciem samych badań wspomagając się analizami z zakresu GIS należy dokonywać statystycznej oceny reprezentacji poszczególnych obiektów badań (np. siedlisk leśnych czy zbiorowisk roślinnych). Pozwala to na poprawne zaplanowanie i optymalizację lokalizacji regularnej sieci pomiarowej [24]. Kolejnym niezmiernie istotnym krokiem jest poprawne wyznaczenie zaplanowanych miejsc pomiaru w terenie. Z pomocą przychodzi Globalny System Pozycjonowania (GPS) coraz częściej wykorzystywany w badaniach przyrodniczych [25]. Niewiele znanych jest z literatury prac z zakresu botaniki leśnej wykorzystujących interpolacje przestrzenne w celu kartowania szaty roślinnej [15], choć nie jest nowością stosowanie innych narzędzi geoinformatycznych takich jak fotogrametria cyfrowa czy obrazów satelitarnych [16, 20].

Oddziaływanie czynników biotycznych i abiotycznych w tym szczególnie antropogenicznych na drzewostany, stwarza konieczność stałego monitorowania stanu i kondycji zasobów leśnych. Jednym z podstawowych zadań monitoringu ekologicznego (biomonitoringu) jest ocena stopnia odkształcenia struktury i funkcji układów ekologicznych, przy czym analizie poddaje się populacje, gatunki, ugrupowania gatunków lub nawet całe ekosystemy czy krajobrazy [6, 19].

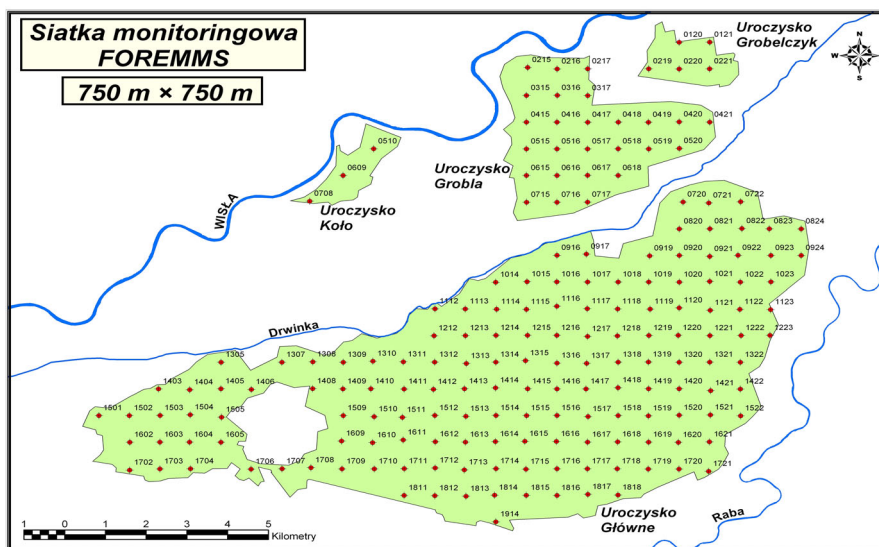
Celem prezentowanej pracy była:

- analiza dynamicznych zmian zachodzących w szacie roślin naczyniowych ekosystemów leśnych Puszczy Niepołomickiej, oraz
- opracowanie metodyki prac polegających na zintegrowaniu metod tradycyjnych stosowanych w badaniach z zakresu monitoringu środowiska leśnego z narzędziami geoinformatycznymi.

2. TEREN BADAŃ

Prezentowane badania realizowano w ramach trzyletniego (2000–2002) projektu FOREMMS (ang. *Forest Environmental Monitoring and Management System*; 5FP IST-1999-11228) na obszarze Puszczy Niepołomickiej. Położona jest ona ok. 25 km na wschód od Krakowa w widłach rzek: Wisły i Raby, obejmując swoim zasięgiem około 10.000 ha lasów. Puszcza Niepołomicka reprezentowała biot lasów mieszanych (zbiorowiska *Pino-Quercetum*) klimatu umiarkowanego naszego kontynentu i stanowiła wraz z lasami borelanymi (Finlandia, Karelia) oraz zbiorowiskami leśnymi basenu Morza

Śródziemnego (Włochy, Toskania) tzw. obszar węzłowy (ang. *system node*) projektu FOREMMS.

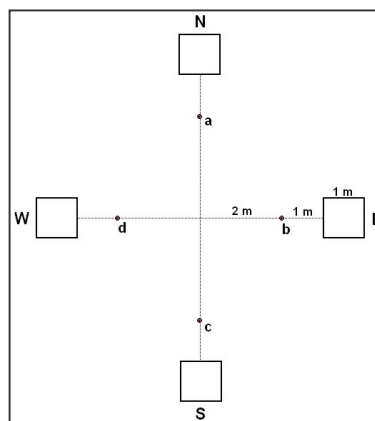


Rys. 1. Siatka monitoringowa projektu FOREMMS w Puszczy Niepołomickiej
Fig. 1. Monitoring grid of FOREMMS project in Niepołomice Forest

3. METODYKA

Realizując założone cele prezentowanej pracy w Puszczy Niepołomickiej przeprowadzono spis roślin naczyniowych runa oraz pobrano próbki gleby i ścióły na 185 regularnie rozmieszczonych powierzchniach monitoringowych projektu FOREMMS. Powierzchnie te założono [10, 24] i nawigowano się do nich metodą DGPS (rys. 1).

Na każdej powierzchni, do której nawigowano się z użyciem odbiornika GPS Garmin eMap bądź Trimble Pathfinder ProXRS, spisu dokonano na złożonym poletku rozproszonym składającym się z 4 kwadratowych podpoletek o powierzchni 1m^2 każde. Ponadto pobrano próbki gleby (warstwa wierzchnia pochodząca z poziomu organicznego i organiczno-mineralnego z głębokości średniej od 0 do 7 cm) oraz ścióły z czterech miejsc (a,b,c,d) oddalonych od środka powierzchni o 2 metry, na czterech głównych kierunkach N, W, S, E (rys. 2).



Rys. 2. Schemat poletka złożonego FOREMMS

Fig. 2. Scheme of the complex plot

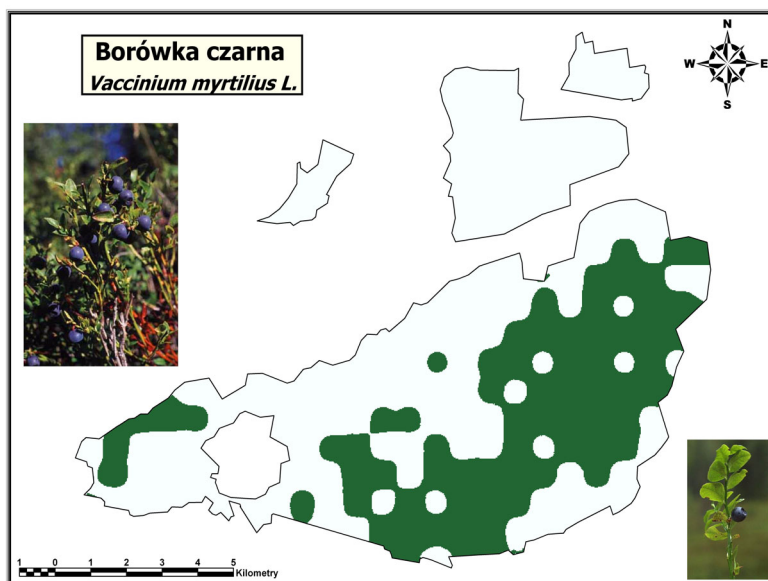
Wykorzystując oprogramowanie GIS generowano obrazy rastrowe (alгоритmy interpolacyjne IDW oraz SPLINE) reprezentujące zasięgi oraz intensywność występowania wybranych gatunków roślin na obszarze Puszczy Niepołomickiej (rys. 3, 4, 6). Intensywność występowania możliwa była do zaprezentowania dzięki odpowiedniej metodyce poboru prób (poletko złożone). Na powierzchniach monitoringowych FOREMMS gatunki roślin rozpoznawane były na 4 podpoletkach w ten sposób, iż odnotowywano wystąpienie lub brak danego gatunku na jednym z czterech podpoletek. W ten sposób na każdej powierzchni monitoringowej powstało zróżnicowanie występowania rośliny w zakresie od 1 (dla jednego podpoletka) do 4 (dla wszystkich podpoletek). Wartości 1, 2, 3 oraz 4 zostały następnie zamienione na wartości procentowe odpowiednio 25, 50, 75 i 100%.

W pracach wykorzystywano oprogramowanie z zakresu GIS: ArcView 3.2 oraz ArcGIS 8.2 (ESRI) z rozszerzeniami Spatial Analysis i Geostatistical Analyst a także warstwy informacyjne generowane dla potrzeb projektu FOREMMS takie jak: leśna mapa numeryczna (LMN) czy bazy danych geometrycznych i opisowych.

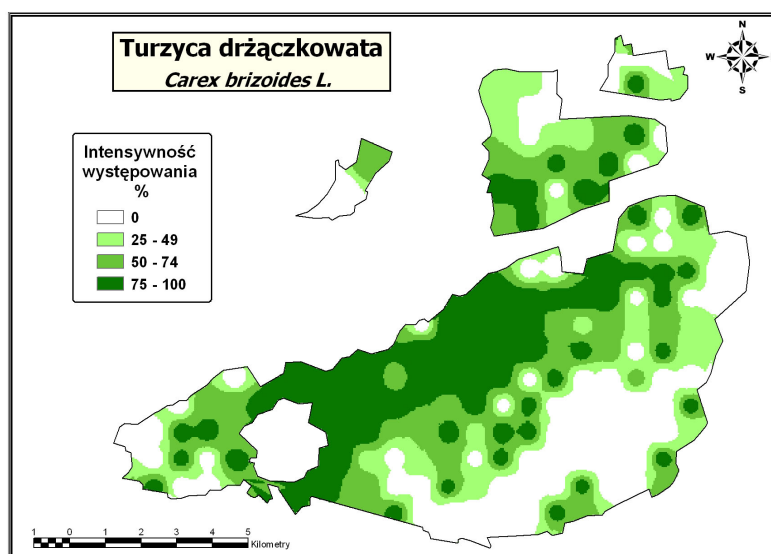
4. WYNIKI I DYSKUSJA

Do szczegółowych analiz przestrzennych GIS wyłoniono dwa gatunki tj.: *Carex brisoides* L. (Turzycę drżączkowatą) i *Vaccinium myrtillus* L. (Borówkę czarną), uznając je za charakterystyczne w przeszłości i obecnie dla Puszczy Niepołomickiej. Turzycę drżączkowatą w ciągu ostatnich dziesięcioleci z początkowych stanowisk stała się powszechna na większości powierzchni Puszczy Niepołomickiej, jednocześnie wypierając Borówkę czarną (i inne rośliny), której zwarte i silne połączenie (borówczyśka) spotkać dziś jest niezmiernie trudno [2, 3, 4, 5].

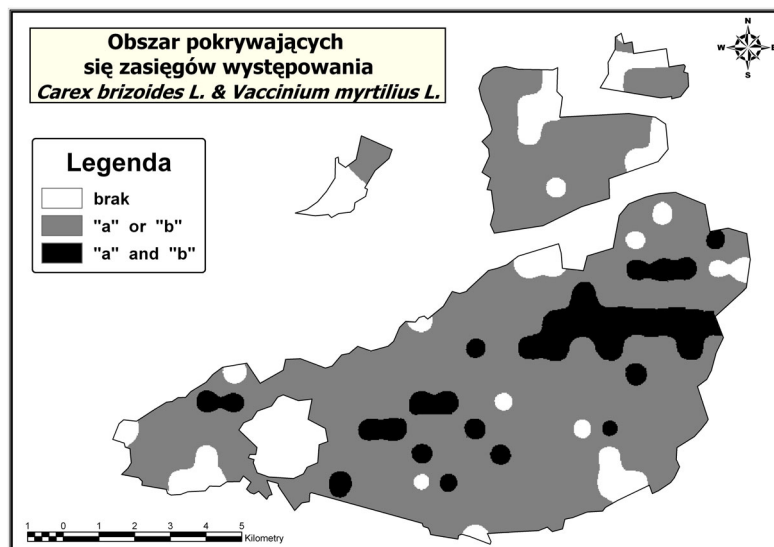
Prawdopodobnych przyczyn tego złożonego zjawiska, należy upatrywać w eutofizacji siedlisk leśnych Puszczy Niepołomickiej, wynikających zarówno z przyczyn antropogenicznych jak i naturalnych. Do przyczyn antropogenicznych Mitka [12, 13, 14] zalicza przede wszystkim opad azotu (ok. 20 kg/ha/rok) w latach osiemdziesiątych, oraz prześwietlenie koron sosen wskutek uszkodzenia aparatu asymilacyjnego przez zanieczyszczenia powietrza, głównie opad siarki. Wśród czynników naturalnych największe znaczenie miały długie okresy suszy (zwłaszcza 1982 – 1984), zwiększenie udziału liści dębu w opadzie ściółki (efekt przebudowy drzewostanów z monokultur sosnowych w kierunku drzewostanów mieszanych) oraz zaprzestanie przez okolicznych mieszkańców zbierania w lesie gałęzi (chrustu) [12, 13, 14]. Badania Sulińskiego [17] zwracają uwagę na fakt, iż zrębowy sposób zagospodarowania drzewostanów sosnowych wiąże się ze zwiększeniem amplitudy wahań poziomu wód gruntowych. Efekt ten z kolei wg Ćwikowej i Lesińskiego [2] jest bardzo niekorzystny dla typowo borowej roślinności runa, w tym zwłaszcza borówki czernicy. Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci gospodarowania przez człowieka w Puszczy Niepołomickiej powstały warunki do masowego rozprzestrzeniania się Turzycy drżączkowatej (*Carex brisoides* L.), gatunku bardziej światłolubnego, o dużej tolerancji na zmianę warunków wilgotnościowych oraz odpornego na presję zanieczyszczeń antropogenicznych [5, 18]. Omówione powyżej czynniki, spowodowały w przypadku Borówki czarnej bardzo duże osłabienie żywotności i mocny regres zasięgu występowania.



Rys. 3. Mapa występowania Borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus L.*) na obszarze Puszczy Niepołomickiej w roku 2001 [metoda interpolacji IDW]
Fig. 3. Map of *Vaccinium myrtillus L.* occurrence in Niepołomice Forest in year 2001 [IDW method]

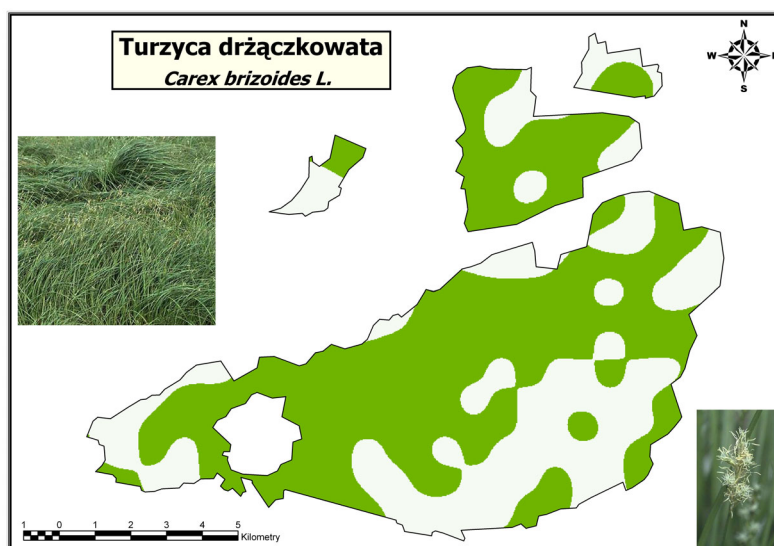


Rys. 4. Mapa intensywności występowania Turzycy drążkowatej (*Carex brisoides L.*) na obszarze Puszczy Niepołomickiej w roku 2001 [metoda interpolacji IDW]
Fig. 4. Map of *Carex brisoides L.* intensity occurrence in Niepołomice Forest in year 2001 [IDW method]



Rys. 5. Mapa pokrywających się zasięgów występowania *Vaccinium myrtillus L.* (a) i *Carex brisoides L.* (b) na obszarze Puszczy Niepołomickiej w roku 2001 [metoda interpolacji IDW]

Fig. 5. Map of overlapping areas of *Vaccinium myrtillus L.* (a) and *Carex brisoides L.* (b) in Niepołomice Forest in year 2001 [IDW method]



Rys. 6. Mapa występowania Turzycy drżączkowejatej (*Carex brisoides L.*) na obszarze Puszczy Niepołomickiej w roku 2001 [metoda interpolacji SPLINE]

Fig. 6. Map of *Carex brisoides L.* occurrence in Niepołomice Forest in year 2001 [SPLINE method]

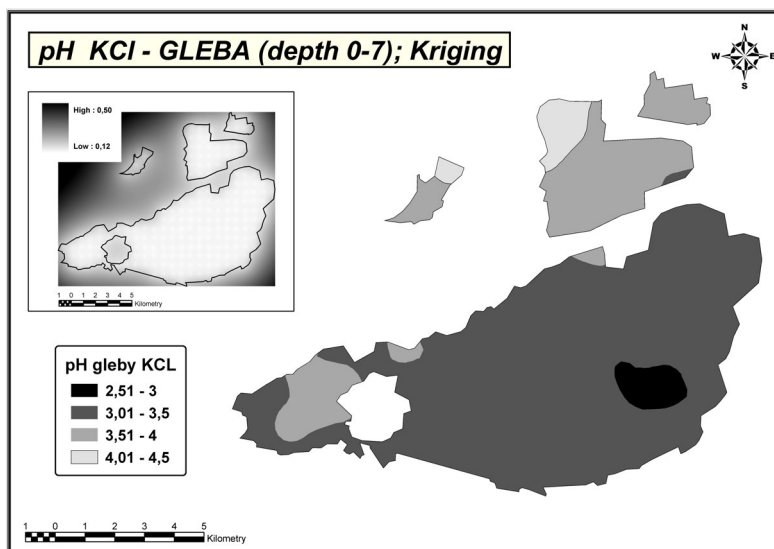
Głównym emitorem zanieczyszczeń powietrza docierających nad Puszcą Niepołomiczką, była Huta im. T. Sendzimira. Jednak, po jej zmodernizowaniu i spadku emisji szkodliwych substancji, jak pisze Fabijański [5], procesy pomiędzy tymi dwoma roślinami zaczęły się odwracać. Turzyca ogranicza obecnie swą ekspansywność, a borówka umacnia się na stanowiskach zajmowanych i powraca na dawne naturalne. Wyniki przeprowadzonych prac monitoringu roślinnego wykazały, że *Carex brisoides* wystąpiła aż na 117 (ze 185) powierzchniach monitoringowych FOREMMS, a *Vaccinium myrtillus L.* tylko na 67. Przypadków występowania obu tych roślin jednocześnie doliczono się tylko 30.

W oparciu o zaproponowaną metodykę uwzględniającą zastosowanie narzędzi geostatystycznych wygenerowano zasięgi roślin których przykładowe obrazy przedstawiają kolejne mapy (rys. 3, 4, 6).

Zastosowanie analiz przestrzennych GIS umożliwiło określenie powierzchni zajmowanej przez *Carex brisoides L.* (7.037 ha; 66%) obszaru Puszczy Niepołomickiej) i *Vaccinium myrtillus L.* (3.968 ha; 37%), a także pozwoliło wygenerować obraz rastrowy (rys. 5) oraz określić areał wspólnego występowania tych konkurujących ze sobą roślin (1.334 ha; 12%).

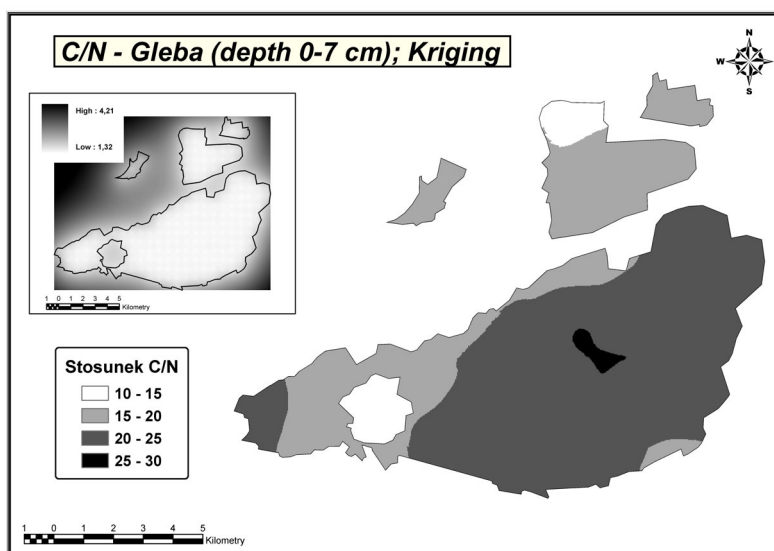
Dla wybranych analizowanych zmiennych środowiskowych określanych dla powierzchni monitoringowych FOREMMS, takich jak: pH (H₂O, KCl), zawartość węgla organicznego (C%), azotu (N%), współczynnika C/N w wierzchniej warstwie gleby i ściółki wygenerowano obrazy rastrowe (interpolacja IDW oraz Kriging). Przykładowe mapy przedstawiono na rys. 7–9. Zastosowanie algorytmu Kriging (12 sąsiadów, 8 sektorów poszukiwania) pozwoliło na określenie wartości błędu estymacji generowanego obrazu. W celu sprawdzenia zależności pomiędzy obrazami zasięgów omawianych gatunków runa z powierzchniami reprezentującymi zmienne „WĘGIEL”, „AZOT”, „C/N” oraz „jony_H⁺” w wierzchniej warstwie gleby i ściółki, przeprowadzono korelacje przestrzenne (w postaci wyinterpolowanych powierzchni GRID – metodą IDW). Wyniki korelacji zamieszczono w Tabeli 1.

Analizowane związki korelacyjne potwierdziły postawioną hipotezę o zależności występowania Borówki czarnej od zawartości jonów H⁺. Otrzymane współczynniki posiadają znak dodatni, co wskazuje, że im niższy jest odczyn, (zarówno gleby jak i ściółki), tym występowanie tego gatunku jest liczniejsze. Wysoką korelację (0,68) wykazała *Vaccinium myrtillus L.* ze zmienną „C/N_gleba”. Również w tym przypadku wystąpił dodatni znak przy współczynniku, co świadczy o zwiększającej się liczebności tego gatunku wraz ze wzrostem wartości zmiennej „C/N” (wskazuje on przy wysokich wartościach na siedliska borowe). Podobne relacje występują w przypadku zmiennej „WĘGIEL” w wierzchniej warstwie gleby i ściółki. Przyczyną takiej sytuacji jest na pewno występowanie *Vaccinium myrtillus L.* jako rośliny związanej z borowymi siedliskami, dla których zawartość węgla i stosunek C/N są zwykle bardzo wysokie.



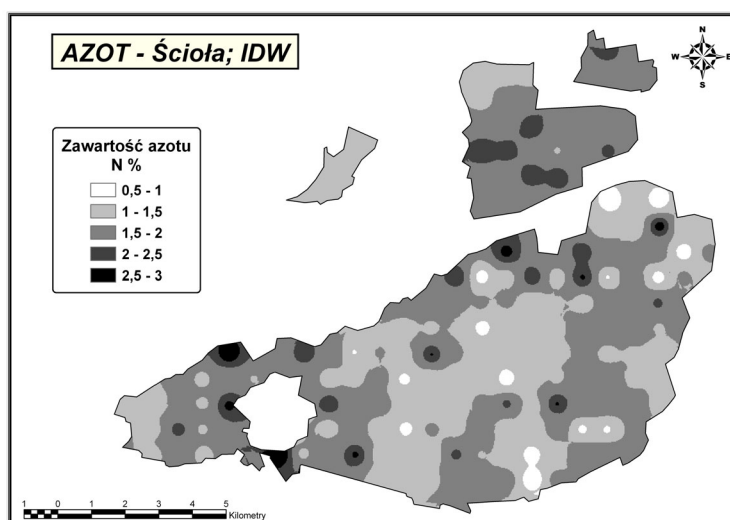
Rys. 7. Mapa odczynu pH (KCl) poziomu organicznego i organiczno-mineralnego gleby z głębokości średniej 0–7 cm oraz błąd estymacji powierzchni [metoda interpolacji KRIGING]

Fig. 7. Map of pH of the organic and mineral-organic layer of soil (0–7 cm) and estimation error [KRIGING method]



Ryc. 8. Mapa współczynnika C/N w poziomie organicznym i organiczno-mineralnym gleby z głębokości średniej od 0 do 7 cm oraz błąd estymacji powierzchni [metoda interpolacji KRIGING]

Fig. 8. Map of C/N ratio of the organic and mineral-organic layer of soil (0–7 cm) and estimation error [KRIGING method]



Ryc. 9. Mapa zawartości azotu (N%) w ściocie [metoda interpolacji IDW]
 Fig. 9. Map of nitrogen (N%) concentration in litter [IDW method]

Tabela 1

Table 1.

Korelacja przestrzenna pomiędzy obrazami występowania Turzycy drżączkowatej (*Carex brisoides L.*) i Borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus L.*) a obrazami rastrowymi zawartości węgla (C%), azotu (N%), współczynnika C/N, jonów H^+ (H_2O , KCl) w wierzchniej warstwie gleby i ściocie [dla metody interpolacji IDW]

Spatial correlation between areas of occurrence of *Carex brisoides L.* and *Vaccinium myrtillus L.* and surfaces representing: concentration of carbon (C%), nitrogen (N%), ration C/N, ions H^+ (H_2O , KCl) in upper soil layer

Korelacja przestrzenna obrazów rastrowych	Obrazy zmiennych [współczynniki korelacji „r”]									
	gleba					ściota				
Zmienna	„jony_ H^+ ” (H_2O)	„jony_ H^+ ” (KCl)	„WĘGIEL”	„AZOT”	„C/N”	„jony_ H^+ ” (H_2O)	„jony_ H^+ ” (KCl)	„WĘGIEL”	„AZOT”	„C/N”
Turzyca drżączkowata <i>Carex brisoides L.</i>	-0,06	-0,18	-0,05	0,06	-0,19	-0,24	-0,20	-0,12	0,15	-0,13
Borówka czarna <i>Vaccinium myrtillus L.</i>	0,39	0,59	0,41	0,14	0,68	0,47	0,53	0,38	-0,27	0,23

W przypadku *Carex brisoides L.* otrzymane współczynniki korelacji wskazują na bardzo słaby związek tej rośliny z omawianymi powyżej zmiennymi. Najwyższą korelację (- 0,24) otrzymano dla obrazu koncentracji jonów wodorowych w ściocie.

Najniższą korelację (- 0,05) z zawartością węgla w glebie. Jednak na odwrotne kierunki tych zależności, w porównaniu z korelacjami *Vaccinium myrtillus L.*, wskazują znaki ujemne otrzymanych współczynników.

Wnioski płynące z pracy jednoznacznie wskazują, iż w celu osiągnięcia obrazu wiarygodnego i możliwego do zweryfikowania stanu otaczającego nas świata, niezbędne jest posługiwanie się zintegrowanymi technologiami geoinformatycznymi, które przy jednoczesnej oszczędności środków finansowych i czasu na badania gwarantują osiągnięcie wyższej dokładności oraz obiektywności niż stosowanie tylko metod tradycyjnych.

5. LITERATURA

- Babish, G.: Geostatistics Without Tears. A practical Guide to Geostatistics, Variograms and Kriging, Canada 2000.
- Ćwikowa A., Lesiński J.: Florystyczne zróżnicowanie zbiorowisk aktualnej roślinności leśnej Puszczy Niepołomickiej. Studia Ośr. Dok. Fizjograficznej 9, str. 131–149, Kraków 1984.
- Dubiel E.: Środowisko abiotyczne, flora roślin naczyniowych i roślinność Puszczy Niepołomickiej. W: Szata roślinna parków narodowych i rezerwatów Polski Południowej (red. Mirek Z., Wójcicki J.). Polish Bot. Stud. Guidebook ser. 12, str. 33–44, Kraków 1995.
- Dubiel E.: Historia badań i zmiany we florze roślin naczyniowych Puszczy Niepołomickiej. Chrońmy Przyrodę Ojczystą 1–2, str. 36–54, 2000.
- Fabijański P.: Historia runa leśnego. Przyroda Polska 12, str. 19, 1997.
- Jermaczek A.: Krótka wycieczka po bezdrożach monitoringu. Przegląd Przyrodniczy 1–2, str. 3–11, 1998.
- Johnston K., Ver Hoef J. M., Korivoruchko K., Lucas N.: Using ArcGIS, Geostatistical Analyst. ESRI, USA 2002.
- Jones J. G.: Contouring Geological Surfaces With the Computer. Londyn 1986.
- Kotlarczyk J., ed.: Dyskusja panelowa poświęcona zagadnieniom terminologicznym geoinformatyki. Geoinformatica Polonica 3, str. 57–79, 2001.
- Madejczyk A.: Zakładanie sieci powierzchni monitoringowych w Puszczy Niepołomickiej metodą DGPS dla potrzeb projektu Forest Environmental Monitoring and Management System (FOREMMS IST 5 FP). Praca magisterska w KEkL WL, AR Kraków 2003.
- McCoy J., Johnston K.: Using ArcGIS, Spatial Analyst. ESRI, USA 2002.
- Mitka J.: Eutrofizacja siedliska leśnego Puszczy Niepołomickiej. I Zmiany poziomu organicznego i mineralno-próchnicznego. Sylwan 4, str. 59–71, 1993.
- Mitka J.: Eutrofizacja siedliska leśnego Puszczy Niepołomickiej. II. Zmiany składu chemicznego roślin runa. Sylwan 4, str. 47–56, 1993.
- Mitka J.: Długoterminowe zmiany roślinności boru mieszanego (Pino-Quercetum) w Puszczy Niepołomickiej. W: Szata roślinna parków narodowych i rezerwatów Polski Południowej (red. Mirek Z., Wójcicki J.). Polish Bot. Stud. Guidebook ser. 12, str. 54–58, 1995.
- Loch J., Chwistek K., Węzyk P., Małek S., Pająk M.: Natural regeneration versus tree planting in the subalpine spruce forest *Plagiothecio – Piceetum Tatricum* of the Gorce National Park (southern Poland). Nature Conservation 58, p. 5–15, 2001.
- Przybyłek Ł.: Zastosowanie zdjęć lotniczych oraz produktów ich przetwarzania w procesie aktualizacji leśnej mapy numerycznej. Praca magisterska w KEkL WL, AR Kraków 2003.
- Suliński J.: Zarys klimatu, rzeźby terenu i stosunki wodne w Puszczy Niepołomickiej. Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej 9, str. 25–71, 1981.
- Sosnowski K.: Ziemia Krakowska. Szczegółowy przewodnik wycieczkowy. Tom I. Wiedza-Zawód-Kultura, str. 184, Kraków 1947.

- Szary A.: Monitoring szaty roślinnej w Parkach Narodowych i rezerwach. *Aura* 1, str. 6–7, 1998.
- Wertz B.: Skaner hiperspektralny AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) jako narzędzie pozyskiwania informacji o środowisku leśnym dla poziomu L1 projektu FOREMMS (5 FP). Praca magisterska w KEK WL, AR Kraków 2003.
- Wężyk P.: Monitoring of spatial contamination with heavy metals in forest ecosystem (Las Wolski in Cracow, Poland) using GIS, photogrammetry and GPS techniques. IUFRO Conference on Remote Sensing and Forest Monitoring, Rogów June 1–3 1999.
- Wężyk P., Małek S., Koziół K., Guzik M.: Zielinński B. Monitoring of forest litter contamination in the Ojców National Park (South Poland) using GIS tools. Application of Remote Sensing in Forestry, 12–14 09 2000 Zvolen, Słowacja, p. 177–187, 2000.
- Wężyk P.: Integracja technologii geoinformatycznych w systemie monitoringu i zarządzania ekosystemami leśnym Europy, na przykładzie projektu FOREMMS (V PR UE). W: Materiały Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacji. Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych, str. 94, Wysowa 2001.
- Wężyk P., Koziół K., Madejczyk A.: Zakładanie sieci powierzchni monitoringowych w terenach leśnych metodą DGPS. I Konferencja SIP w Lasach Państwowych, 4–6 grudnia, Rogów 2001.
- Wężyk P., Guzik M.: The use of "Photogrammetry-GIS" (P-GIS) for the Analysis of the changes in Tatra mountains natural environment. In: EnviroMount Conference on GIS and RS in Mountain Environment Research. Zakopane, Poland, 19–23.Sept. 2002.

GEOINFORMATION TOOLS APPLICATION FOR THE PLANT COVER MONITORING OF THE NIEPOŁOMICIE FOREST

S u m m a r y

Basing on over 185 regularly grid of the FOREMMS monitoring plots in Niepołomice Forest, inventory of plant cover was made. For presented analysis *Carex brisoides* L. and *Vaccinium myrtillus* L. were chosen, recognized them as a characteristic for Niepołomice Forest flora now as in the past. The results of works proved that the *Carex brisoides* L. appears on 117 (from 185) plots and *Vaccinium myrtillus* L. appears only on 67. Together, those plants occur in only 30 events. Using the ArcGIS 8.2 (ESRI) software the raster images (IDW and SPLINE interpolation algorithms) representing occur ranges and intensity of chosen plant species, in extent of Niepołomice Forest, were generated. The GIS spatial analyses defined area of intraspecific competition *Carex brisoides* L. (7.037 ha; 66% of Niepołomice Forest) and *Vaccinium myrtillus* L. (3.968 ha; 37%) and also an area of their co-occurrence (1.334 ha; 12,5%).

For chosen analysed environmental variables, like: pH (H₂O, KCl), organic carbon content (C%), nitrogen content (N%), C/N ratio in upper soil layer and litter, the Kriging interpolation algorithm was used. Raster images of above-mentioned two plant species, were spatially correlated with description of environmental variables. In chosen events, existence of correlation was proved (e.g. *Vaccinium myrtillus* L. with C/N image = +0.68; H⁺ ions = +0.59) what permits to confirm of supposed hypotheses about man's pressure on the environment occurrence (air pollutions, pH changes of upper soil layer, water-plane fluctuations, discordance of stand tree composition with forest site, etc.).

KEY WORDS: Geoinformation, plant cover monitoring, spatial correlations, Niepołomice Forest, *Carex brisoides* L., *Vaccinium myrtillus* L.

Recenzent: dr Elżbieta Bielecka, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa