

ZDJĘCIA HEMISFERYCZNE W OCENIE WPŁYWU STOPNIA PRZEŚWIETLENIA DRZEWOSTANU NA SKŁAD GATUNKOWY RUNA W WYBRANYCH STARODRZEWACH KAMPINOSKIEGO PARKU NARODOWEGO

Monika Konatowska¹, Paweł Przybylski^{1,2}, Paweł Rutkowski¹✉, Łukasz Tyburski³,
Kateryna Fyałkowska²

¹Katedra Siedliskoznawstwa i Ekologii Lasu, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 71F, 60-625 Poznań

²Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn

³Kampinoski Park Narodowy
ul. Tetmajera 38, 05-080 Izabelin

ABSTRAKT

Zakres prac obejmował wykonanie zdjęć hemisferycznych oraz fitosocjologicznych, obliczenie stopnia prześwietlenia drzewostanu oraz wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera. Analiza wykazała różnice w stanie prześwietlenia koron pomiędzy drzewostanami rosnącymi na siedliskach lasu mieszanego oraz boru mieszanego świeżego, nie potwierdziła jednak statystycznie istotnego wpływu stopnia prześwietlenia na liczbę gatunków runa, w danych warunkach opisujących powierzchnie badawcze. Wykazano, że wysoki stopień naturalności 200-letnich drzewostanów, wyrażony liczbą typowo leśnych gatunków runa nie przekłada się na dużą liczbę roślin występujących w dnie lasu. W pracy zwrócono także uwagę na ograniczoną możliwość wykorzystania ekologicznych liczb wskaźnikowych Ellenberga w ocenie troficzności siedlisk leśnych.

Słowa kluczowe: ażurowość koron, runo leśne, mikroklimat

WSTĘP

Lasy należą do najbardziej złożonych ekosystemów lądowych. Na organizmy w nich bytujące mają wpływ czynniki naturalne i antropogeniczne. Do naturalnych czynników należą warunki siedliskowe (klimat, położenie geograficzne, gleba), pożary i huragany oraz wzajemne interakcje pomiędzy światem roślin i zwierząt. Do czynników naturalnych możemy także włączyć zmiany w składzie gatunkowym runa,

postępujące za zmianami faz rozwojowych drzewostanu. Do czynników antropogenicznych można zaliczyć m.in. sposób prowadzenia gospodarki leśnej (Przybylski i in., 2021). Każdy z tych czynników wpływa na skład gatunkowy drzewostanu, a ten kształtuje mikroklimat wnętrza lasu. Z kolei światło docierające do dna lasu, wilgotność powietrza i temperatura panująca pod okapem drzew wywierają wpływ na skład

Badania dofinansowano ze środków funduszu leśnego przez Lasy Państwowe, w latach 2020–2021.

✉rebede@wp.pl, <https://orcid.org/0000-0003-3614-8923>, phone +48 608 295 052

gatunkowy runa. Zellweger i in. (2020) wykazali, że wzajemne oddziaływanie roślin i mikroklimatu jest kluczem do zrozumienia bioróżnorodności lasów. W przytoczonej pracy autorzy zwracają m.in. uwagę na związek między zwarcie koron, mikroklimatem leśnym a pokrywą roślinną dna lasu, wykazując spadek różnorodności gatunkowej roślin wraz z postępującym rozrzedzaniem drzewostanu.

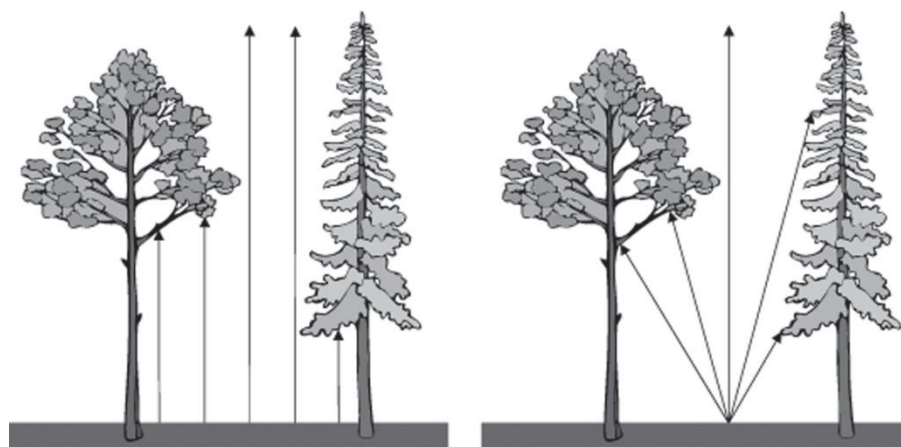
Celem niniejszej publikacji było wykazanie wpływu prześwietlenia drzewostanu na skład gatunkowy oraz liczbę gatunków runa w wybranych starodrzewach Kampinoskiego Parku Narodowego.

W odniesieniu do stopnia zagęszczenia koron drzew są używane różne pojęcia. W leśnictwie powszechnie stosuje się termin ‘zwarcie’, który jest ważnym wskaźnikiem zarówno ekologicznym, jak i ekonomicznym. W urządzaniu lasu zwarcie jest miarą konkurencji koron drzew i jest wyrażane w skali czterostopniowej (zwarcie: pełne, umiarkowane, przerywane i luźne; Instrukcja..., 2012). Z przyrodniczego punktu widzenia istotne znaczenie ma ażurowość definiowana jako (Kocięcki i in., 1991):

[...] cecha strukturalna drzewostanu, decydująca o możliwości przenikania światła i opadów do dna lasu oraz o pionowych ruchach powietrza w lesie. Ażurowość drzewostanu określa się jako stosunek sumarycznej powierzchni pionowych rzutów przerw w pułapie drzewostanu do ogólnej powierzchni drzewostanu i wyraża się w procentach.

W literaturze jest też używane pojęcie określające odwrotność ażurowości. Chodzi o pokrycie koron drzewostanu (ang. *canopy cover*), stanowiące procent dna lasu zakryty przez rzut pionowy koron drzew (Korhonen i in., 2006). Korhonen i in. (2006) zwracają też uwagę, by wyraźnie odróżniać pojęcie rzutu koron (*canopy cover*) od terminu *canopy closure* (w niniejszym artykule rozumianego jako zwarcie drzewostanu, w odróżnieniu od zwarcia koron w ujęciu urządzania lasu) oznaczającego część półkuli nieba przesłoniętą przez roślinność oglądaną z jednego punktu (rys. 1).

Rozróżnienie to jest istotne z uwagi na różne techniki pomiaru (Paletto i Tosi, 2009) oraz cel badań. Do badań ekologicznych Paletto i Tosi zalecają stosować



Rys. 1. Rzut koron (*canopy cover*; lewa strona rysunku) oraz ażurowość są zawsze mierzone w pionie, natomiast zwarcie drzewostanu (*canopy closure*, z prawej) jest mierzone z punktu obserwatora (punktu pomiaru) w różnych kierunkach
Źródło: Korhonen i in. (2006).

Fig. 1. Canopy cover and canopy gaps are always measured vertically (left side of the figure), while canopy closure (right) is measured from the observer's point (measurement point) in different directions

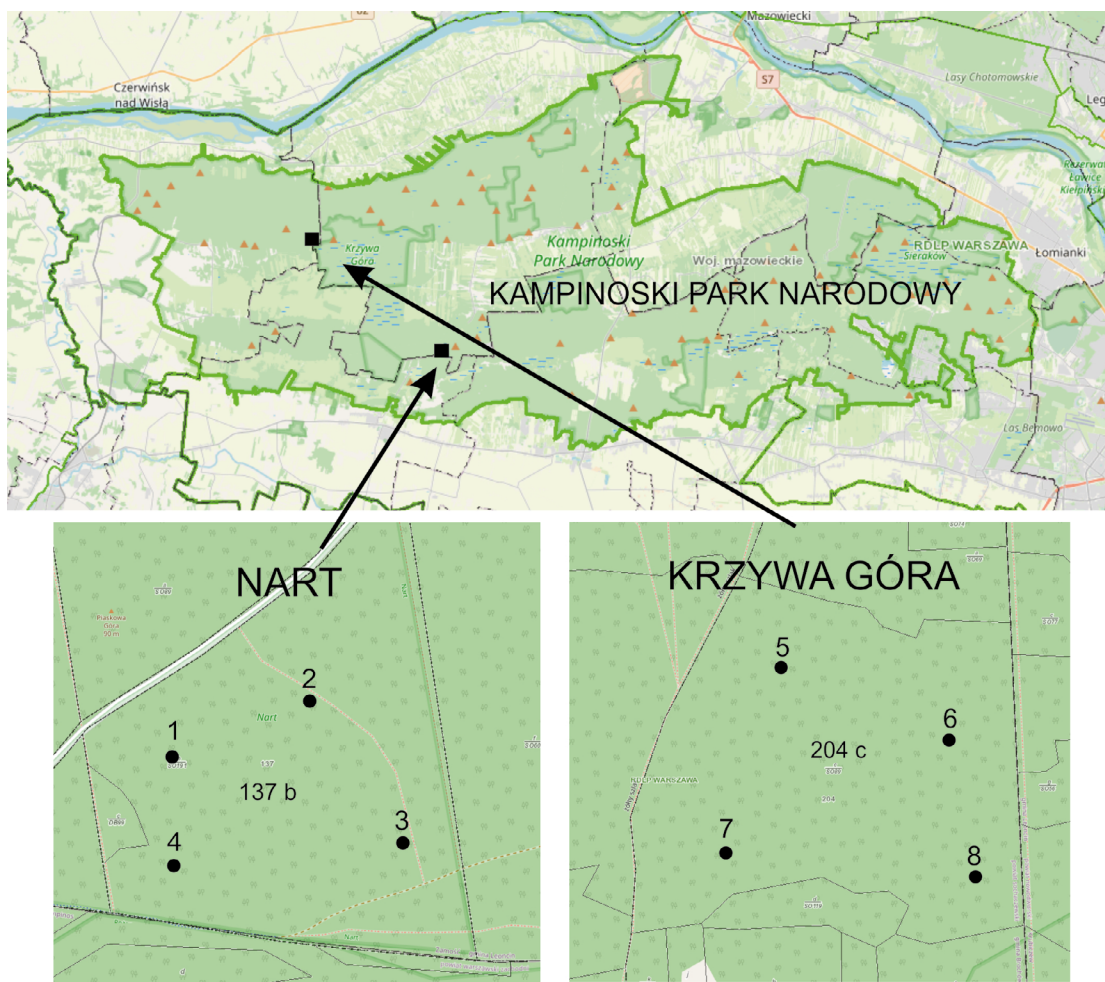
Source: Korhonen et al. (2006).

zwarcie drzewostanu (*canopy closure*). Spośród różnych technik pomiaru obaj autorzy wymieniają zdjęcia hemisferyczne, które można stosować zarówno w odniesieniu do rzutu koron (*canopy cover*) oraz ażurowości (przy wąskim kącie widzenia), jak i do zwarcia drzewostanu (*canopy closure*; przy ustawieniu szerokiego kąta). W niniejszej pracy zastosowano drugą z wymienionych metod.

OBZAR BADAŃ

Badania wykonano w Kampinoskim Parku Narodowym (dalej zwanym KPN) w dwóch lokalizacjach

będących obszarami ochrony ścisłej: Nart i Krzywa Góra (rys. 2). W **obszarze ochrony ścisłej Nart** powierzchnie badawcze założono w pododdziale 137b, w którym drzewostan tworzy sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) w wieku 209 lat (wg danych z Banku Danych o Lasach, zgodnie ze stanem na czas badań, tj. 2020 r.), rosnąca na glebach rdzawych właściwych, na siedlisku lasu mieszanego świeżego (LMśw). W **obszarze Krzywa Góra** powierzchnię badawczą założono w pododdziale 204c, gdzie na siedlisku boru mieszanego świeżego (BMśw), na glebach bielicowych właściwych rośnie drzewostan sosnowy w wieku 107 lat (BDL wg stanu na 2020 r.) (tab. 1).



Rys. 2. Lokalizacja powierzchni badawczych
Fig. 2. Location of research plots

METODY BADAŃ

Zakres badań obejmował: wytypowanie powierzchni badawczych, wykonanie na nich zdjęć hemisferycznych oraz zdjęć fitosocjologicznych, obliczenie stopnia prześwietlenia drzewostanu oraz wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera (H), a także analizę statystyczną zebranych danych.

Zdjęcia hemisferyczne i ocena stopnia prześwietlenia drzewostanu

Procedura wykonania i analizy zdjęć składała się z trzech etapów: wykonania zdjęcia, segmentacji uzyskanego obrazu i interpretacji uzyskanego obrazu. Zdjęcia wykonano w lipcu 2020 r., na czterech poletkach badawczych, w każdej z dwóch lokalizacji (Nart i Krzywa Góra). Następnie w programie Gap Light Analyzer (Frazer i in., 1999) obliczono sumaryczny udział prześwitów (*gaps*) w drzewostanie oraz efektywny wskaźnik powierzchni liści (LaI). Termin *gap* powszechnie tłumaczy się jako luka (tu luka w drzewostanie), ale w leśnictwie pojęcie ‘luka’ odnosi się do obszaru pozbawionego drzewostanu, który z uwagi na niewielką powierzchnię nie spełnia kryteriów wyłączenia. Dlatego autorzy przyjęli określenie ‘prześwit’.

Prace fitosocjologiczne

W analizowanych lokalizacjach – Nart i Krzywa Góra – wykonano w lipcu 2020 r. po cztery zdjęcia fitosocjologiczne w analogicznych do zdjęć hemisferycznych poletkach badawczych. Zdjęcia fitosocjolo-

giczne wykonano metodą Braun-Blanqueta (1964) na powierzchni kołowej o promieniu 5,64 m, czyli 100 m². Gatunki spisywano z podziałem na warstwy: A – warstwa drzewa (z podziałem na piętra A1 i A2), B – krzewy i podrost drzew powyżej 50 cm wysokości, C – rośliny zielne, drzewa i krzewy do 50 cm wysokości oraz D – mszaki.

Nazwy gatunków roślin naczyniowych przyjęto za Mirkiem i in. (2002), natomiast nazwy gatunków mszaków – za Ochyrą i in. (2003).

Gatunkom roślin wykazanych w zdjęciach przypisano wartości wskaźników siedliskowych – światłny (L), wilgotności (F), kwasowości gleby – pH (R) oraz żyzności (N) – na podstawie wartości ekologicznych liczb wskaźnikowych (Ellenberg i in., 1991). Następnie obliczono średnie wartości poszczególnych wskaźników dla danej powierzchni reprezentowanej zdjęciem fitosocjologicznym według następującej procedury:

1. wartość wskaźnika dla danego gatunku pomnożono razy pokrycie gatunku w danym zdjęciu (pokrycie przeliczono ze stopni Braun-Blanqueta na wartości $r = 0; + = 0,1; 1 = 5; 2 = 17,5; 3 = 37,5; 4 = 62,5; 5 = 87,5$)
2. wyniki mnożenia z pkt 1 zsumowano dla wszystkich gatunków w zdjęciu
3. zsumowano pokrycie gatunków występujących w zdjęciu
4. podzielono sumę z pkt 2 przez sumę z pkt 3.

Poniżej podano współrzędne lokalizacji punktów, w których wykonano zdjęcia hemisferyczne i fitosocjologiczne.

Tabela 1. Współrzędne powierzchni badawczych
Table 1. The coordinates of the research plots

Obszar Name of research area	Numer powierzchni Research plot number	Adres leśny Forest address	Szerokość geograficzna północna (N) North latitude (N)	Długość geograficzna wschodnia (E) East longitude (E)
Nart	1	98-79-1-14-02137-b	52°17'47"	20°29'59"
	2		52°17'50"	20°30'08"
	3		52°17'44"	20°30'13"
	4		52°17'43"	20°29'59"
Krzywa Góra	5	98-79-2-25-02204-c	52°20'31"	20°25'11"
	6		52°20'29"	20°25'21"
	7		52°20'25"	20°25'08"
	8		52°20'24"	20°25'22"

Obliczenie wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera (H)

Dla każdej powierzchni obliczono wskaźnik różnorodności Shannona-Wienera (H) według poniższego wzoru (Morris i in., 2014):

$$H = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad p_i = \frac{n_i}{N_i}$$

gdzie: p_i – stosunek sumy pokrycia danego gatunku (n_i) do sumy pokrycia wszystkich gatunków roślin (N_i).

Finalnie uzyskane wartości pomnożono razy -1 (H).

Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki średnich wartości ze zdjęć hemisferycznych i liczby gatunków runa leśnego poddano analizie korelacji w programie Statistica 13.1. Analiza korelacyjna została przeprowadzona poprzez wyliczenie współczynnika determinacji R^2 . Współczynnik determinacji R^2 , który informuje, jaka część zmienności została opisana przez model, przyjmując wartości w zakresie $[0-1]$. Dopasowanie modelu jest tym lepsze, im wartość R^2 jest bliższa 1.

WYNIKI

Analiza zdjęć hemisferycznych

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że drzewostan Nart jest bardziej zwarty od drzewostanu Krzywa Góra, co przekłada się na ilość światła docierającą do dna lasu. Drzewostan Nart ma także wyższą wartość efektywnej powierzchni liści w odniesieniu do Krzywej Góry, szczególnie dla wartości LaI5. W zakresie wewnętrznej zmienności badanych lokalizacji w drzewostanie Nart można wyróżnić powierzchnię numer 4, o najwyższym udziale prześwietów w drzewostanie, charakteryzującą się najwyższą wartością odchylenia standardowego (tab. 2) w tej lokalizacji. Drzewostany w obiekcie Krzywa Góra są mniej zwarte względem Nartu i wykazują niższe wartości LaI4 i LaI5.

Analiza zdjęć fitosocjologicznych

Łącznie wykonano osiem zdjęć fitosocjologicznych, z których wyniki zestawiono w tabeli 3. Na powierzchniach Nart i Krzywa Góra stwierdzono występowanie ogółem 43 gatunków, w tym 27 gatunków roślin naczyniowych oraz 16 gatunków mszaków. Wszystkie gatunki są rodzime. Nie stwierdzono także gatunków

Tabela 2. Uzyskane średnie wyniki analizy zdjęć hemisferycznych dla wskaźników: % site open – procent prześwietów w drzewostanie (Lu), Leaf area Index (LaI) w wartościach LaI4 (0–60° od linii zenitu) i LaI5 (0–75° od linii zenitu)

Table 2. The obtained mean results of the analysis of hemispherical pictures for the indicators: % site open – percentage of gaps in the stand (Lu), Leaf area Index (LaI) in the values of LaI4 (0–60° from the zenith line) and LaI5 (0–75° from the zenith line)

Obszar Name of research area	Numer powierzchni Research plot number	Lu, %	LaI4	LaI5	Lu, %	LaI4	LaI5
			średnia mean value		odchylenie standardowe standard deviation		
Krzywa Góra	8	17,4	1,8	1,8	2,2	0,3	0,1
	6	18,9	1,8	1,7	1,5	0,1	0,1
	7	17,0	1,9	1,8	2,8	0,2	0,2
	5	17,4	1,7	1,9	1,9	0,1	0,1
Nart	4	18,0	1,9	1,8	1,8	0,1	0,1
	1	12,0	2,3	2,2	1,1	0,2	0,1
	2	12,1	2,3	2,2	1,2	0,2	0,2
	3	15,0	2,0	1,9	1,4	0,1	0,1

Tabela 3. Zestawienie zdjęć fitosocjologicznych z powierzchni badawczych
Table 3. Phytosociological data from the research plots

Lokalizacja – Location		Nart				Krzywa Góra			
Numer powierzchni Research plot number		1	2	3	4	5	6	7	8
Data – Date		7.07.2020							
Współrzędne geograficzne N North latitude (N)		52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3
Współrzędne geograficzne E East longitude (E)		20,5	20,5	20,5	20,5	20,4	20,4	20,4	20,4
Powierzchnia zdjęcia, m ² Plot area, m ²		100	100	100	100	100	100	100	100
Wystawa Slope exposure		–	SW	–	S	N	S	NW	S
Nachylenie, ° Slope angle, °		–	10	–	5	45	–	30	20
Pokrycie warstwy A1, % Cover of A1 layer, %		40	60	40	60	30	40	40	40
Pokrycie warstwy A2, % Cover of A2 layer, %		5	0	5	0	20	0	5	0
Pokrycie warstwy B, % Cover of B layer, %		40	5	20	5	20	20	20	30
Pokrycie warstwy C, % Cover of C layer, %		20	40	60	80	90	60	70	70
Pokrycie warstwy D, % Cover of D layer, %		1	1	5	10	80	80	90	90
Gatunki i warstwa Plant species and plant layer		Liczba gatunków w zdjęciu – Number of plant species							
		19	16	22	21	16	17	16	16
<i>Pinus sylvestris</i>	A1	1	2	1	2	3	3	3	3
<i>Quercus robur</i>	A1	3	3	3	3				
<i>Quercus robur</i>	A2	1				2			
<i>Betula pendula</i>	A2			1				1	
<i>Betula pendula</i>	B						+	1	+
<i>Carpinus betulus</i>	B	1		1	+				
<i>Corylus avellana</i>	B	3	+	2	1				1
<i>Frangula alnus</i>	B	+	+	+	+	2	1	+	2
<i>Juniperus communis</i>	B						+		
<i>Quercus robur</i>	B		1			+	2	2	1

Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.

Lokalizacja – Location		Nart				Krzywa Góra			
Numer powierzchni Research plot number		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Sorbus aucuparia</i>	B	+		+	+			+	+
<i>Betula pendula</i>	C								+
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	C		+	+		+		+	
<i>Calluna vulgaris</i>	C						+		
<i>Carpinus betulus</i>	C	+	+						
<i>Convallaria majalis</i>	C	1	2	1	1	+	+	+	+
<i>Corylus avellana</i>	C	+	+	+	+			+	+
<i>Dryopteris carthusiana</i>	C	+				+	+	+	
<i>Festuca ovina</i>	C						+	+	+
<i>Frangula alnus</i>	C	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Galeopsis bifida</i>	C	+				1			
<i>Hieracium murorum</i>	C				+				
<i>Juniperus communis</i>	C						+		
<i>Luzula pilosa</i>	C	+	+	+	1				+
<i>Maianthemum bifolium</i>	C	+	+	2	1				
<i>Melampyrum pratense</i>	C						+	+	+
<i>Melica nutans</i>	C				+				
<i>Moehringia trinervia</i>	C					+			
<i>Oxalis acetosella</i>	C				2	3			
<i>Pinus sylvestris</i>	C	+	+	+	+		+	+	+
<i>Polygonatum odoratum</i>	C			+					
<i>Pteridium aquilinum</i>	C			+	2				
<i>Quercus robur</i>	C		+			+	+	1	+
<i>Rubus idaeus</i>	C					+			
<i>Rubus nessensis</i>	C		+				+		
<i>Rubus saxatilis</i>	C	+							
<i>Sorbus aucuparia</i>	C	+	+	+	+	+		+	
<i>Trientalis europaea</i>	C	+	+	+	+	+	1	1	+
<i>Vaccinium myrtillus</i>	C	2	3	4	4	4	4	4	4
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	C					+	1	1	1

Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.

Lokalizacja – Location		Nart				Krzywa Góra			
Numer powierzchni Research plot number		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Atrichum undulatum</i>	D	+			1				
<i>Aulacomnium androgynum</i>	D	+	+	+					
<i>Brachythecium salebrosum</i>	D								+
<i>Brachythecium starkei</i>	D		+	+		+			
<i>Dicranella heteromalla</i>	D	+		+	+				
<i>Dicranum polysetum</i>	D			+			+	+	+
<i>Eurhynchium angustirete</i>	D	+		1	1				
<i>Hylocomium splendens</i>	D					4	4	4	4
<i>Hypnum cupressiforme</i>	D							+	
<i>Lophocolea bidentata</i>	D				+				
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	D			+					
<i>Plagiothecium curvifolium</i>	D	+	+		+				
<i>Pleurozium schreberi</i>	D					2	2	3	3
<i>Pohlia nutans</i>	D		+						
<i>Polytrichastrum formosum</i>	D				1		1		
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	D		+	+		1	2		1

nieleśnych, co można uznać za wysoki stopień naturalności badanych ekosystemów leśnych.

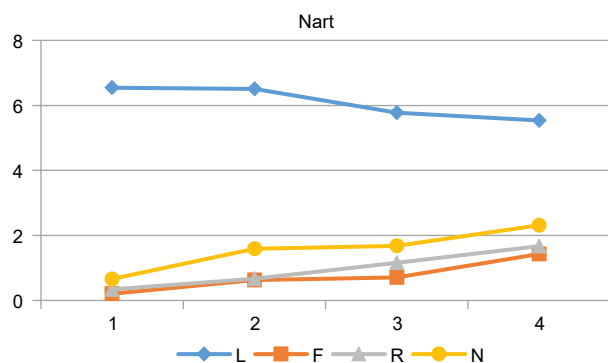
Na wyznaczonych stałych powierzchniach obserwacyjnych notowano średnio 18 gatunków, przy czym wyższą średnią liczbę gatunków wykazano dla lokalizacji Nart, w której drzewostan cechował się silniejszym zwarcieciem.

Wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera (H) wyniósł: 1,97 dla powierzchni Nart oraz 2,46 dla powierzchni Krzywa Góra.

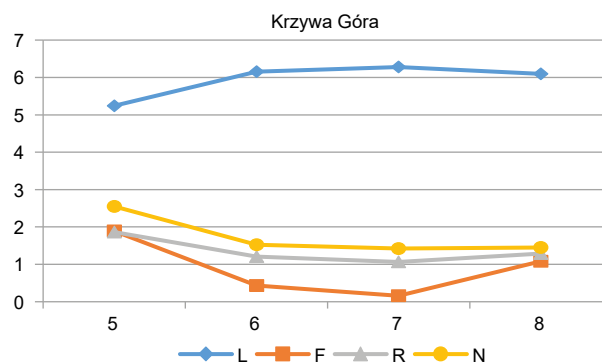
Dla każdego stwierdzonego w zdjęciach gatunku przypisano wartości wskaźników siedliskowych: świetlny (L), wilgotności (F), kwasowości gleby – pH (R) oraz żyzności (N). Rozkład wartości wskaźników siedliskowych (rys. 3 i 4) dla

lokalizacji Nart (Nt) i Krzywa Góra (KG) wskazuje w obu lokalizacjach na siedlisko: jasne (Nt – średnia $L = 6,09$; KG – średnia $L = 5,94$), suche (Nt – średnia $F = 0,74$; KG – średnia $F = 0,89$), kwaśne (Nt – średnia $R = 0,95$; KG – średnia $R = 1,35$) oraz ubogie w składniki pokarmowe (Nt – średnia $N = 1,5$; KG – średnia $N = 1,73$).

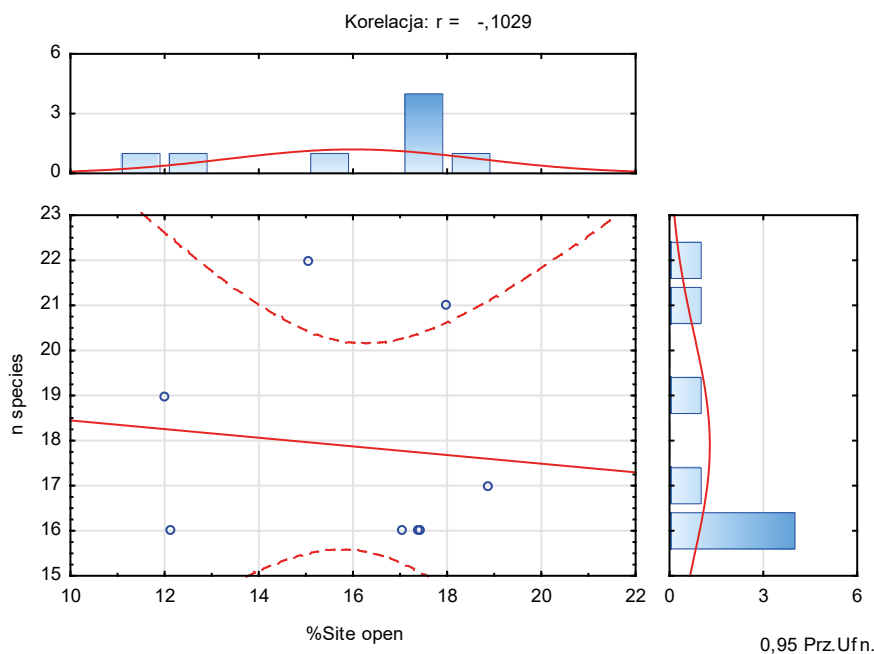
Przeprowadzona analiza korelacji parametrów liczby gatunków runa leśnego z sumarycznym udziałem prześwietów w drzewostanach oraz wskaźnikiem powierzchni liści Lai5 nie udowodniła występowania statystycznie istotnej zależności pomiędzy czynnikami. Wykazana korelacja liczby gatunków z prześwietami w koronach drzewostanu wynosi $-0,1$ (rys. 5), a korelacja liczby gatunków z wskaźnikiem Lai5 – $0,08$ (rys. 6).



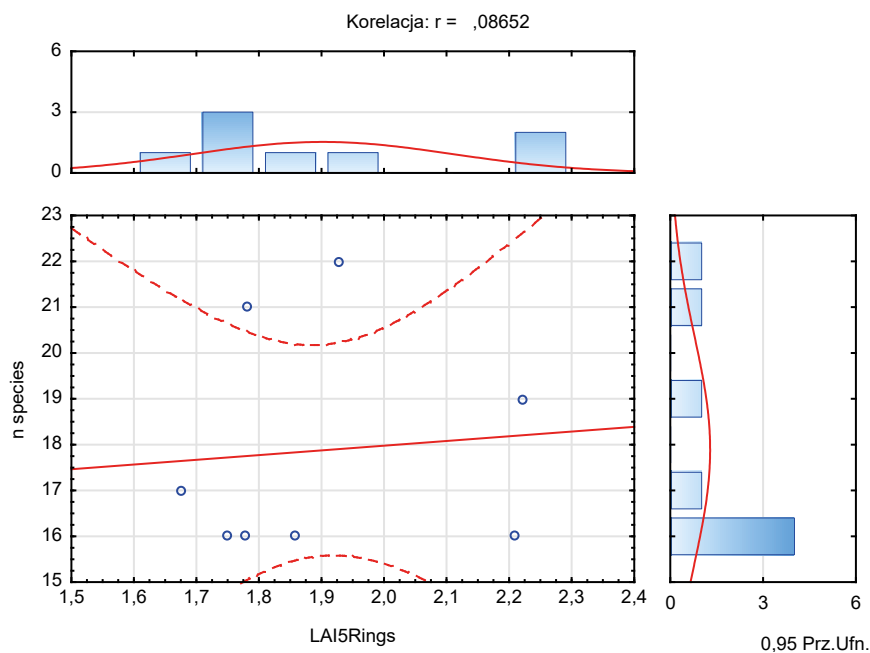
Rys. 3. Rozkład wartości wskaźników siedliskowych dla lokalizacji Nart. Kolorem niebieskim – świetlny (L), pomarańczowym – wilgotności (F), szarym – kwasowości gleby – pH (R) oraz żółtym – żyzności (N)
Fig. 3. Differentiation of values of habitat indicators for the Nart location. Blue color – light (L), orange – moisture (F), gray – soil acidity – pH (R) and yellow – fertility (N)



Rys. 4. Rozkład wartości wskaźników siedliskowych dla lokalizacji Krzywa Góra. Kolorem niebieskim – świetlny (L), pomarańczowym – wilgotności (F), szarym – kwasowości gleby – pH (R) oraz żółtym – żyzności (N)
Fig. 4. Differentiation of values of habitat indicators for the Krzywa Góra location. Blue color – light (L), orange – moisture (F), gray – soil acidity – pH (R) and yellow – fertility (N)



Rys. 5. Korelacja między liczbą gatunków roślin (n species) a procentowym udziałem prześwietów w koronach drzewostanu (% site open)
Fig. 5. Correlation between the number of plant species (n species) and the percentage of gaps in the canopy (% site open)



Rys. 6. Korelacja między liczbą gatunków roślin (n species) a wskaźnikiem LaI5
Fig. 6. Correlation between the number of plant species (n species) and the LaI5 index

DYSKUSJA

Zellweger i in. (2020) podają, że reakcje leśnych zespołów roślinnych na zmiany klimatu są związane najściślej ze zmianami mikroklimatu, a nie ze zmianami makroklimatu. Wynika to ze znanych od dawna różnic (m.in. Puchalski i Prusinkiewicz, 1975) między mikroklimatem wnętrza lasu a klimatem otwartej przestrzeni. Zjawiskiem znanym powszechnie jest docieranie do wnętrza lasu większej ilości światła wraz z rozrzedzeniem koron, co z kolei oddziałuje na temperaturę i wilgotność powietrza wnętrza lasu. Bez wątpliwości każda zmiana warunków siedliskowych wpływa na kompozycję roślin dna lasu w ujęciu zarówno ilościowym, jak i jakościowym. Na zależnościach między warunkami siedliskowymi a składem gatunkowym runa opiera się typologia leśna, a w pewnej mierze także fitosocjologia. Pomimo jednak znanej powszechnie wiedzy na temat wpływu klimatu na szatę roślinną, w typologii leśnej, na której bazuje gospodarka leśna kwestie makro-, a tym bardziej mikroklimatu lasu często są pomijane kosztem nadmiernie rozbudowanej analitycznej oceny gleby. Zwracał na

to uwagę Rutkowski (2012), opisując zmianę warunków mikroklimatycznych po zrębie zupełnym i wpływ zmian wywołanych tym zabiegiem na ocenę typu siedliskowego lasu. Wydaje się, że trudności z oceną wpływu mikroklimatu na ekosystem leśny wynikają z tego, że bez wątpliwości klimat wpływa na las, ale także las wpływa na klimat. W efekcie każdy typ drzewostanu, każda jego postać zróżnicowana pod względem składu gatunkowego, wieku czy zwarcia wywiera odmienny wpływ na skład ilościowy i jakościowy flory i fauny dna lasu. Na to nakładają się trudności w ocenie różnic występujących pomiędzy różnymi typami lasu, czy też zmian zachodzących w danym typie lasu na przestrzeni lat. Ilustrują to m.in. przykłady opisane w pracy Konatowskiej i Rutkowskiego (2021), wskazujące na malejącą liczbę gatunków roślin w porównywanych na przestrzeni 60 lat ekosystemach leśnych Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka, przy czym redukcja liczby gatunków nie musi oznaczać zmian niekorzystnych. W pewnej mierze oddają to także wyniki badań przytoczone w niniejszej pracy, wskazujące na relatywnie małą liczbę gatunków roślin na powierzchniach badawczych, przy jednocześnie

wysokim stopniu naturalności runa leśnego badanych drzewostanów. Należy jednak zwrócić uwagę, że lista gatunków roślin wykazanych w zdjęciach fitosocjologicznych, obejmująca wyłącznie gatunki o typowo leśnym charakterze nie musi oznaczać w pełni zrównoważonego ekosystemu leśnego. Spośród powierzchni objętych badaniami dotyczy to głównie drzewostanów w obszarze Nart, w których obecność leszczyny (*Corylus avellana*) oraz grabu (*Carpinus betulus*) wskazuje na roślinność potencjalną w typie lasu grabowo-dębowego. W tego typu zbiorowiskach sosnę uważa się za gatunek ekologicznie obcy.

Wyniki wskazują na szerokie możliwości interpretacji zgromadzonych danych opartych na zdjęciach hemisferycznych. Można zatem zgodzić się z twierdzeniem, które sformułowali Paletto i Tosi (2009), że analiza drzewostanu wykonana metodą zdjęć hemisferycznych, oddająca zwarcie drzewostanu (*canopy closure*), a nie rzut koron (*canopy cover*), jest użytecznym narzędziem w badaniach ekologicznych. Przeprowadzone badania wykazały bowiem silniejsze zwarcie drzewostanu w obszarze Nart, co koresponduje z różnicami w składzie gatunkowym drzewostanu w obu obiektach. W zdjęciach fitosocjologicznych w obszarze Nart dominuje dąb zacinający silniej dno lasu, a w obszarze Krzywa Góra – sosna. Pokrywa się to z wnioskami zawartymi w pracy Zellwegera i in. (2020), zgodnie z którymi liczba roślin powinna maleć wraz z rozrzedzeniem drzewostanu. Bogatszy skład gatunkowy runa może jednak wiązać się tu z żyźniejszym typem siedliskowym (las mieszany świeży w stosunku do boru mieszanego świeżego zdiagnozowanego w obszarze Krzywa Góra). Różnice te oddają także wskaźniki powierzchni liści (LaI) wyższe w obiekcie Nart. Warto dodać, że metoda analizy warunków siedliskowych na podstawie wskaźników Ellenberga – zgodnie z którą opisane w pracy powierzchni badawcze zaliczają się do siedlisk suchych i ubogich w składniki pokarmowe – nie oddaje faktycznej żyźności siedliska, jaką w przypadku obszaru Nart jest las mieszany świeży.

WNIOSKI

Analiza drzewostanu prowadzona metodą zdjęć hemisferycznych jest użytecznym narzędziem w badaniach ekologicznych. Przeprowadzone badania wykazały

różnice w stanie prześwietlenia koron między drzewostanami rosnącymi na siedliskach lasu mieszanego świeżego a boru mieszanego świeżego, nie potwierdziły jednak statystycznie istotnego wpływu stopnia prześwietlenia na liczbę gatunków runa. Wniosek ten dotyczy jednak ściśle określonych warunków, w których prowadzono badania i nie można go uogólniać na wszystkie przypadki zależności między stopniem prześwietlenia dna lasu a liczbą gatunków roślin.

Wykazano także, że wysoki stopień naturalności lasu, wyrażony liczbą typowo leśnych gatunków runa, nie przekłada się na dużą liczbę roślin występujących w dnie lasu. Przeciętna liczba gatunków notowanych na powierzchniach badawczych 200-letnich drzewostanów sosnowych Kampinoskiego Parku Narodowego była równa 18.

W pracy zwrócono uwagę na ograniczoną możliwość wykorzystania ekologicznych liczb wskaźnikowych Ellenberga w ocenie troficzności siedlisk leśnych. Dotyczy to w szczególności badanych siedlisk lasu mieszanego świeżego, które w ocenie wykonanej na podstawie wskaźników Ellenberga zostały zakwalifikowane jako suche i ubogie.

PIŚMIENNICTWO

- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde* (3rd ed.) [Phytosociology: Fundamentals of vegetation science]. Wien: Springer.
- Ellenberg, H. E., Weber, R., Düll, V., Wirth, W., Werner, D. (1991). *Paulissen Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa* [Indicator values of plants in Central Europe]. *Scr. Geobot.*, 18, 1–248.
- Frazer, G. W., Canham, C. D., Lertzman, K. P. (1999). *Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs. Users manual and program documentation*. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.
- Instrukcja urządzania lasu. Cz. 1 (2012). Instrukcja sporządzania projektu planu urządzania lasu dla nadleśnictwa. Załącznik do Zarządzenia nr 55 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 listopada 2011 r. Warszawa: CILP.
- Kocięcki, S., Zdanowski, A., Kolk, A., Rzadkowski, S., Sobczak, R. (1991). *Mała encyklopedia leśna* [Little forest encyclopedia]. Warszawa: PWRiL.

- Konatowska, M., Rutkowski, P. (2021). Porównanie zbiorowisk roślinnych z połowy XX i początku XXI wieku w Nadleśnictwie Doświadczalnym Zielonka [Comparison of plant communities from the mid-XX and early XXI century in the Zielonka Experimental Forest Division]. Poznań: Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego.
- Korhonen, L., Korhonen, K. T., Rautiainen, M., Stenberg, P. (2006). Estimation of forest canopy cover: a comparison of Wedl measurement techniques. *Silva Fenn.*, 40(4), 577–588. <https://doi.org/10.14214/sf.315>
- Mirek, Z., Piękoś-Mirkowa, H., Zając, M. (2002). Flowering plants and pteridophytes of Poland – a checklist. W: Z. Mirek (red.), *Biodiversity of Poland 1*. Kraków: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, S. T., ..., Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecol. Evol.*, 4(18), 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Ochyra, R., Żarnowiec, J., Bednarek-Ochyra, H. (2003). *Census catalogue of Polish mosses*. W: Z. Mirek (red.), *Biodiversity of Poland 3*. Kraków: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- Paletto, A., Tosi, V. (2009). Forest canopy cover and canopy closure: comparison of assessment techniques. *Eur. J. For. Res.*, 128, 265–272. <https://doi.org/10.1007/s10342-009-0262-x>
- Przybylski, P., Konatowska, M., Jastrzębowski, S., Tereba, A., Mohytych, V., Tyburski, Ł., Rutkowski, P. (2021). The possibility of regenerating a pine stand through natural regeneration. *Forests*, 12, 1055. <https://doi.org/10.3390/f12081055>
- Puchalski, T., Prusinkiewicz, Z. (1975). *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego* [Ecological bases of forest environmental knowledge]. Warszawa: PWRiL.
- Rutkowski, P. (2012). *Stan i perspektywy rozwoju typologii leśnej w Polsce* [State and perspectives of forest typology in Poland]. *Rozprawy Naukowe 436*. Poznań: Wyd. UP.
- Zellweger F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., ..., Coomes, D. (2020). Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science*, 368, 772–775. <https://doi.org/10.1126/science.aba6880>

HEMISPHERICAL CANOPY PHOTOS IN THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CANOPY CLOSURE ON THE PLANT SPECIES COMPOSITION IN THE SELECTED OLD TREE STANDS OF KAMPINOSKI NATIONAL PARK

ABSTRACT

The scope of the study included hemispherical photos, phytosociological relèves and assessment of the canopy closure and the Shannon-Wiener diversity index. The analysis showed differences in the canopy closure between stands growing in deciduous mixed mesic forest and coniferous mixed mesic forest habitats, however, it did not confirm a statistically significant effect of the canopy closure on the number of plant species under the given conditions describing the research plots. It has been shown that the high degree of naturalness of 200-year-old stands, expressed by the number of typically forest plant species, does not mean a large number of plants found in the forest floor. The study also noted the limited possibility of using the ecological Ellenberg index numbers in the assessment of the trophicity of forest habitats.

Keywords: canopy cover, canopy closure, plant species