

## ANALIZA WYPEŁNIENIA LEŚNEJ PRZESTRZENI NA PODSTAWIE MODELI TYPU CAD

### ANALYSIS OF FILLING OF FOREST SPACE BASED ON THE CAD MODELS

**Marcin Chirrek, Paweł Strzeński, Agata Wencel, Damian Sugiero,  
Andrzej Węgiel**

Zakład Urządzania Lasu, Katedra Urządzania Lasu, Wydział Leśny  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

**Słowa kluczowe: buczyna karpacka, modele CAD, przestrzeń drzew**

Keywords: Carpathian beech forest, CAD models, space of trees

### Wstęp

Wypełnienie leśnej przestrzeni powinno być opisywane zespołem syntetycznych wskaźników, określających cechy strukturalne i dynamiczne, a ich wykorzystanie w takich naukach leśnych, jak urządzenie i hodowla lasu może pomóc w dogłębnym poznaniu procesów i zjawisk w rozwoju lasu. Wiedza ta jest z kolei niezbędna podczas planowania zadań związanych z gospodarką oraz ochroną środowiska leśnego, w szczególności – jego odnawianiu, pielęgnacji i użytkowaniu.

W latach 2001–2002 podjęto w Katedrze Urządzania Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu próbę pierwszych analiz przestrzennych, które dotyczyły rozmieszczenia drzew w leśnej przestrzeni na 50 stanowiskach próbnych drzewostanów z udziałem buka i jodły. Zaproponowane zostały dwa wskaźniki: jednostkowe pole i przestrzeń jednego drzewa (Miś i Sugiero, 2004).

W 2007 roku podjęto kolejną próbę analizy wypełnienia przestrzeni leśnej. Tym razem materiał badawczy stanowiło 50 powierzchni kołowych, zlokalizowanych w zbiorowiskach żywej buczyny karpackiej, w reglu dolnym Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Wyniki pomiarów zaimportowano do programu AutoCAD 2007, który umożliwił przeprowadzenie analiz przestrzennych. Pomierzone drzewa wraz z koronami utworzyły trójwymiarowe modele przestrzenne powierzchni kołowych. Umożliwiło to dokładne i wielopłaszczyznowe analizowanie wypełnienia przestrzeni zarówno dla pojedynczego drzewa jak i w odniesieniu do całych powierzchni.

## Cel i zakres badań

Głównym celem pracy jest analiza wypełnienia leśnej przestrzeni w dwugeneracyjnej buczynie karpackiej w reglu dolnym, co pozwoli na stworzenie modelu wypełnienia przestrzeni. Ważnym celem podrzędnym jest poszerzenie wiedzy o procesach wzrostu i rozwoju badanych drzewostanów oraz ich dynamice.

Zakres pracy obejmował szczegółową analizę budowy i struktury drzewostanów litej buczyny karpackiej w strefie regła dolnego Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Pomiarami zostały objęte wszystkie warstwy drzewostanu: starodrzew, podrost i nalot.

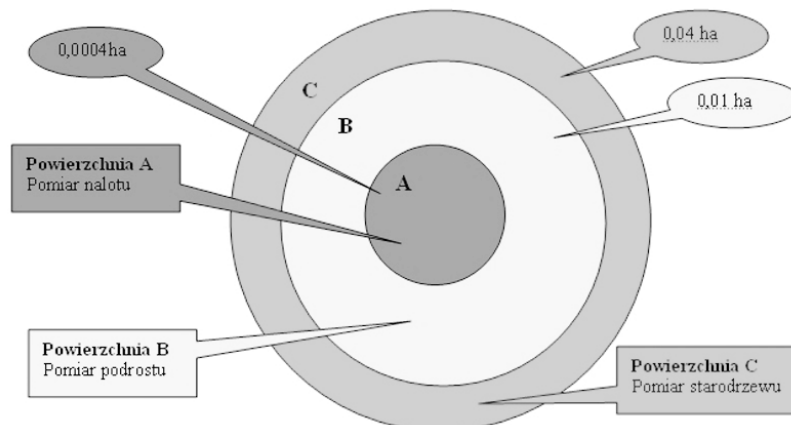
## Charakterystyka badanego obiektu

Obiektem badań są drzewostany litej buczyny karpackiej rosnącej na siedlisku lasu górskiego w strefie regła dolnego Bieszczadzkiego Parku Narodowego (rys. 1). Park ten został utworzony na mocy rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 4 sierpnia 1973 r. Był on kilkakrotnie poszerzany w roku 1989, 1991, 1996 i 1999, przez co obecnie obejmuje najciekawsze pod względem krajobrazowym i przyrodniczym partie górskie Bieszczadów o łącznej powierzchni 29 201 ha. Jest on największym parkiem górskim w Polsce i trzecim co do wielkości w kraju. Ponadto, wraz z dwoma parkami krajobrazowymi – Doliny Sanu i Ciśniańsko-Wetlińskiego (Szafranski, 1993), stanowi centralną część pierwszego na świecie Międzynarodowego Rezerwatu Biosfery „Karpaty Wschodnie”, utworzonego w 1992 roku pod patronatem programu UNESCO-MaB („Człowiek i Biosfera”). Po stronie słowackiej Rezerwat obejmuje Park Narodowy „Połoniny” wraz ze strefą otulinową, zaś w 1999 roku jego skład uzupełniły jeszcze dwa parki ukraińskie: Użański Park Narodowy i Nadsański Park Krajobrazowy.

## Metody i materiał badawczy

Materiał badawczy zebrano w 2007 roku na terenie Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Pomiarów dokonano łącznie na 50 powierzchniach badawczych statystyczno-matematycznego systemu inwentaryzacji i kontroli lasów. Zostały one wybrane losowo z sieci 362 stałych, kołowych powierzchni próbnych tego systemu (rys. 2), znajdujących się w strefie regła dolnego w litych drzewostanach bukowych podzespołu typowego żyznej buczyny karpackiej (*Dentario glandulosae-Fagetum – typicum*) i rosnących na siedlisku lasu górskiego. Pomiar w terenie (rys. 3) został wykonany zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką statystyczno-matematycznego systemu inwentaryzacji i kontroli lasu (Rutkowski, 1989; Przybylska, 1993; 1995) na wybranych kołowych powierzchniach próbnych o wielkości 0,04 ha, rozmieszczonych w regularnej siatce kwadratów o więźbie podstawowej 500 x 500 m.

Zakres prac terenowych obejmował pomiar szeregu różnych cech strukturalnych w poszczególnych warstwach roślinności drzewostanu: pierśnicy, wysokości, długości i szerokości korony, itp. Ponadto, na wszystkich stanowiskach próbnych pomierzono azymuty i odległości od środka powierzchni do wszystkich drzew w warstwie drzewostanu. Pomiar



Rys. 3. Zakres pomiarów na powierzchniach

te posłużyły analizom przestrzennym dotyczącym rozmieszczenia drzew w leśnej przestrzeni.

Wyniki pomiarów zaimportowano tworząc modele typu CAD (rys. 4), które służyły analizom przestrzennym. Przeprowadzono również analizę statystyczną wybranych cech, a następnie wyliczono dla każdej powierzchni jednostkowe pole i przestrzeń jednego drzewa.

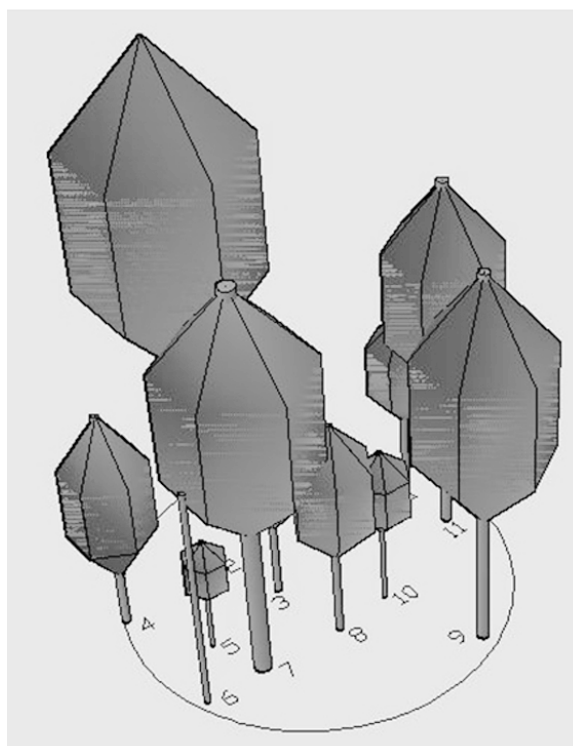
Obliczenie jednostkowego pola ( $P$ ) opisującego powierzchnię zajmowaną przez pojedyncze drzewo dokonano na podstawie liczebności drzew, według wzoru:

$$P = \frac{F}{n}$$

gdzie:  $F$  – wielkość stanowiska próbnego,  $n$  – liczba wszystkich drzew na danym stanowisku.

Przeźnię pojedynczego drzewa ( $PR$ ) określono przyjmując za podstawę obliczeń wysokość drzew i szerokość koron, według wzoru:

$$PR = \frac{\sum_{k=1}^n (p_k \times h_k)}{n}$$



Rys. 4. Model powierzchni badawczej

gdzie:  $p_k$  – powierzchnia rzutu korony drzewa  $k$  liczona według wzoru:

$$p_k = \frac{\pi d_k^2}{4},$$

$h_k$  – wysokość drzewa  $k$ ,

$d_k$  – szerokość korony drzewa  $k$ .

Aby zbadać sposób rozmieszczenia drzew w przestrzeni wykorzystano indeks Clarka i Evansa w modyfikacji Donnelly'ego (Brzeziecki, 2002). Wyróżnia się trzy podstawowe wzorce przestrzennego rozmieszczenia: losowy, skupiskowy i równomierny. Obliczanie wskaźnika Clarka i Evansa w modyfikacji Donnelly'ego można podzielić na kilka etapów:

- Obliczenie średniej odległości empirycznej

$$\overline{rA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i$$

gdzie:

$N$  – liczba drzew,

$r_i$  – odległość od drzewa  $i$  do jego najbliższego sąsiada.

- Obliczenie wartości oczekiwanej średniej odległości przy losowym rozmieszczeniu drzew

$$\overline{rE} = \frac{1}{2\sqrt{p}}$$

gdzie:

$p$  – zagęszczenie drzewostanu (liczba drzew/powierzchnia drzewostanu).

- Obliczenie indeksu Clarka i Evansa:

$$R = \frac{\overline{rA}}{\overline{rE}}$$

przy czym:

$R=1$ , w przypadku pełnej losowości rozmieszczenia;

$R<1$ , w przypadku tendencji w kierunku skupiskowości;

$R>1$ , w przypadku tendencji w kierunku równomierności.

Do analizy budowy piętrowej wykorzystano klasyfikację IUFRO (Szymański, 2000) dotyczącą stanowiska biologicznego drzewa, według której drzewostan dzieli się na trzy warstwy:

100 – warstwa górna – wysokość drzewa = 2/3–3/3 maksymalnej wysokości drzewostanu,

200 – warstwa środkowa – wysokość drzewa = 1/3–2/3 maksymalnej wysokości drzewostanu,

300 – warstwa dolna – wysokość drzewa = mniej niż 1/3 maksymalnej wysokości drzewostanu.

## Wyniki

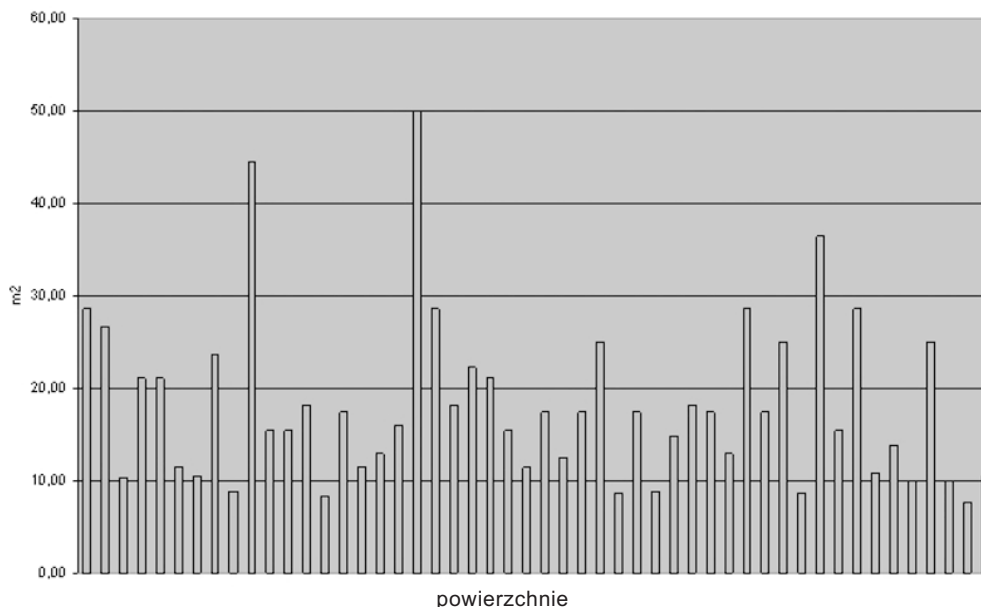
Z charakterystyki statystycznej materiału badawczego (tab.) wynika, że średnia liczba drzew na badanych powierzchniach wynosiła 26,82. Na niewielu powierzchniach liczba ta przekroczyła 30,00 drzew, a jednej osiągnęła wartość maksymalną 52,00. Średnia wysokość badanych drzewostanów wynosi 21,60 m, najwyższe drzewa osiągały maksymalnie 30,00 m. Najbardziej zmienną cechą jest liczba podrostu, która to osiąga wartości od 0,00 do 186,00 sztuk.

**Tabela.** Charakterystyka statystyczna powierzchni badawczych

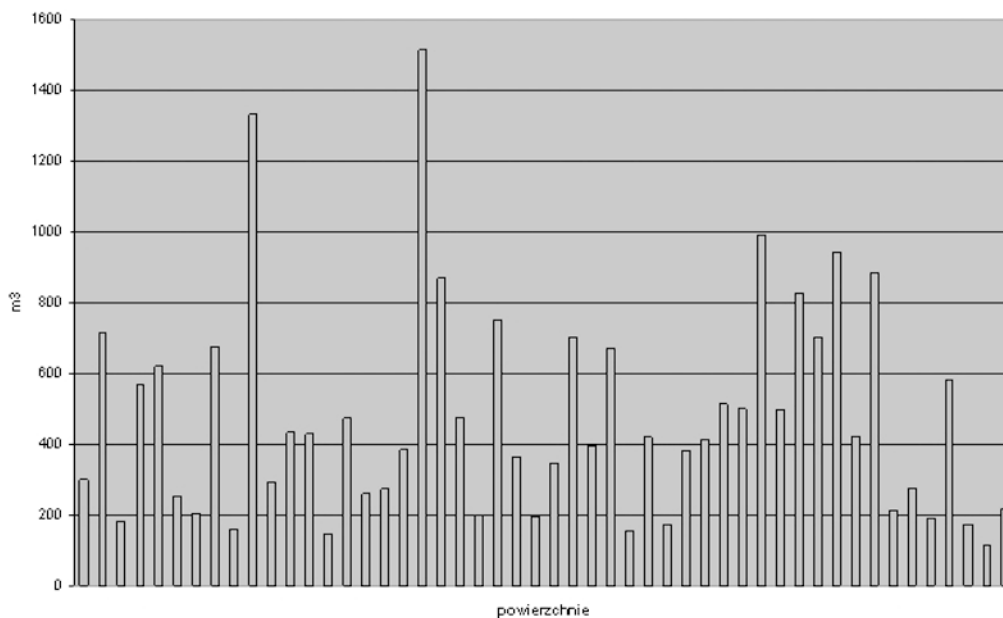
| Cecha           | Średnia | Mediana | Minimum | Maksimum | Rozstęp | Odchylenie standardowe |
|-----------------|---------|---------|---------|----------|---------|------------------------|
| Liczba drzewa   | 26,82   | 24,00   | 8,00    | 52,00    | 44,00   | 11,24                  |
| Pierśnica       | 24,44   | 23,80   | 14,75   | 36,82    | 22,07   | 5,26                   |
| Wysokość        | 21,60   | 21,12   | 13,87   | 30,00    | 16,13   | 3,97                   |
| Liczba podrostu | 27,30   | 9,50    | 0,00    | 186,00   | 186,00  | 40,93                  |
| Liczba nalotu   | 7,40    | 2,00    | 0,00    | 77,00    | 77,00   | 14,94                  |

Jednostkowe pole drzew zawiera się w zakresie 7,69–50,00 m<sup>2</sup> i na większości powierzchni nie odbiega ono znacznie od średniej wartości (18,13 m<sup>2</sup>). Jedynie na kilku jest znacznie wyższe i osiąga maksymalne wartości z powodu małej liczby drzew na powierzchni. Jest to charakterystyczne dla starszych faz rozwojowych, gdzie występuje mała liczbą drzew o dużych wymiarach.

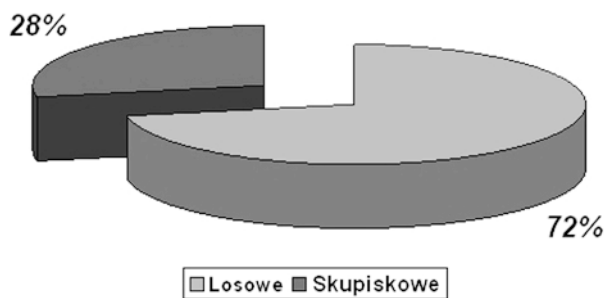
Wykres przedstawiający przestrzeń pojedynczego drzewa (rys. 6) jest bardzo podobny do wykresu jednostkowego pola (rys. 5). Średnia przestrzeń drzewa wynosi 475,17 m<sup>3</sup>.



**Rys. 5.** Jednostkowe pole drzew



Rys. 6. Przestrzeń pojedynczego drzewa



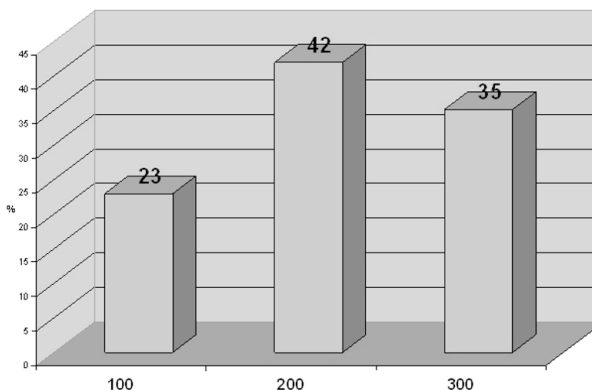
Rys. 7. Rozmieszczenie drzew

Na powierzchniach w młodszych fazach rozwojowych, gdzie jest duża liczba drzew o małych rozmiarach wartość tej cechy wynosi ok. 120,00 m<sup>3</sup>.

Dzięki zastosowaniu indeksu Clarka i Evansa w modyfikacji Donnelly'ego możliwe było przebadanie sposobu rozmieszczenia drzew na powierzchniach badawczych.

Uzyskane wyniki wskazywały na dominację losowego sposobu rozmieszczenia (72%). Tylko nieliczne przypadki wskazywały na rozmieszczenie skupiskowe (rys. 7). Nie odnotowano ani jednego przypadku równomierności.

Wyniki analizy budowy pionowej wykazują występowanie drzew w trzech piętrach starodrzewu (rys. 8), zgodnie z założeniem Jaworskiego odnośnie budowy pięterowej (Jaworski i in., 2000).



Rys. 8. Budowa pionowa

Najmniej wykształcone jest piętro górne (23%), zaś najsilniej środkowe (42%) co jest charakterystyczne dla drzewostanów tego typu jak buczyna karpacka.

## Podsumowanie i wnioski

Badania zmierzały do analizy materiału badawczego zebranego pod kątem wypełnienia leśnej przestrzeni. Planowana jest także próba zbadania dynamiki procesu wzrostu i rozwoju lasu w dziesięcioletnim okresie kontrolnym, z uwzględnieniem podziału na fazy rozwojowe. Zaproponowano wskaźniki umożliwiające charakterystykę przestrzeni (jednostkowe pole drzew, jednostkowa przestrzeń drzew). Określenie takich parametrów może służyć analizom zorganizowania leśnej przestrzeni wewnątrz drzewostanu. Mogą one w przyszłości dostarczyć ważnych wskazówek dla planowania hodowlanego i urządzeniowego. Potrzebne są dalsze badania związane z analizą przestrzeni w celu stworzenia syntetycznych wskaźników określających cechy strukturalne i dynamiczne dla wszystkich drzewostanów. Bazę danych mogły by stanowić pomiary uzyskane w trakcie wykonywania Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Lasu.

Wyniki wstępnych badań prowadzą do następujących wniosków:

1. Jednostkowe pole i przestrzeń pojedynczego drzewa zależą głównie od fazy rozwojowej, w jakiej znajduje się aktualnie drzewostan, a co za tym idzie od liczby drzew.
2. Badania indeksu Clarka i Evansa w modyfikacji Donnelly'ego wskazują na małe tendencje do tworzenia się biogrup.
3. Uzyskane wyniki potwierdzają pierwotny charakter lasów bukowych na danym obszarze zgodnie z założeniami Jaworskiego (Jaworski i in., 2000).

## Literatura

- Brzeziecki B., 2002: wskaźniki zróżnicowania struktury drzewostanu. *Sylvan* 4, s. 69-79.
- Jaworski A., Kołodziej Z., Opyd Z., 2000: Bukowe lasy o charakterze pierwotnym jako model lasów przerebowych. *Acta Agr. et Silv., Ser. Silv.*, vol. 38: 3-31.
- Miś R., Sugiero D., 2004: Jednostkowe pole i przestrzeń drzew młodego pokolenia w dwugeneracyjnej buczynie karpackiej. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3 (1), 25-39.
- Przybylska K., 1993: Badanie dynamiki procesów lasotwórczych na podstawie stałych powierzchni próbnych statystyczno-matematycznego systemu inwentaryzacji i kontroli lasu. *Rocz. Bieszcz.* 2: 95-108.
- Przybylska K., 1995: Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach Bieszczadzkiego Parku Narodowego. *Rocz. Bieszcz.* 4: 254-255.
- Rutkowski B., 1989: Urządzanie lasu. Cz. I. Skrypt dla Szkół Wyższych. AR Kraków.
- Szafański J., 1993: Koncepcja organizacji ochrony zasobów przyrodniczych Międzynarodowego Rezerwatu Biosfery „Karpaty Wschodnie” w części Parków Krajobrazowych: Doliny Sanu i Ciśniańsko-Wetlińskiego. *Rocz. Bieszcz.* 2: 25-31.
- Szymański S., 2000: Ekologiczne podstawy hodowli lasu. PWRiL, Warszawa.

**Abstract**

*The filling of forest space should be defined by a set of synthetic indicators describing structural and dynamic features. The utilization of these indicators in forest sciences, such as forest management or forest nursery could help in research of development processes in forests. This is necessary in planning the activity related to forest management and protection, in particular – to forest regeneration, maintenance and utilization.*

*An attempt to analyze the filling of forest space was taken in 2007. The experimental material was collected from 50 circular test plots located in the community of fertile Carpathian beech forests in lower-mountain zone of Bieszczady National Park. The results of measurements were imported to AutoCAD 2007 software that was used for spatial analyses.*

*The range of works in the field included measurements of many different structural features in all plant layers of the stand. Moreover, on all test plots azimuths of each tree, as well as distance from the center of the plot to all trees from old-tree layer were measured. These measurements were used for spatial analyses of the distribution of trees in forest space.*

*Area of one tree is contained at a range of 7,69–50,00 m<sup>2</sup> and on most test plots it did not deviate very much from the average value (18,13 m<sup>2</sup>). Average space of one tree amounted to 475,17 m<sup>3</sup>. On plots in the younger development phases, where there were more trees with small dimensions, value of space of one tree amounted to ca. 120 m<sup>3</sup>. Besides, random spatial type of distribution of trees dominated on most plots (72%) and not many cases pointed at group distribution.*

*In this study, some indicators were suggested to make forest space characteristics possible. Determination of these parameters may serve analyses of the structure of forest space within the stand. In the future, the indicators can provide some important hints in forest silvicultural and management planning. Further research is needed related to spatial analysis in order to create the synthetic indicators describing structural and dynamic features of all types of stands.*

mgr inż. Marcin Chirrek  
chirrek@up.poznan.pl

dr inż. Paweł Strzeliński  
strzelin@up.poznan.pl

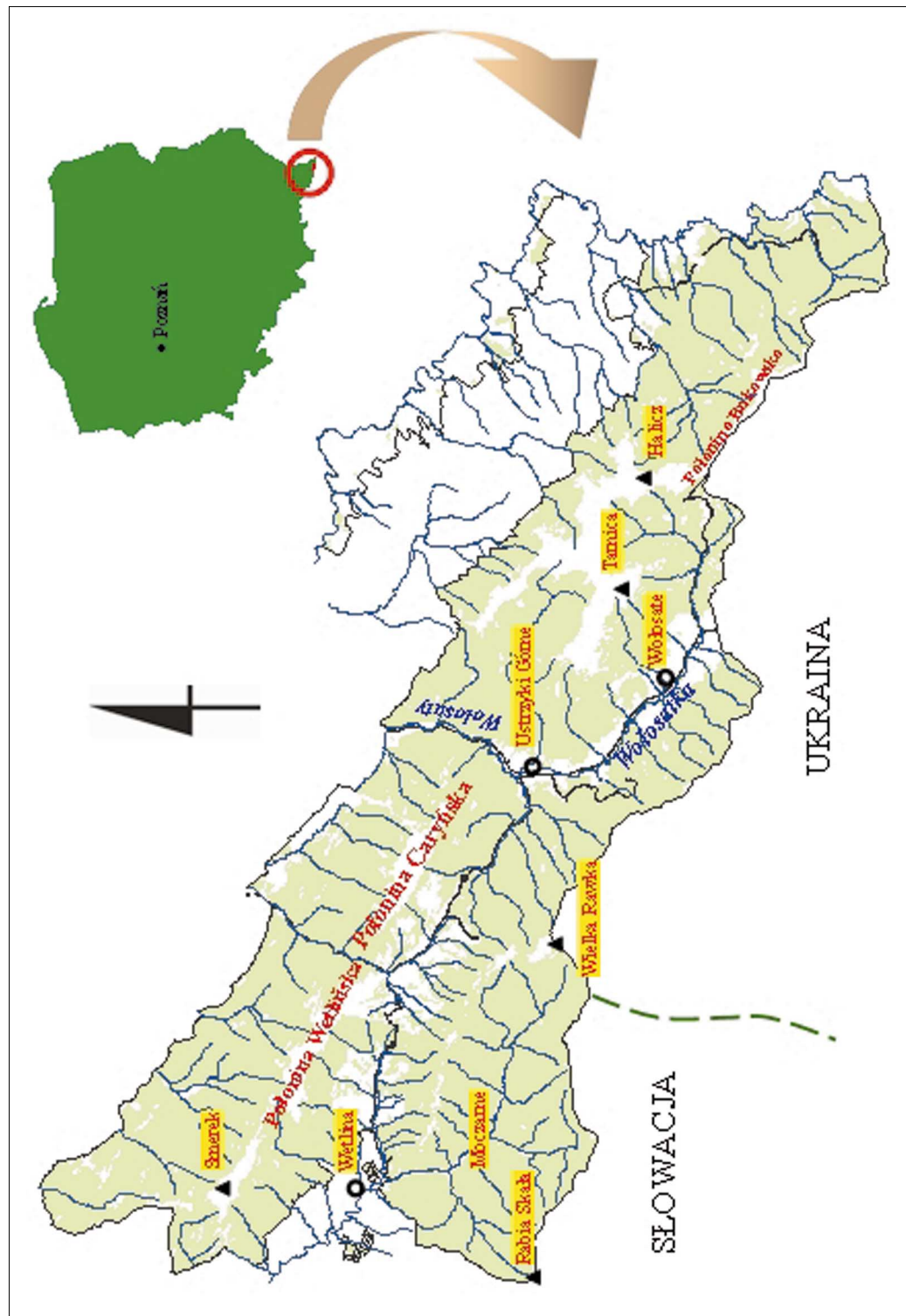
mgr inż. Agata Wencel  
agata.wencel@up.poznan.pl

dr inż. Damian Sugiero  
Sugier@up.poznan.pl

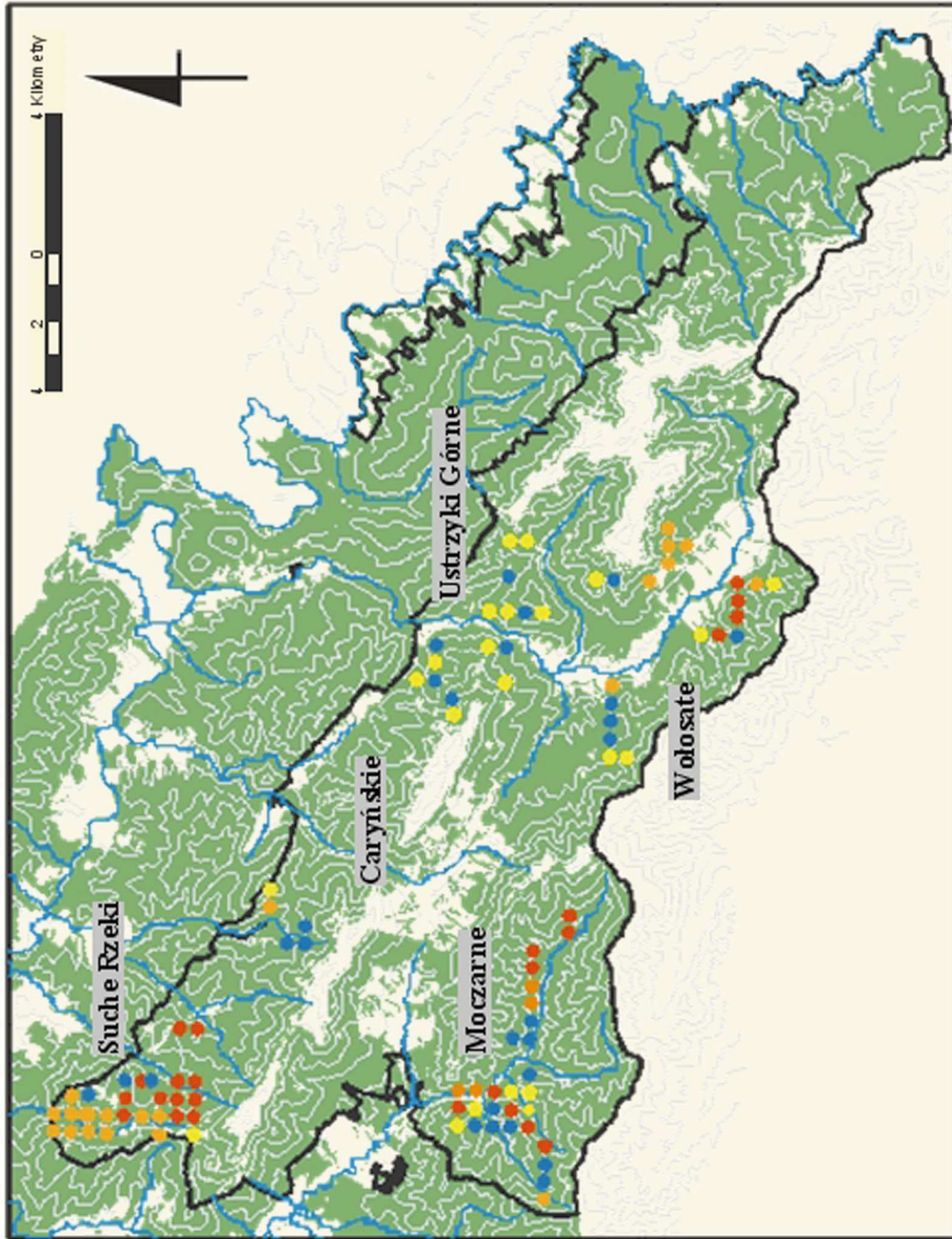
dr inż. Andrzej Węgiel  
wegiel@up.poznan.pl

<http://www.up.poznan.pl/kul/>  
tel.+48 61 848 76 67, -7663, -7669





Rys. 1. Obiekt badań – Bieszczadzki Park Narodowy



Rys. 2. Rozmieszczenie powierzchni badawczych