



Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych

Jan Marek Matuszkiewicz

Specjalista ds. Geobotaniki

Instytucja: Uniwersytet Warszawski



Konferencja podsumowująca projekt LIFE+ ForBioSensing, 29.03.2022 r. (ONLINE)



Dotyczy rozdziału 15.

Jan Marek Matuszkiewicz, Rafał Paluch, Adam Szulc, Miłosz Mielcarek, Maciej Lisiewicz, Łukasz Kuberski, Krzysztof Stereńczak., 2022. Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych. [w:] Stereńczak K., (red.) Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych. Wyd. IBL, Sękocin Stary.



Wstępne założenia

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

W ramach projektu Life+ ForBioSensing zaplanowano opracowanie mapy zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej w oparciu o identyfikację drzew metodami zdalnymi. Założona dokładność identyfikacji drzew wynosiła powyżej 80%, jednak opierając się tylko na danych zdalnych nie można dokonać pełnej identyfikacji zbiorowisk leśnych Puszczy, charakteryzującej się dużą złożonością struktury drzewostanów, wielowarstwowością i dynamicznymi zmianami składu gatunkowego. Dla identyfikacji zbiorowisk leśnych konieczne było rozpoznanie składu gatunkowego dolnych warstw drzewostanu, krzewów i przede wszystkim runa, których jednak nie da się obecnie zidentyfikować metodami zdalnymi. Zaplanowano więc naziemne prace fitosocjologiczne oraz pozyskano aktualne materiały fitosocjologiczne z innych źródeł.

Ideę opracowania mapy można w skrócie przedstawić następująco.

Mamy następujące materiały:

1. W ramach projektu Life+ ForBioSensing dokonano dla całego obszaru Puszczy identyfikację drzew górnej warstwy metodami zdalnymi o aktualności na 2015 lub 2019 rok (dane powierzchniowe odniesione do powierzchni 4x4 m).
2. Zebrano także znaczną ilość innych danych o środowisku przyrodniczym pokrywających cały teren Puszczy o zbliżonej aktualności (dane powierzchniowe).
3. Istnieje bardzo obszerna baza zdjęć fitosocjologicznych („Inwentaryzacja” DGLP) opisujących i identyfikujących zbiorowiska roślinne, wykonanych w sposób jednolity i w zbliżonym czasie w terenie, mająca cechy reprezentatywności dla całego obszaru Puszczy (zlokalizowane dane punktowe).

Zatem można mieć nadzieję, że przy pomocy odpowiednich narzędzi (sieci neuronowe) możliwe jest wyprowadzenie z tych danych rozpoznania zbiorowisk.

Głównym celem pracy było wykonanie, po raz pierwszy, mapy zbiorowisk leśnych polskiej części Puszczy Białowieskiej, przy wykorzystaniu dostępnych danych teledetekcyjnych oraz sprecyzowanie metodyki tworzenia mapy na tych podstawach.

Realizacja projektu, którego główna idea dotyczyła wyboru optymalnych metod połączenia danych zdalnych z naziemnymi, dała szansę na opracowanie po raz pierwszy mapy zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej. Narzędzie to może służyć w przyszłości do analizy zmian roślinności. Mapa ta ma być częścią opracowań monitoringu drzewostanów Puszczy, jako tło intensywnych zmian wywołanych głównie skutkami gradacji kornika drukarza.

W ramach założeń wstępnych przyjęto także, że charakterystyka roślinności, tj zbiorowisk leśnych, będzie oparta na stosunkowo prostym, ogólnopolskim systemie klasyfikacji zbiorowisk roślinnych (Matuszkiewicz 2008), nie zależnie od tego jaki system klasyfikacji zbiorowisk był użyty przy rozpoznawaniu zbiorowisk w ramach Inwentaryzacji.

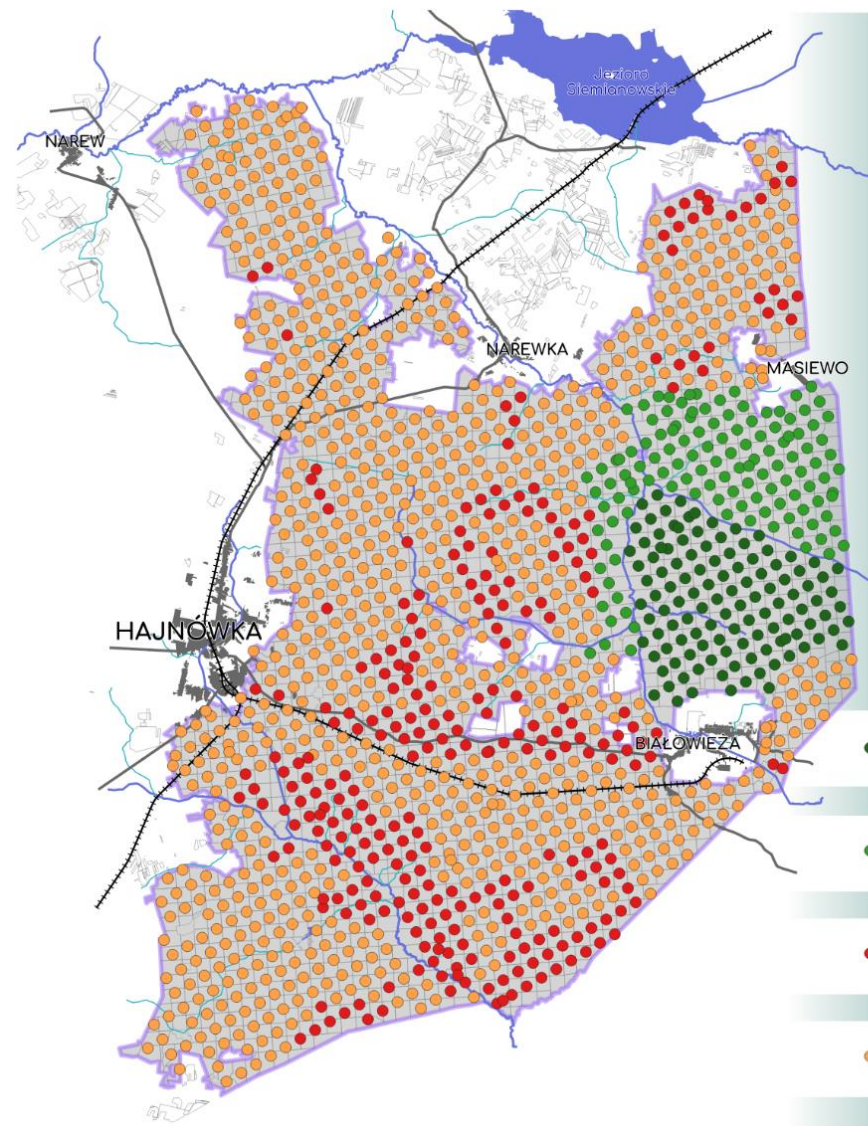


Dane punktowe – identyfikacja zbiorowisk

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Punktowe dane o zbiorowiskach roślinnych to wykonane na inwentaryzacyjnych powierzchniach kołowych (IPK) zdjęcia fitosocjologiczne i związane z nimi charakterystyki płatów zbiorowisk zebrane w ramach „Inwentaryzacji przyrodniczo-kulturowej Puszczy Białowieskiej” wykonanej przez Lasy Państwowe (patrz Czerepko i in. 2021).

IPK rozmieszczone w sieci w odległościach 650 m. Łączna liczba IPK 1395 wykorzystywane 1391, tu w podziale według statusu ochrony na 4 kategorie.



Z zebranych danych z IPK z 2018 roku w niniejszych badaniach oprócz danych o lokalizacji wykorzystywano:

1. jako najważniejsze, rozpoznanie roślinności rzeczywistej i potencjalnej dokonane przez zespół inwentaryzujący,
2. uzupełniająco dane taksacyjne oraz pokrycie warstw ze zdjęcia fitosocjologicznego,
3. dla weryfikacji i przetworzenia na inną klasyfikację pełny skład florystyczny zdjęcia fitosocjologicznego.

	REC	1	2	3	4	5	6	7	8
DANE_PODSTAWOWE IPK	IPK	2	3	4	5	7	9	10	12
	X92	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
	Y92	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
	KAT_POW	LGP	LGP	LGP	LGP	LGP	LGP	LGP	LGP
	TROF-WILG	UŚ	UŚ	UŚ	UW	ŻW	UŚ	UŚ	ŻŚ
	UWAGI_DGLP								
	ARODES_INT_2012	2,16E+08	2,16E+08	2,16E+08	2,16E+08	2,16E+08	2,16E+08	2,16E+08	2,16E+08
	ADDRESS_FOREST_2012	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C
	POW_SYS_2012	13,43	2,67	5,63	6,06	15,08	4,66	5,19	3,5
POWIERZC	WYL_BB	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
HNIE	WYL_JC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
ZESPOŁY ROŚLINNE	ZESP_AKT	Quercro ro	Vaccinio r	Pinus-Plei	Pinus-Mol	Ribeso nię	Pinus-Plei	Vaccinio v	Pinus-Ane
	ZESP_POT	Quercro ro	Quercro ro	Calamagr	Quercro-Pi	Ribeso nię	Calamagr	Vaccinio v	Tilio-Carpi
Dane taksacyjne z 2018	ADRESS_FOREST_2018	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C	01-14-3-1C
	TSL_2018	BMŚW	BMŚW	BMŚW	BMŚW	OL	BMŚW	BMŚW	BMŚW
	AREA_TYPE_2018	D-STAN	D-STAN	D-STAN	D-STAN	D-STAN	D-STAN	D-STAN	D-STAN
	GP_2018	SO	SO	SO	SO	OL	SO	SO	SO
	GPW_2018	57	34	29	58	123	42	43	156
	KAT_W_2018	41-80	0-40	0-40	41-80	pow. 120	41-80	41-80	pow. 120
	OT_2018	10 SO-57	7 SO-34	8 SO-29	10 SO-58	7 OL-123	10 SO-42	10 SO-43	6 SO-156
Dane ze zdjęć	pokrycie warstwy A0	70	40	80	60	80	50	50	50
	pokrycie warstwy A1	70	40	80	40	70	50	30	50
	pokrycie warstwy A2	0	0	0	20	10	0	30	10
	pokrycie warstwy A3	0	0	0	0	0	0	0	0
	pokrycie warstwy B	20	10	1	30	10	20	20	5
	pokrycie warstwy C	60	40	5	60	70	40	10	10
pokrycie warstwy D	90	50	20	50	30	80	90	0	
A1	Acer platanoides L.								
A2	Acer platanoides L.								
A3	Acer platanoides L.								
A2	Acer pseudoplatanus L.								
A1	Alnus glutinosa (L.) GAERTN.					4			1
A2	Alnus glutinosa (L.) GAERTN.								
A1	Betula pendula ROTH		2		1				
A2	Betula pendula ROTH				1				
A3	Betula pendula ROTH								
A1	Betula pubescens EHRH.								
A2	Betula pubescens EHRH.								
A1	Carpinus betulus L.								
A2	Carpinus betulus L.								2
A3	Carpinus betulus L.								
A2	Cerasus avium (L.) MOENCH								
A1	Fraxinus excelsior L.								

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

W ramach Inwentaryzacji na IPK stwierdzono 21 zespołów leśnych. Identyfikacja zespołów oparta była na ujęciu wypracowanym dla Puszczy przez Aleksandra Sokołowskiego.

Patrząc na zróżnicowanie IPK przez pryzmat potencjalnej roślinności naturalnej stwierdza się bardzo dużą różnicę reprezentacji pomiędzy poszczególnymi jednostkami, od 717 (54,7% zbioru) w przypadku *Tilio-Carpinetum* jako całości, a 260 (18,6%) w przypadku typowego podzespołu, do pojedynczych punktów w przypadku kilku zespołów. Aż 11 zespołów z tego spisu, czyli ponad połowa, reprezentowane jest przez mniej niż 20 IPK, co jest bardzo istotne przy metodach jakie mają być w pracy zastosowane.

Duża liczba zespołów słabo reprezentowanych w Inwentaryzacji i pewne niejednoznaczności w relacjach niektórych z nich były przyczyną przejścia na prostszą klasyfikację proponowaną przez Matuszkiewiczów.

Rozpoznane jednostki fitosocjologiczne	Liczby IPK			
	Roślinność potencjalna (RP)	Roślinność rzeczywista (RR)	RR zgodna RP	LZZ i inne zastępcze
<i>Tilio-Carpinetum</i>	717	473		241
<i>T-C typicum</i>	260	168	143	107
<i>T-C stachyetosum sylvaticae</i>	160	113	112	24
<i>T-C calamagrostietosum</i>	140	50	43	87
<i>T-C circaeetosum alpinae</i>	109	99	90	15
<i>T-C caricetosum remotae</i>	48	43	39	8
<i>Calamagrostio arundinaceae-Piceetum</i>	134	83	66	39
<i>Fraxino-Alnetum</i>	129	104	100	9
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	73	65	65	5
<i>Melitti-Carpinetum</i>	62	21	17	38
<i>Quercu-Piceetum</i>	44	24	21	21
<i>Quercu roboris-Pinetum</i>	42	27	23	14
<i>Vaccinio myrtilli-Pinetum</i>	42	46	30	6
<i>Vaccinio myrtilli-Piceetum</i>	35	33	18	5
<i>Piceo-Alnetum</i>	23	22	11	12
<i>Calamagrostio arundinaceae-Pinetum</i>	18	28	8	6
<i>Corylo-Piceetum</i>	14	6	6	8
<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	14	6	6	4
<i>Vaccinio vitis-idaeae-Pinetum</i>	13	11	9	3
<i>Sphagno-girgensohnii-Piceetum</i>	8	5	5	3
<i>Thelypteridi-Betuletum pubescentis</i>	8	6	6	2
<i>Betulo pubescentis-Piceetum</i>	7	4	4	3
<i>Potentillo albae-Quercetum</i>	4	3	3	1
<i>Sphagno-Betuletum pubescentis</i>	4	4	3	1
<i>Ficario-Ulmetum minoris</i>	3	2	2	0
<i>Carici elongatae-Quercetum</i>	1	1	1	0
Razem	1395	974	831	421

Przetworzenie podstawowych danych punktowych o zbiorowiskach

Przyjęte jednostki zbiorowisk naturalnych (klasyfikacja wg. Matuszkiewicza)	LPK prn	LPK recz	% zgodności	Jednostki zbiorowisk naturalnych stosowane w Inwentaryzacji - zgodność przybliżona
<i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	464	293	63,1	<i>T-C typicum</i> , <i>T-C calamagrostietosum</i> , <i>Melitti-Carpinetum</i> , <i>Corylo-Piceetum</i>
<i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	324	292	90,1	<i>T-C stachyetosum sylvaticae</i> , <i>T-C circaeaetosum alpinae</i> , <i>T-C caricetosum remotae</i>
<i>Quercu roboris-Pinetum</i>	251	159	63,3	<i>Quercu roboris-Pinetum</i> , <i>Calamagrostio arundinaceae-Piceetum</i> , <i>Vaccinio myrtilli-Piceetum</i> , <i>Calamagrostio arundinaceae-Pinetum</i>
<i>Fraxino-Alnetum</i>	148	123	83,1	<i>Fraxino-Alnetum</i> , <i>Ficario-Ulmetum minoris</i> , <i>Piceo-Alnetum</i>
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	69	55	79,7	<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>
<i>Quercu-Piceetum</i>	45	27	60,0	<i>Quercu-Piceetum</i> , <i>Betulo pubescentis-Piceetum</i>
<i>Peucedano-Pinetum</i>	31	29 *	93,5	<i>Vaccinio vitis-idaeae-Pinetum</i>
<i>Molinio-Pinetum</i>	23	23 *	100,0	<i>Vaccinio myrtilli-Pinetum</i>
<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	13	10 *	76,9	<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i> , <i>Sphagno-Betuletum pubescentis</i>
Zbyt rzadkie				
<i>Sphagno-girgensohnii-Piceetum</i>	11	4	36,4	<i>Sphagno-girgensohnii-Piceetum</i>
<i>Thelypteridi-Betuletum pubescentis</i>	7	5	71,4	<i>Thelypteridi-Betuletum pubescentis</i>
<i>Potentillo albae-Quercetum</i>	4	3	75,0	<i>Potentillo albae-Quercetum</i>
<i>Carici elongatae-Quercetum</i>	1	1	100,0	<i>Carici elongatae-Quercetum</i>

* - zespolony o wzroście liczbie punktów zidentyfikowanych z innego źródła

Do dalszych analiz uwzględniono wyłącznie te jednostki fitosocjologiczne, dla których liczba zdjęć była wyższa niż 20, łącznie 9 jednostek. Siedem z nich odpowiada ściśle zespołowi roślinnemu jako jednostce hierarchicznej klasyfikacji, natomiast w przypadku grądów przyjęto wewnętrzny podział zespołu na dwie postaci ekologiczne: grąd świeży i wilgotny, grupujące wyróżniane w ramach *Tilio-Carpinetum* podzespoły.

W zbiorze zdjęć uwzględniono także występowanie leśnych zbiorowisk zastępczych (LZZ). W tym zakresie wyróżniono dwie jednostki: LZZ na siedliskach boru mieszanego świeżego – *Quercus robur-Pinetum* i LZZ na siedliskach grądu świeżego - *Tilio-Carpinetum* świeże. Leśne zbiorowiska zastępcze na innych siedliskach niż dwa wyżej wymienione znalazły miejsce w kategorii „LZZ_inne”.

Zatem łącznie wyróżniono **12 jednostek kartograficznych**, które uwzględniono na wynikowej mapie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej.

Następnie dokonano przeglądu zbioru zdjęć i wybrano reprezentację wyróżnionych kategorii. Spośród 1391 analizowanych zdjęć 682 zostało zidentyfikowanych z jedną z 12 kategorii zbiorowisk leśnych. Ten zbiór zdjęć stanowił fitosocjologiczny materiał z badań naziemnych w procedurach kalibracji diagnozy roślinności rzeczywistej.

Jednostka kartograficzna	L. zdjęć
<i>Peucedano-Pinetum</i>	36
<i>Molinio-Pinetum</i>	28
<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	36
<i>Quercu roboris-Pinetum (Qr-P)</i>	81
<i>Quercu-Piceetum</i>	25
<i>Tilio-Carpinetum</i> świeży (T-C)	86
<i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	88
<i>Fraxino-Alnetum</i>	79
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	47
LZZ na siedlisku T-C	105
LZZ na siedlisku Qr-P	49
LZZ na siedliskach innych	22
Razem	682

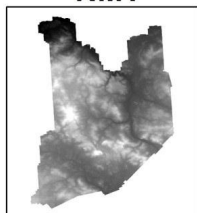
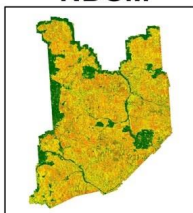
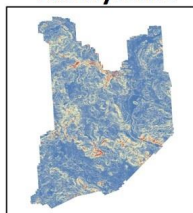
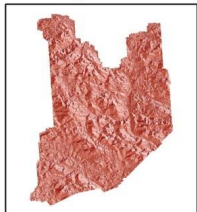
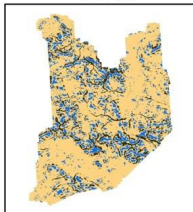
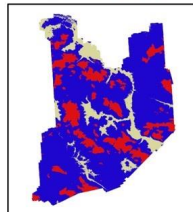


Dane przestrzenne

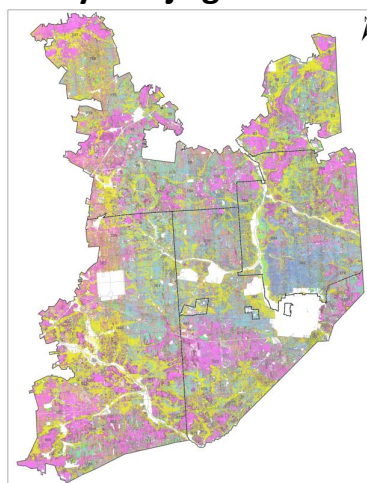
Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Wykorzystano trzy rodzaje danych przestrzennych: (a) dane lotniczego skanowania laserowego; (b) zobrazenia hiperspektralne oraz (c) dane GIS w postaci wektorowej mapy siedliskowej.

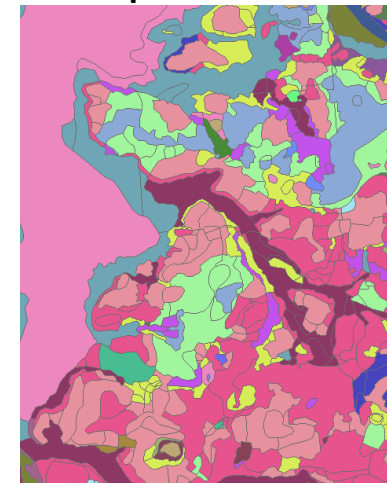
Lotnicze skanowanie laserowe

**NMT****NDSM****Nachylenie****Wystawa****SWI****TPI 200m**

Lotnicze zobrazenia hiperspektralne

**Klasyfikacja gatunkowa**

Dane wektorowe

**Mapa siedliskowa**

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Lotnicze skanowanie laserowe

NMT – numeryczny model terenu

NDSM - średnia wysokość terenu w poligonie

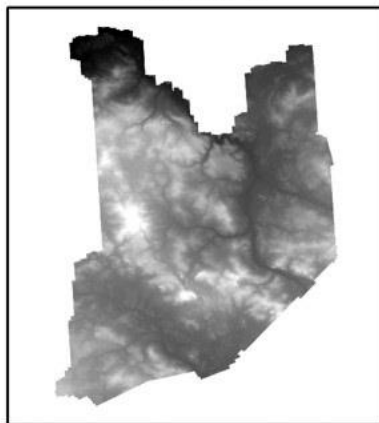
Nachylenie – średnie nachylenie terenu w poligonie

Wystawa – Kierunki świata

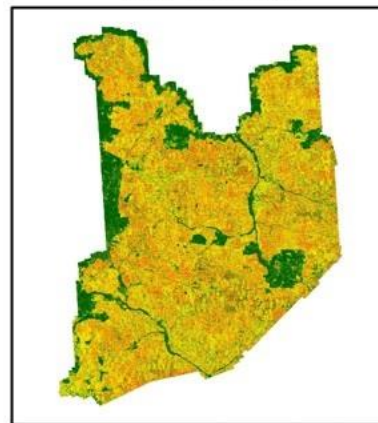
SWI - wskaźnik wilgotności terenu

TPI 200m - względne położenie topograficzne poszczególnych poligonów - różnica w obrębie sąsiedztwa

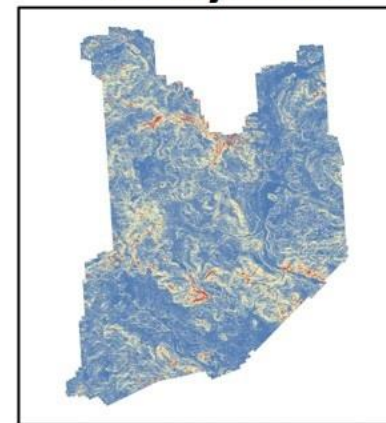
NMT



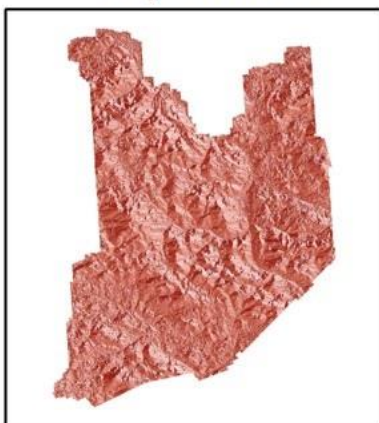
NDSM



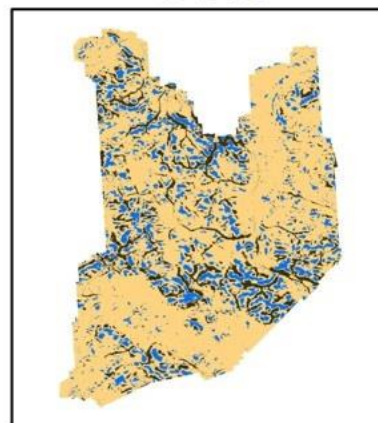
Nachylenie



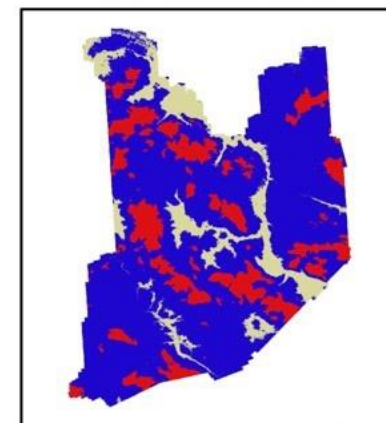
Wystawa



SWI

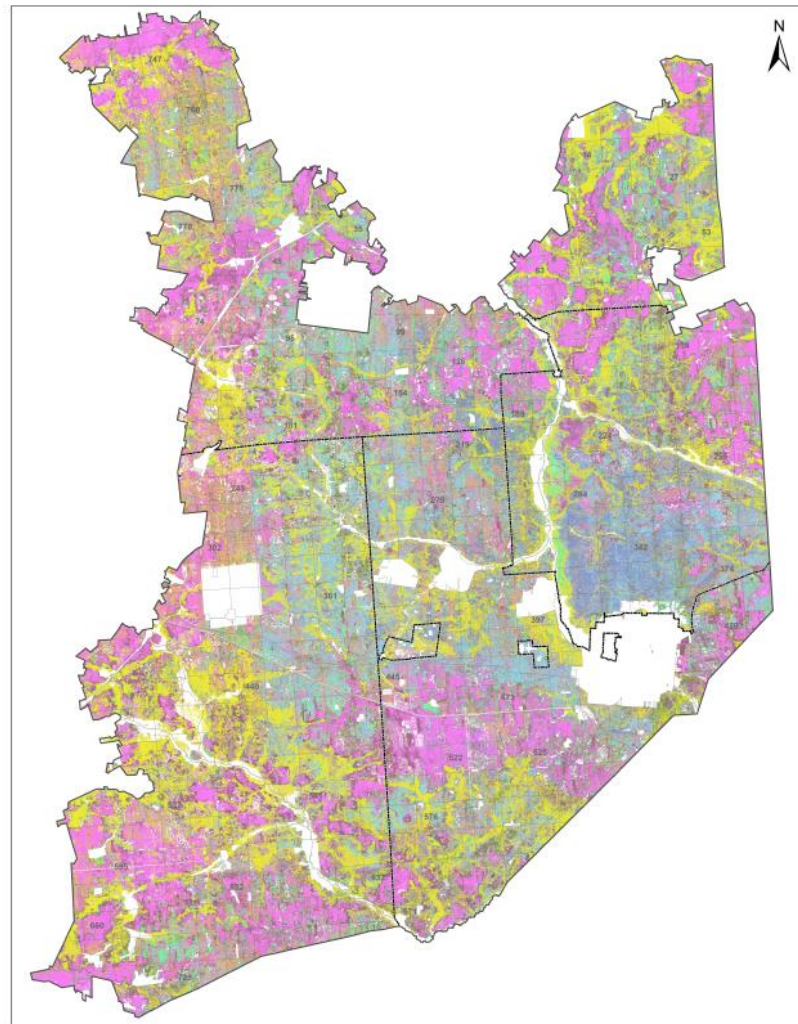


TPI 200m



Lotnicze zobrazenia hiperspektralne

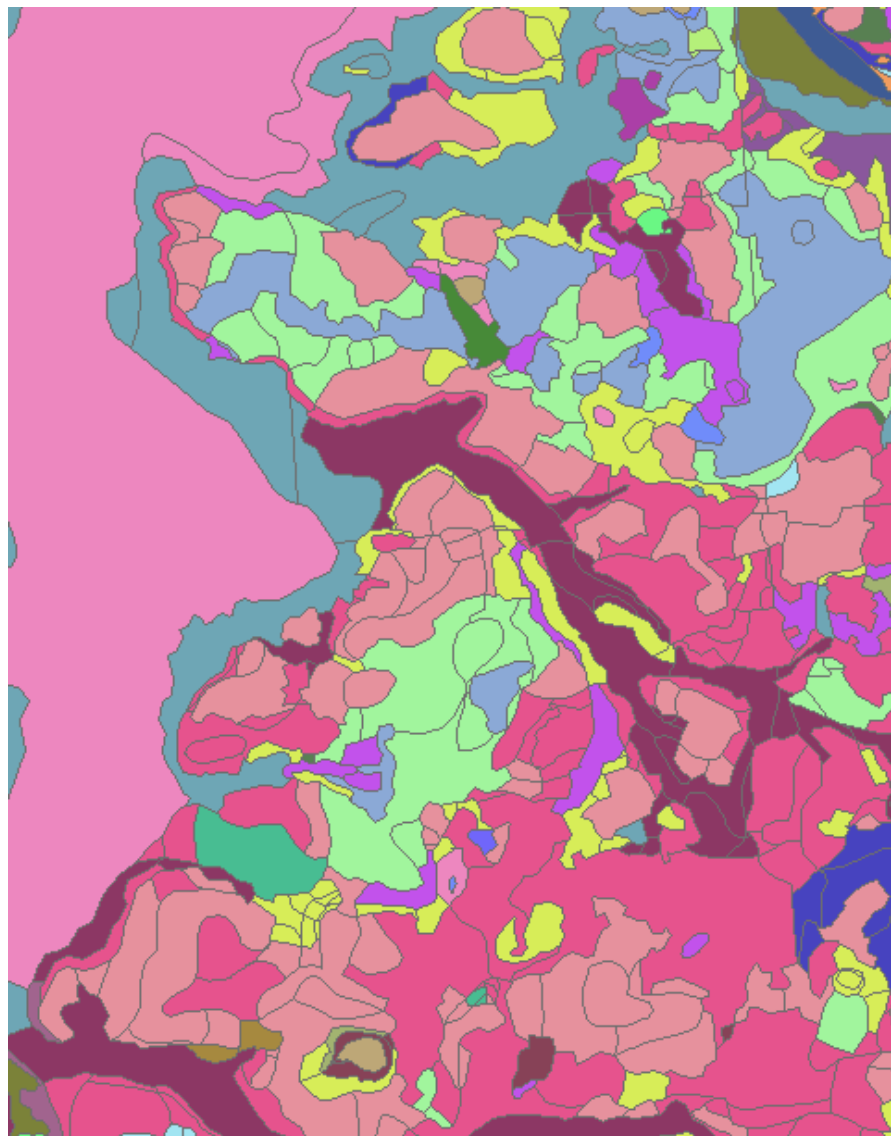
**Klasyfikacja gatunkowa drzewostanu
Z danych pierwotnych 4x4 m przenoszona
później na poligony podstawowe 25x25 m**



Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Dane wektorowe

Mapa siedliskowa – TSL
Była tym elementem, który
niejako łączył dane punktowe z
danymi z lotniczego skanowania.



Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowiejskiej ...

Zmienne topograficzne

Wysokość średnia terenu [m n.p.m.]

Wskaźnik pozycji topograficznej (TPI)

Nachylenie [stopnie]

Wystawa

Wskaźnik wilgotności terenu

Ekspozycja na wiatr

Zmienne drzewostanowe

Udział typów siedliskowych lasu [%]

Udział gatunków [%]

Pokrycie przez korony drzew [%]

Wysokość średnia drzew [m]

Liczba drzew

Struktura lasu (1p. Lub > 1p.)

Dla wykonania mapy utworzono poligonową warstwę wektorową w postaci siatki kwadratów o boku 50 m, która swoim zasięgiem przestrzennym pokrywała cały obszar Puszczy Białowieskiej. W kolejnym kroku, do każdego poligonu przypisano informacje dotyczące warunków siedliskowych, drzewostanowych i topograficznych.



Metoda klasyfikacji i weryfikacji

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

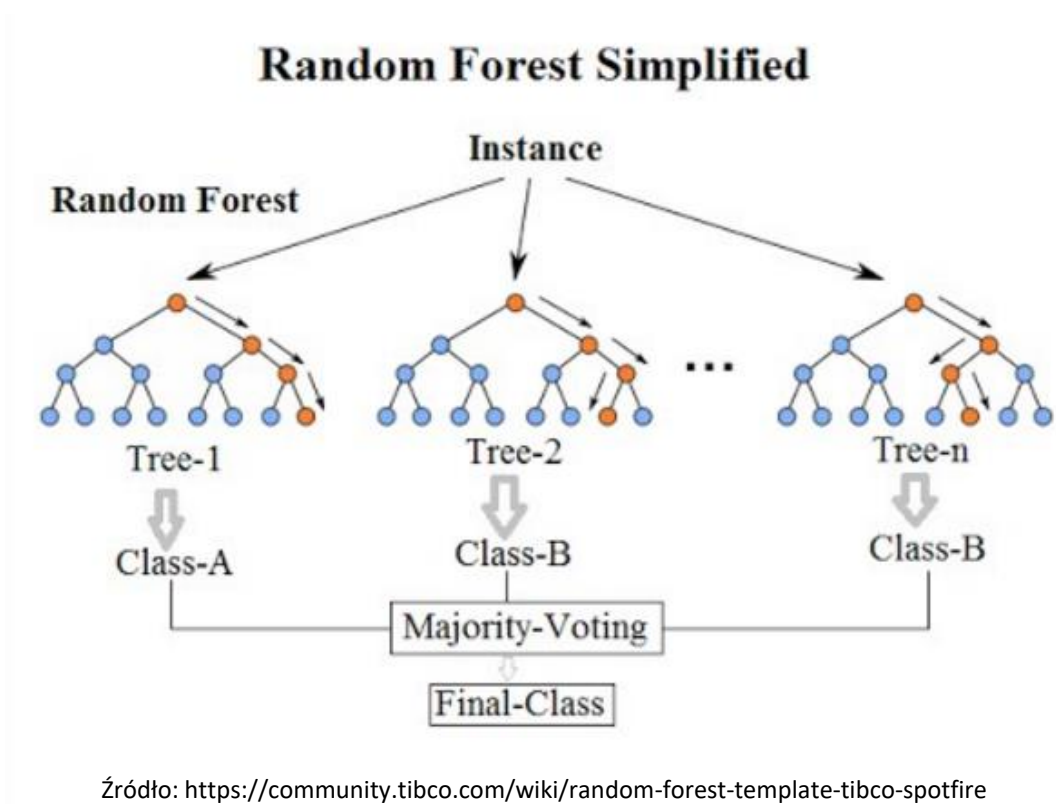
W celu przeprowadzenia klasyfikacji do identyfikacji zbiorowisk leśnych, wybrany został algorytm Lasu Losowego (ang. Random Forest – RF). Podstawowy algorytm drzewa klasyfikacyjnego tworzy jedno drzewo klasyfikacyjne automatycznie na podstawie danych treningowych. W metodzie RF, tworzona jest duża liczba drzew klasyfikacyjnych, a każde z nich zwraca decyzję prawdopodobieństw klasyfikacji. Decyzje z drzew wchodzących w skład lasu traktowane są jako głosy, a finalnie otrzymywana jest decyzja, która uzyskała najwięcej głosów. Każde drzewo klasyfikacyjne jest tworzone na losowej próbie n obserwacji pobieranych ze zwracaniem ze zbioru treningowego. W każdym węźle drzewa, m zmiennych z M (całkowita liczby zmiennych) jest wybieranych losowo i używanych do znalezienia najlepszego podziału. W celu uniknięcia nadmiernego dopasowania modelu klasyfikacyjnego, przeprowadzono 5-krotną walidację krzyżową powtórzoną 20 razy.

W wyniku otrzymano średnie wskaźniki dokładności klasyfikacji. Proces klasyfikacji przeprowadzono przy użyciu pakietu caret w języku R.

Źródło: <https://community.tibco.com/wiki/random-forest-template-tibco-spotfire>

Metoda klasyfikacji – algorytm Random Forest

W celu uniknięcia nadmiernego dopasowania modelu, przeprowadzono 5-krotną walidację krzyżową powtórzoną 20 razy.



Dwuetakowa weryfikacja:

1. **Weryfikacja modelu ze zbioru treningowego.** W procesie klasyfikacji zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej, wykorzystanych zostało 682 powierzchni badawczych podzielonych na 12 klas (odpowiadających wyróżnionym typom zbiorowisk leśnych).

Dokładność klasyfikacji oceniano za pomocą następujących wskaźników:

- dokładności ogólnej (OA),
- współczynnika Kappa (κ),
- dokładności producenta (PA),
- dokładności użytkownika (UA).

2. **Weryfikacja terenowa na losowej próbie ponad 500 kwadratów** o czym powiemy później

Zbiór treningowy

W tabeli poniżej przedstawiona jest dokładność całkowita przeprowadzonej klasyfikacji oraz dokładność dla poszczególnych zbiorowisk. Dokładność całkowita oraz współczynnik Kappa, biorąc pod uwagę zróżnicowanie wewnątrz klas oraz ich liczebność, cechują się relatywnie wysoką dokładnością, odpowiednio 60,0% oraz 0,554.

	Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.		Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.
Dokładność całkowita (OA)	60,0 (0,6)	58,8	61,1	Współczynnik Kappa	0,554 (0,007)	0,5	0,6
PA_Fraxino-Alnetum	79,1 (1,7)	75,9	82,3	PA_Tilio-Carpinetum świeży	75,2 (3,2)	67,4	79,1
UA_Fraxino-Alnetum	63,9 (1,6)	61,4	66,7	UA_Tilio-Carpinetum świeży	67,0 (1,5)	64,4	69,8
PA_Molinio-Pinetum	40,9 (2,2)	35,7	42,9	PA_Tilio-Carpinetum wilgotny	71,6 (1,2)	69,3	75
UA_Molinio-Pinetum	44,9 (3,6)	38,7	50	UA_Tilio-Carpinetum wilgotny	68,0 (1,3)	66,3	71,1
PA_Peucedano-Pinetum	60,1 (3,2)	55,6	66,7	PA_Vaccinio uliginosi-Pinetum	81,7 (2,1)	77,8	86,1
UA_Peucedano-Pinetum	53,0 (3,0)	47,6	63,2	UA_Vaccinio uliginosi-Pinetum	71,7 (1,4)	68,3	73,2
PA_Quercu-Piceetum	42,4 (3,3)	36	48	PA_LZZ_Quercu roboris-Pinetum	22,4 (4,0)	14,3	28,6
UA_Quercu-Piceetum	58,6 (5,0)	52,6	68,8	UA_LZZ_Quercu roboris-Pinetum	39,3 (4,9)	31,8	48,1
PA_Quercu roboris-Pinetum	66,0 (2,3)	61,7	70,4	PA_LZZ_Tilio-Carpinetum świeży	55,1 (2,4)	50,6	60,7
UA_Quercu roboris-Pinetum	52,8 (1,7)	48,6	55,7	UA_LZZ_Tilio-Carpinetum świeży	56,7 (2,6)	52,2	61,5
PA_Ribeso nigri-Alnetum	62,9 (2,9)	57,4	68,1	PA_LZZ_inne	7,8 (1,8)	5,3	10,5
UA_Ribeso nigri-Alnetum	66,7 (2,1)	63,6	70,5	UA_LZZ_inne	33,3 (8,8)	18,2	50

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Zbiór treningowy

Dokładność klasyfikacji znacząco różniła się w poszczególnych zbiorowiskach. Najwyższe dokładności producenta oraz użytkownika odnotowano dla zbiorowiska *Vaccinio uliginosi-Pinetum* (odpowiednio 81,7% i 71,7%). Natomiast najniższe dokładności odnotowano dla klasy LZZ_inne (7,8% i 33,3%), będącej kategorią „resztkową”.

	Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.		Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.
Dokładność całkowita (OA)	60,0 (0,6)	58,8	61,1	Współczynnik Kappa	0,554 (0,007)	0,5	0,6
PA_Fraxino-Alnetum	79,1 (1,7)	75,9	82,3	PA_Tilio-Carpinetum świeży	75,2 (3,2)	67,4	79,1
UA_Fraxino-Alnetum	63,9 (1,6)	61,4	66,7	UA_Tilio-Carpinetum świeży	67,0 (1,5)	64,4	69,8
PA_Molinio-Pinetum	40,9 (2,2)	35,7	42,9	PA_Tilio-Carpinetum wilgotny	71,6 (1,2)	69,3	75
UA_Molinio-Pinetum	44,9 (3,6)	38,7	50	UA_Tilio-Carpinetum wilgotny	68,0 (1,3)	66,3	71,1
PA_Peucedano-Pinetum	60,1 (3,2)	55,6	66,7	PA_Vaccinio uliginosi-Pinetum	81,7 (2,1)	77,8	86,1
UA_Peucedano-Pinetum	53,0 (3,0)	47,6	63,2	UA_Vaccinio uliginosi-Pinetum	71,7 (1,4)	68,3	73,2
PA_Quercu-Piceetum	42,4 (3,3)	36	48	PA_LZZ_Quercu roboris-Pinetum	22,4 (4,0)	14,3	28,6
UA_Quercu-Piceetum	58,6 (5,0)	52,6	68,8	UA_LZZ_Quercu roboris-Pinetum	39,3 (4,9)	31,8	48,1
PA_Quercu roboris-Pinetum	66,0 (2,3)	61,7	70,4	PA_LZZ_Tilio-Carpinetum świeży	55,1 (2,4)	50,6	60,7
UA_Quercu roboris-Pinetum	52,8 (1,7)	48,6	55,7	UA_LZZ_Tilio-Carpinetum świeży	56,7 (2,6)	52,2	61,5
PA_Ribeso nigri-Alnetum	62,9 (2,9)	57,4	68,1	PA_LZZ_inne	7,8 (1,8)	5,3	10,5
UA_Ribeso nigri-Alnetum	66,7 (2,1)	63,6	70,5	UA_LZZ_inne	33,3 (8,8)	18,2	50

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Zbiór treningowy

Najpospolitsze zbiorowisko grądu świeżego *Tilio-Carpinetum* wykazało dobre parametry dokładności PA i UA (odpowiednio 75,2% i 67,0%).

	Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.		Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.
Dokładność całkowita (OA)	60,0 (0,6)	58,8	61,1	Współczynnik Kappa	0,554 (0,007)	0,5	0,6
PA_ <i>Fraxino-Alnetum</i>	79,1 (1,7)	75,9	82,3	PA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	75,2 (3,2)	67,4	79,1
UA_ <i>Fraxino-Alnetum</i>	63,9 (1,6)	61,4	66,7	UA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	67,0 (1,5)	64,4	69,8
PA_ <i>Molinio-Pinetum</i>	40,9 (2,2)	35,7	42,9	PA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	71,6 (1,2)	69,3	75
UA_ <i>Molinio-Pinetum</i>	44,9 (3,6)	38,7	50	UA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	68,0 (1,3)	66,3	71,1
PA_ <i>Peucedano-Pinetum</i>	60,1 (3,2)	55,6	66,7	PA_ <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	81,7 (2,1)	77,8	86,1
UA_ <i>Peucedano-Pinetum</i>	53,0 (3,0)	47,6	63,2	UA_ <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	71,7 (1,4)	68,3	73,2
PA_ <i>Quercu-Piceetum</i>	42,4 (3,3)	36	48	PA_LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	22,4 (4,0)	14,3	28,6
UA_ <i>Quercu-Piceetum</i>	58,6 (5,0)	52,6	68,8	UA_LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	39,3 (4,9)	31,8	48,1
PA_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	66,0 (2,3)	61,7	70,4	PA_LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	55,1 (2,4)	50,6	60,7
UA_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	52,8 (1,7)	48,6	55,7	UA_LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	56,7 (2,6)	52,2	61,5
PA_ <i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	62,9 (2,9)	57,4	68,1	PA_LZZ_inne	7,8 (1,8)	5,3	10,5
UA_ <i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	66,7 (2,1)	63,6	70,5	UA_LZZ_inne	33,3 (8,8)	18,2	50

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Zbiór treningowy

Zbiorowiska leśne charakteryzujące się niską liczebnością powierzchni często cechowały się niską dokładnością klasyfikacji, tj. *Molinio-Pinetum*, *Quercopiceetum*

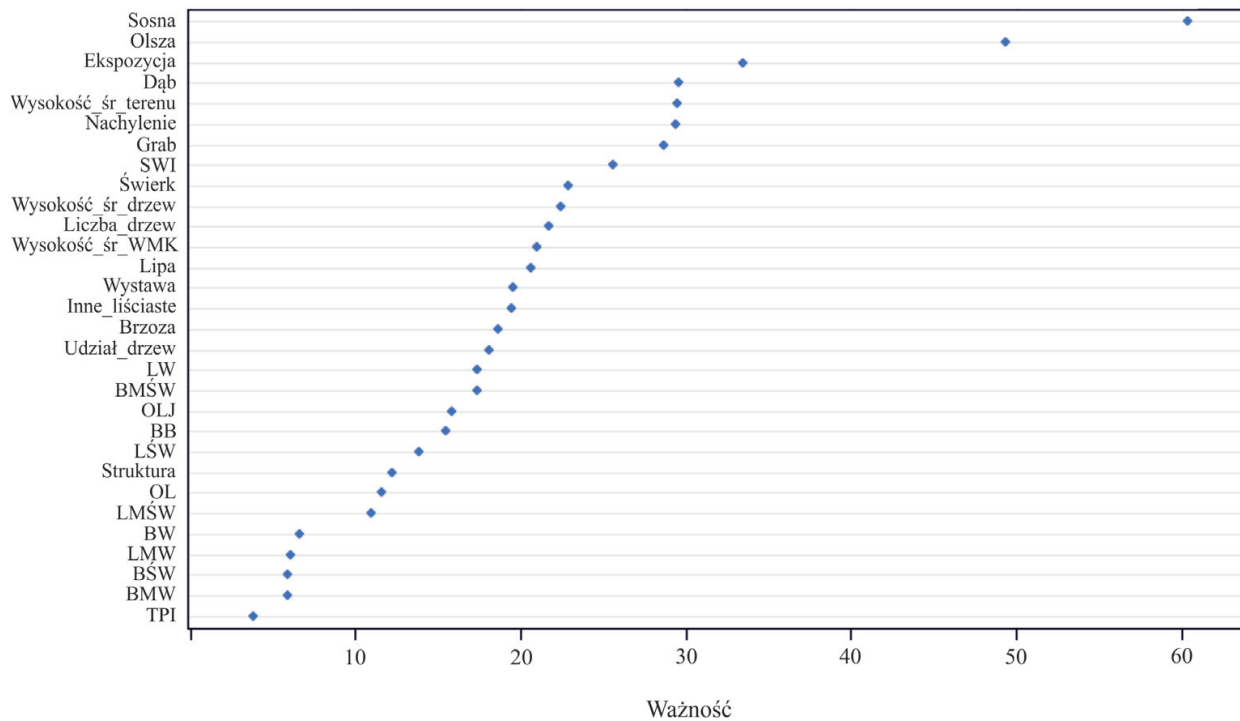
	Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.		Śr. (odch. st.)	Min.	Maks.
Dokładność całkowita (OA)	60,0 (0,6)	58,8	61,1	Współczynnik Kappa	0,554 (0,007)	0,5	0,6
PA_ <i>Fraxino-Alnetum</i>	79,1 (1,7)	75,9	82,3	PA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	75,2 (3,2)	67,4	79,1
UA_ <i>Fraxino-Alnetum</i>	63,9 (1,6)	61,4	66,7	UA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	67,0 (1,5)	64,4	69,8
PA_ <i>Molinio-Pinetum</i>	40,9 (2,2)	35,7	42,9	PA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	71,6 (1,2)	69,3	75
UA_ <i>Molinio-Pinetum</i>	44,9 (3,6)	38,7	50	UA_ <i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	68,0 (1,3)	66,3	71,1
PA_ <i>Peucedano-Pinetum</i>	60,1 (3,2)	55,6	66,7	PA_ <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	81,7 (2,1)	77,8	86,1
UA_ <i>Peucedano-Pinetum</i>	53,0 (3,0)	47,6	63,2	UA_ <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>	71,7 (1,4)	68,3	73,2
PA_ <i>Quercopiceetum</i>	42,4 (3,3)	36	48	PA_LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	22,4 (4,0)	14,3	28,6
UA_ <i>Quercopiceetum</i>	58,6 (5,0)	52,6	68,8	UA_LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	39,3 (4,9)	31,8	48,1
PA_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	66,0 (2,3)	61,7	70,4	PA_LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	55,1 (2,4)	50,6	60,7
UA_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	52,8 (1,7)	48,6	55,7	UA_LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	56,7 (2,6)	52,2	61,5
PA_ <i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	62,9 (2,9)	57,4	68,1	PA_LZZ_inne	7,8 (1,8)	5,3	10,5
UA_ <i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	66,7 (2,1)	63,6	70,5	UA_LZZ_inne	33,3 (8,8)	18,2	50

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Zbadana została **ważność wejściowych predyktorów** dla klasyfikacji zbiorowisk leśnych. Spośród wybranych 30 najistotniejszych zmiennych, najważniejszymi okazały się: **procentowy udział sosny oraz olszy w składzie gatunkowym** danego oczka siatki. Choć pozostałe zmienne charakteryzują się mniejszą ważnością, to pominięcie którejkolwiek z nich, skutkowało obniżeniem się dokładności klasyfikacji.



W celu oceny dokładności automatycznej klasyfikacji zbiorowisk leśnych wykonano **weryfikację terenową** na losowej próbie kwadratów o boku 50 m. Obszar Puszczy podzielono na 20 równych pod względem powierzchni podobszarów. Do badań terenowych wylosowano 20 transektów o długości 1300 m każdy (obejmujących ciąg kwadratów) położonych pomiędzy sąsiednimi zdjęciami fitosocjologicznymi. Ogółem sprawdzono ponad 509 kwadratów pod względem poprawności zdalnej diagnozy.

Dla danych z diagnozą fitosocjologiczną naziemną powstałą w wyniku weryfikacji terenowej wylosowanych obiektów, dla każdej z klas (typów zbiorowisk – jednostek kartograficznych) obliczono wskaźnik F1 według następującego wzoru:

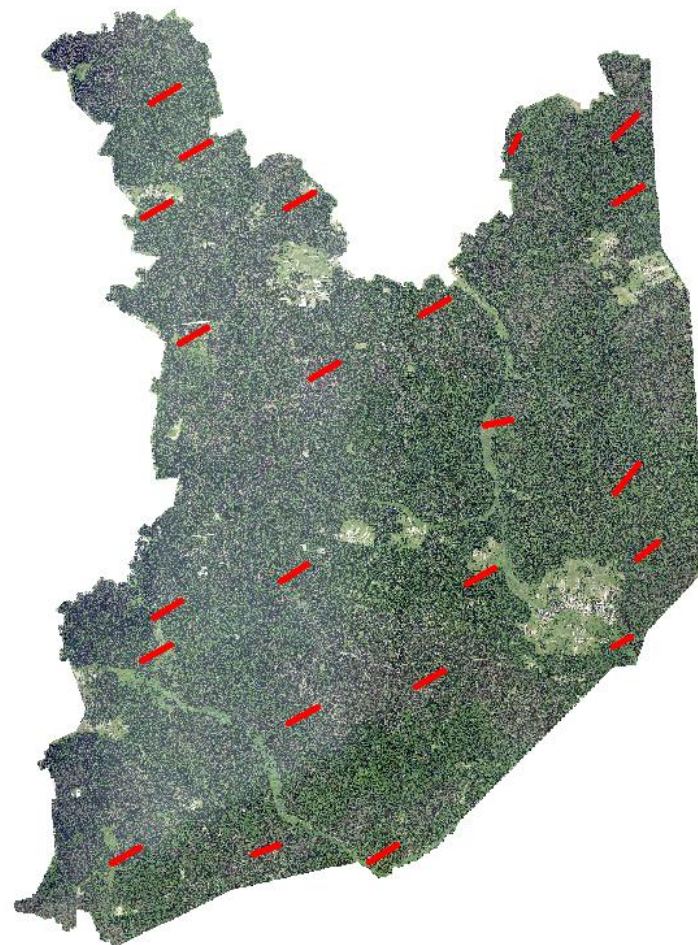
$$F1 = \frac{2 * PA * UA}{PA + UA}$$

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Weryfikacja terenowa - transekty

Zbiorowisko leśne	UA	PA	F1	Liczba obiektów
<i>Peucedano-Pinetum</i>	0,33	0,75	0,46	9
<i>Molinio-Pinetum</i>	0,5	1	0,67	6
<i>Quercu roboris-Pinetum</i>	0,82	0,43	0,57	34
<i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	0,68	0,89	0,77	159
<i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	0,79	0,57	0,66	71
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	0,94	0,85	0,89	31
<i>Fraxino-Alnetum</i>	0,84	0,74	0,79	58
LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	0,03	0,17	0,04	40
LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	0,82	0,61	0,7	78
LZZ_inne	0,07	1	0,13	15
Średnia arytmetyczna	0,53	0,64	0,57	50
Średnia ważona	0,68	0,69		



PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Weryfikacja terenowa - transekty

Zbiorowisko leśne	UA	PA	F1	Liczba obiektów
<i>Peucedano-Pinetum</i>	0,33	0,75	0,46	9
<i>Molinio-Pinetum</i>	0,5	1	0,67	6
<i>Quercu roboris-Pinetum</i>	0,82	0,43	0,57	34
<i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	0,68	0,89	0,77	159
<i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	0,79	0,57	0,66	71
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	0,94	0,85	0,89	31
<i>Fraxino-Alnetum</i>	0,84	0,74	0,79	58
LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	0,03	0,17	0,04	40
LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	0,82	0,61	0,7	78
LZZ_inne	0,07	1	0,13	15
Średnia arytmetyczna	0,53	0,64	0,57	50
Średnia ważona	0,68	0,69		

Największą dokładnością użytkownika i producenta, czyli zgodnością między diagnozą zdalną i naziemną charakteryzowały się zbiorowiska olsów (*Ribeso-Alnetum*). Potwierdza to również wysoka wartość wskaźnika F1, blisko 0,9. Nieco niższą dokładność wykazano dla łągów (*Fraxino-Alnetum*) i grądów świeżych (*Tilio-Carpinetum*). Wartości F1 dla danych klas wyniosły odpowiednio 0,79 i 0,77. Dokładnością powyżej średniej charakteryzowały się: wilgotne grądy, LZZ na grądzie świeżym, bory wilgotne i bory mieszane.

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Weryfikacja terenowa - transekty

Zbiorowisko leśne	UA	PA	F1	Liczba obiektów
<i>Peucedano-Pinetum</i>	0,33	0,75	0,46	9
<i>Molinio-Pinetum</i>	0,5	1	0,67	6
<i>Quercu roboris-Pinetum</i>	0,82	0,43	0,57	34
<i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	0,68	0,89	0,77	159
<i>Tilio-Carpinetum</i> wilgotny	0,79	0,57	0,66	71
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	0,94	0,85	0,89	31
<i>Fraxino-Alnetum</i>	0,84	0,74	0,79	58
LZZ_ <i>Quercu roboris-Pinetum</i>	0,03	0,17	0,04	40
LZZ_ <i>Tilio-Carpinetum</i> świeży	0,82	0,61	0,7	78
LZZ_inne	0,07	1	0,13	15
Średnia arytmetyczna	0,53	0,64	0,57	50
Średnia ważona	0,68	0,69		

Analizowana dokładność użytkownika, osiągnęła bardzo małą wartość dla leśnych zbiorowisk zastępczych borów mieszanych (0,03) i w zbiorczej kategorii LZZ_inne (0,07), skupiającej zniekształcone zbiorowiska o różnym charakterze. Dokładność producenta była tutaj zdecydowanie większa. Podsumowująca wartość wskaźnika F1 charakteryzująca dokładność podanych wyżej zbiorowisk miała również bardzo niewielkie wartości (0,04 i 0,13).

Niektóre stosunkowo rzadkie zbiorowiska leśne np. bory mieszane bagienne czy bory bagienne, nie wystąpiły w weryfikowanej próbie, więc nie można było ich poddać powyższymi analizom.

PA – dokładność producenta

UA – dokładność użytkownika

Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...



Mapa jako efekt pracy - podsumowanie

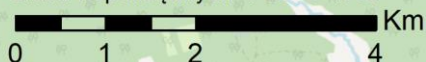
Identyfikacja i kartowanie zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej ...

Zbiorowiska leśne Puszczy Białowieskiej (stan na 2019 r.)

Załącznik do Rozdziału 15 monografii pt.: "Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych." (Wyd. IBL, Sękocin Stary, 2022).
Opracowali: J.M. Matuszkiewicz, R. Paluch, A. Szulc, M. Miłczarek, M. Lisiewicz, Ł. Kuberski, K. Stereńczak

1:75 000

Układ współrzędnych "PUWG 1992"



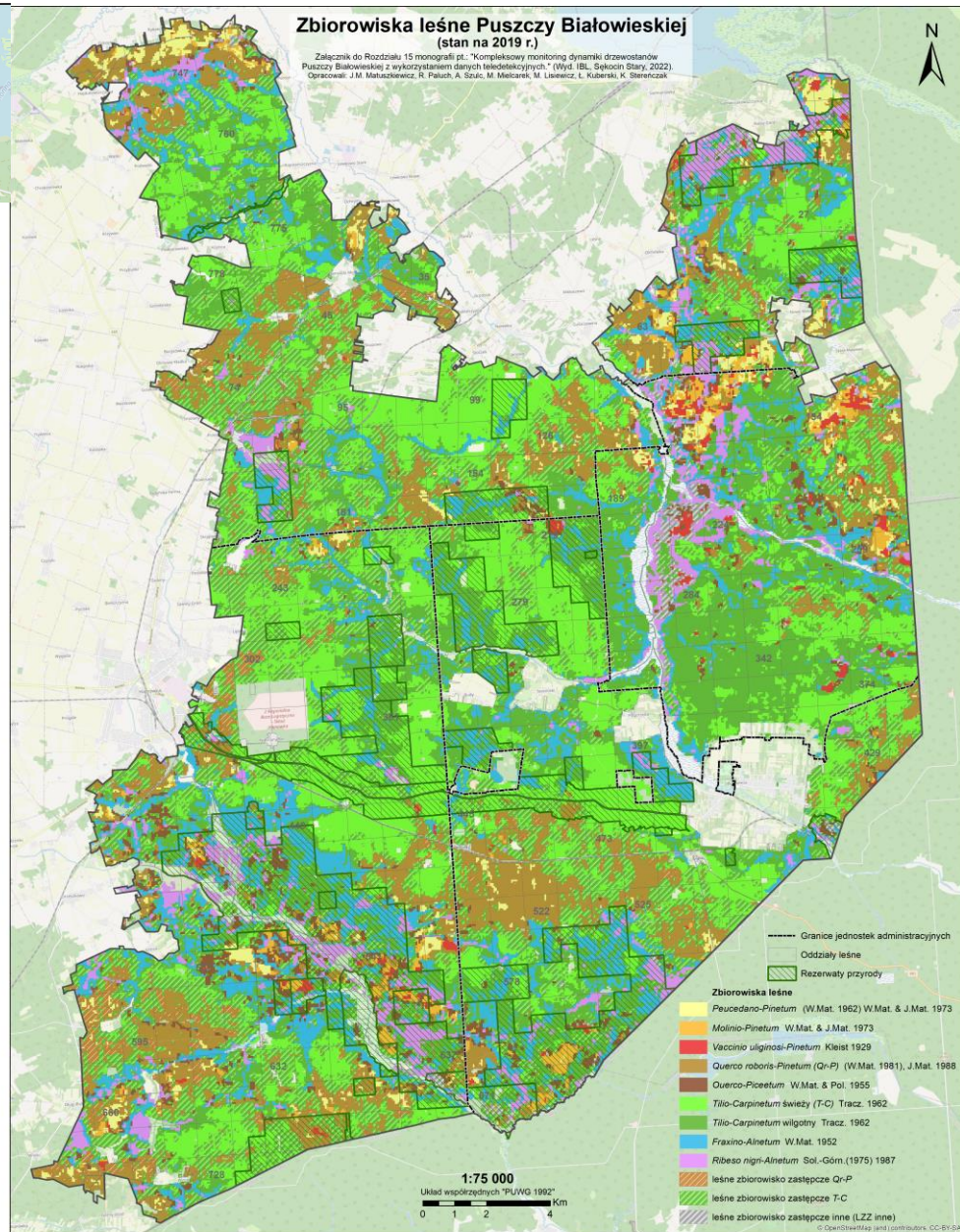
Zbiorowiska leśne

- Peucedano-Pinetum* (W.Mat. 1962) W.Mat. & J.Mat. 1973
- Molinio-Pinetum* W.Mat. & J.Mat. 1973
- Vaccinio uliginosi-Pinetum* Kleist 1929
- Quercu roboris-Pinetum (Qr-P)* (W.Mat. 1981), J.Mat. 1988
- Ouercu-Piceetum* W.Mat. & Pol. 1955
- Tilio-Carpinetum* świeży (T-C) Tracz. 1962
- Tilio-Carpinetum* wilgotny Tracz. 1962
- Fraxino-Alnetum* W.Mat. 1952
- Ribeso nigri-Alnetum* Sol.-Górn.(1975) 1987
- leśne zbiorowisko zastępcze Qr-P
- leśne zbiorowisko zastępcze T-C
- leśne zbiorowisko zastępcze inne (LZZ inne)

© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Zbiorowiska leśne Puszczy Białowieskiej (stan na 2019 r.)

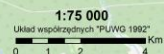
Załącznik do Rozdziału 15 monografii pt.: "Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych." (Wyd. IBL, Sękocin Stary, 2022).
Opracowali: J.M. Matuszkiewicz, R. Paluch, A. Szulc, M. Miłczarek, M. Lisiewicz, Ł. Kuberski, K. Stereńczak



--- Granice jednostek administracyjnych
--- Oddziały leśne
--- Rezerwat przyrody

Zbiorowiska leśne

- Peucedano-Pinetum* (W.Mat. 1962) W.Mat. & J.Mat. 1973
- Molinio-Pinetum* W.Mat. & J.Mat. 1973
- Vaccinio uliginosi-Pinetum* Kleist 1929
- Quercu roboris-Pinetum (Qr-P)* (W.Mat. 1981), J.Mat. 1988
- Ouercu-Piceetum* W.Mat. & Pol. 1955
- Tilio-Carpinetum* świeży (T-C) Tracz. 1962
- Tilio-Carpinetum* wilgotny Tracz. 1962
- Fraxino-Alnetum* W.Mat. 1952
- Ribeso nigri-Alnetum* Sol.-Górn.(1975) 1987
- leśne zbiorowisko zastępcze Qr-P
- leśne zbiorowisko zastępcze T-C
- leśne zbiorowisko zastępcze inne (LZZ inne)



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Mapę wykonano w ramach Projektu: "LIFE+ ForBioSensing PL Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych"



Institut Badawczy Leśnictwa
Sękocin Stary, ul. Brzozi Leśnej 3, 05-090 Raszyn
Tel. +48 22 71 50 300; Fax +48 22 72 00 387
e-mail: iib@ibles.waw.pl; www.ibles.pl
KRS: 000029417; REGON: 00115832; NIP: 5250009200



Biuro Projektu ForBioSensing
Sękocin Stary, ul. Brzozi Leśnej 3, Bud A, p. 107
05-090 Raszyn
Tel. +48 22 71 50 663
e-mail: ibs-bio@ibles.waw.pl

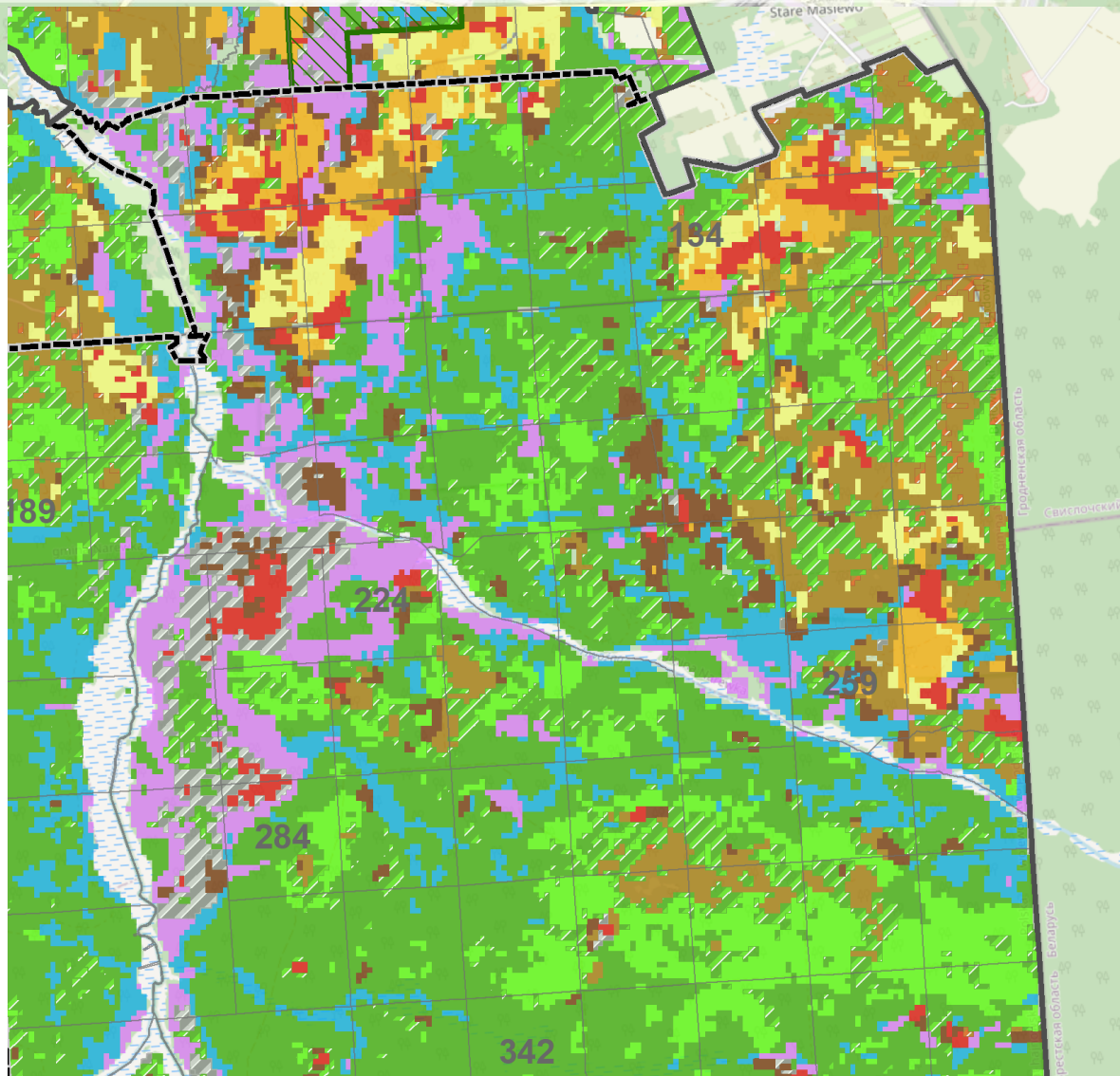
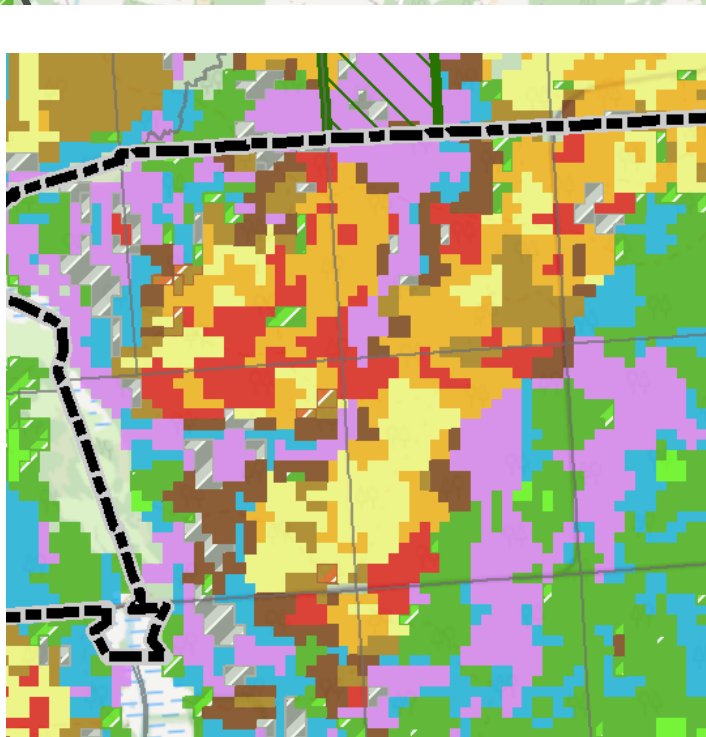


Projekt LIFE+ ForBioSensing PL Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych jest współfinansowany ze środków Komisji Europejskiej w ramach instrumentu finansowego Unii Europejskiej LIFE + oraz ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).
Nr umowy z KE: LIFE13 EN/PL/000046; Nr umowy z NFOŚiGW: 4852014/WN10/OP-AM-LFD

Zbiorowiska leśne Puszczy Białowieskiej (stan na 2019 r.)

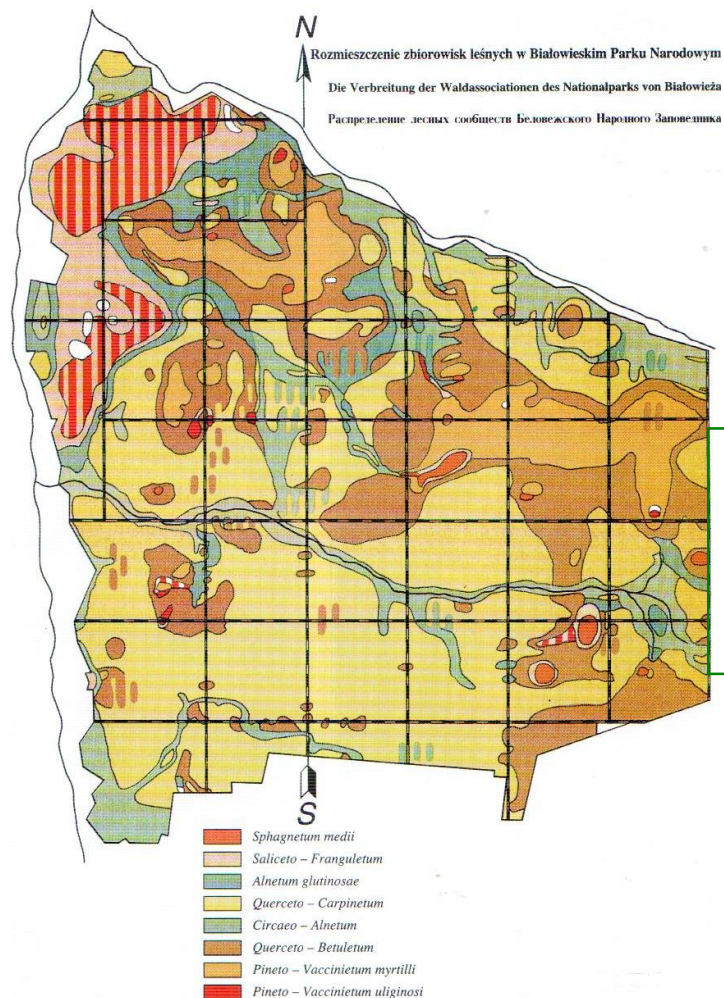
Załącznik do Rozdziału 15 monografii pt.: "Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych." (Wyd. IBL, Sękocin Stary, 2022).

Opracowali: J.M. Matuszkiewicz, R. Paluch, A. Szulc, M. Mielcarek, M. Lisiewicz, Ł. Kuberski, K. Stereńczak



1. Zastosowane metody zdalne pozwoliły na opracowanie pierwszej mapy zbiorowisk leśnych całej Puszczy Białowieskiej. Dokładność opracowania zweryfikowano w terenie i oceniono na około 70%.
2. Metody zdalne charakteryzowały się największą dokładnością dla olsów, łągów i grądów świeżych, a najmniejszą dla borów i borów mieszanych. Niewielką dokładność stwierdzono w przypadku leśnych zbiorowisk zastępczych borów mieszanych i zbiorczej niejednolitej grupy leśnych zbiorowisk zastępczych LZZ-inne.
3. Oceniono ważność wejściowych predyktorów dla klasyfikacji zbiorowisk leśnych na podstawie algorytmu Random Forest. Wybrano 30 najważniejszych zmiennych. Najważniejsze zmienne dotyczą procentowego udziału sosny oraz olszy w składzie gatunkowym.
4. Potwierdzono wysoki potencjał danych zdalnych tj. danych lotniczego skanowania laserowego oraz lotniczych danych hiperspektralnych, w dziedzinie opracowania map fitosocjologicznych. Zdalne techniki pomiarowe wyróżnia bezinwazyjność, powtarzalność, prędkość pozyskania danych, ciągłość i spójność pozyskanej informacji oraz obiektywizm.

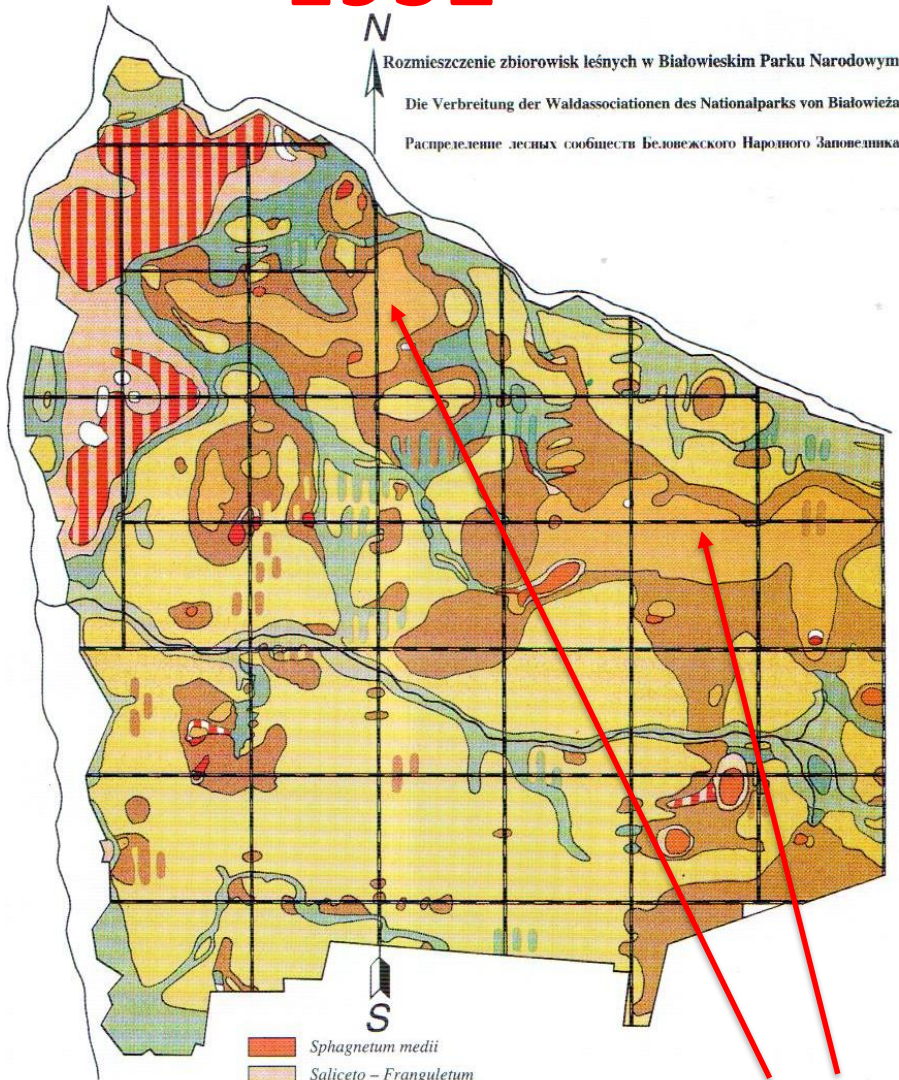
We wczesnych latach 50. XX wieku Władysław Matuszkiewicz wraz z żoną Anielą opracowali mapę roślinności Białowieskiego Parku Narodowego.






Teren przy granicy niedostępny w początku lat 50.

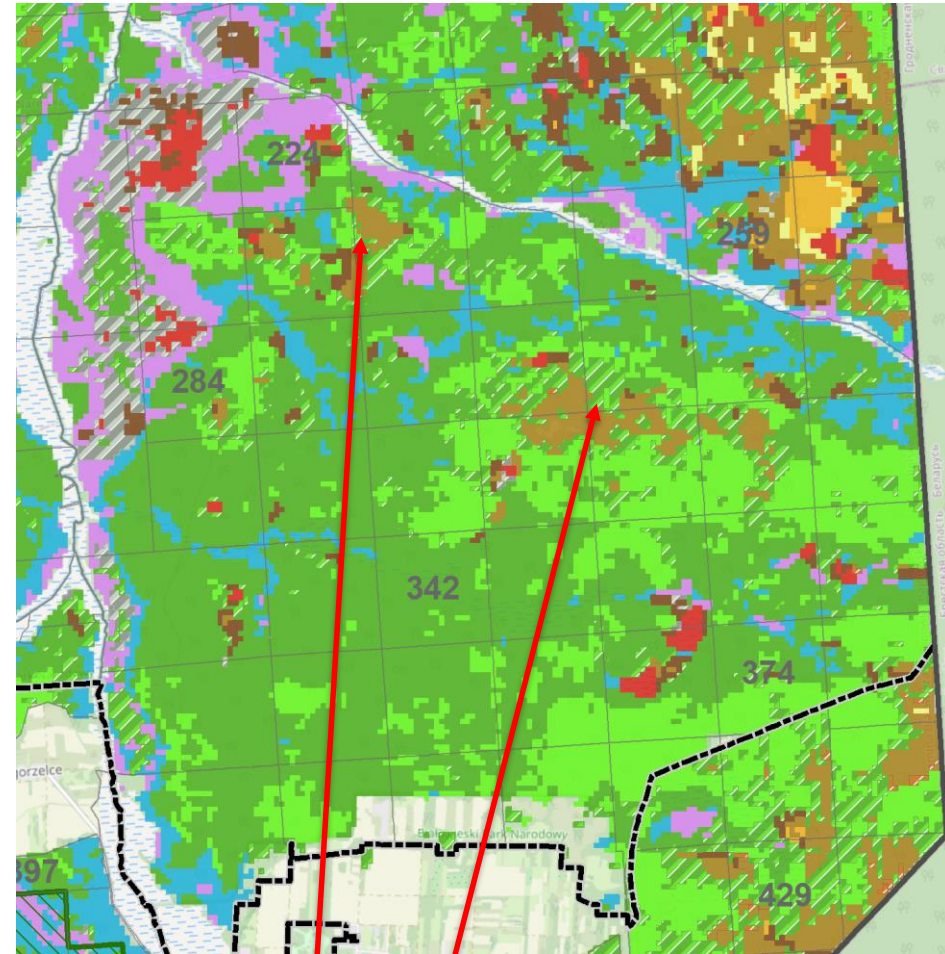
Mapa zespołów leśnych wg: Matuszkiewicz A., Matuszkiewicz W. 1954. Die Verbreitung der Waldassoziationen des Nationalparks von Białowieża. Ekol.Pol. 2(1): 33-60 + mapa.

1952



-  *Sphagnetum medii*
-  *Saliceto – Franguletum*
-  *Alnetum glutinosae*
-  *Querceto – Carpinetum*
-  *Circaeo – Alnetum*
-  *Querceto – Betuletum*
-  *Pineto – Vaccinietum myrtilli*
-  *Pineto – Vaccinietum uliginosi*

2022



Tu gdzie był bór sosnowy w otoczeniu borów mieszanych mamy dziś bory mieszane w otoczeniu łąk świeżych



Dziękuję za uwagę!

Gdzie nas szukać ?

Biuro Projektu FBS – Sękocin Stary

Sękocin Stary ul. Braci Leśnej 3,

Bud B, p. 230

05-090 Raszyn

Tel. +48 22 71 50 648

e-mail: fbs-biuro@ibles.waw.pl

www.forbiosensing.pl

www.forbiosensing.eu



Biuro Projektu FBS – Białowieża

Białowieża ul. Park Dyrekcyjny 6,

Zakład Lasów Naturalnych IBL

17-230 Białowieża

Tel. +48 85 6812 396 w. 34

e-mail: fbs-biuro@ibles.waw.pl