

# Zastosowanie wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu w badaniach naukowych



**Jarosław Socha<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

<sup>2</sup> Komitet Nauk Leśnych i Technologii DREWNA PAN

LEPIEJ ZNANY, Podsumowanie IV cyklu Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasów

Sękocin, 12 marca 2025 r.

# Rozwój badań z zakresu nauk leśnych w Polsce

- Okres I - do lat 80-tych XX wieku bardzo pracołłonne badania prowadzone na ograniczonych przestrzennie i ilořciowo materiałach badawczych z wykorzystaniem tradycyjnych metod przetwarzania danych



Prof. Tadeusz Gieruszyński w czasie wizji terenowej przed pracami terenowymi. Nadleřnictwo Piwniczna, leřnictwo Czercz, Fot. J. Gumiński

# Rozwój badań z zakresu nauk leśnych w Polsce

- Okres II - od lat 1980-2005 (2010). Praktyczne wdrożenie w badaniach komputerowych systemów przetwarzania i analizy danych. 1995 - zastosowanie sieci komputerowych i systemów informatycznych.



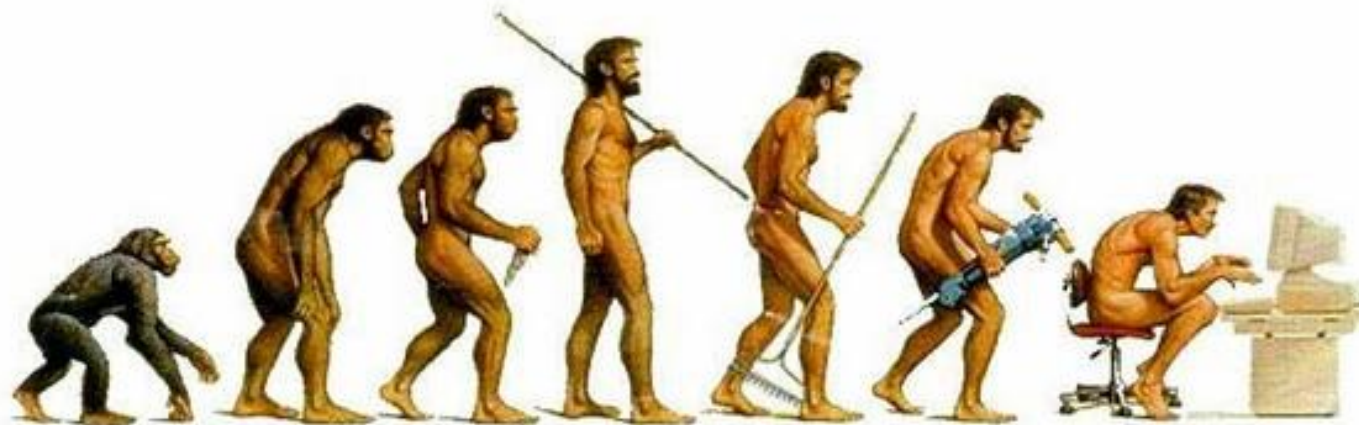
Komputer 386 SX, RAM 1 MB



# Rozwój badań z zakresu nauk leśnych w Polsce

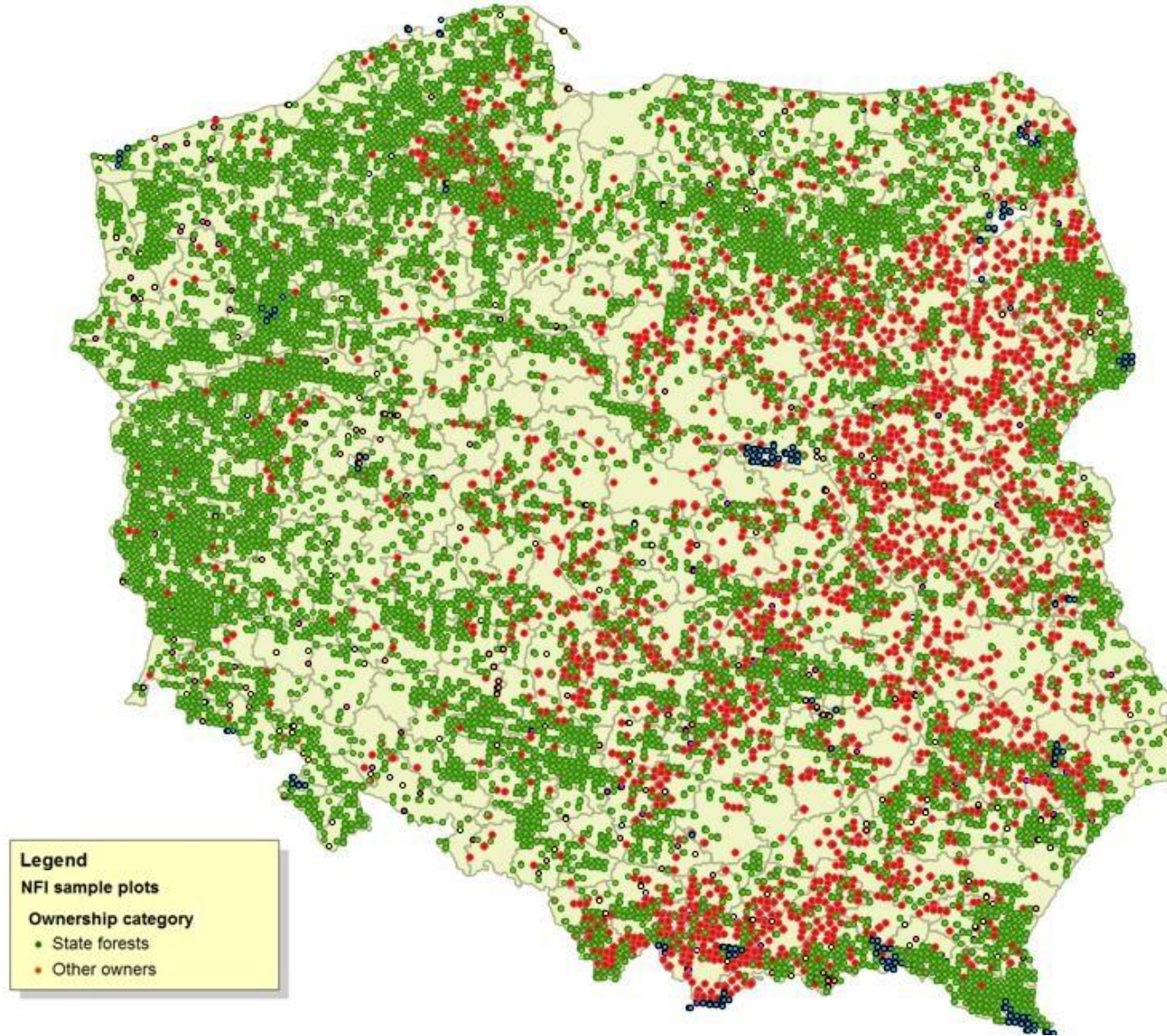
- Okres od roku 2005 (2010) do chwili obecnej - zwiększenie dostępu do danych przestrzennych, wykorzystanie danych teledetekcyjnych, wdrożenie Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasu (WISL), utworzenie

... 1980 2000 WISL



# Co nauki leśne otrzymują z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasów?

Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasu unikalne źródło danych o lasach w Polsce





# Dostęp do danych WISL sprzyja międzynarodowej współpracy naukowej i wzrostowi konkurencyjności polskich zespołów badawczych

Schelhaas et al. *Forest Ecosystems* (2018) 5:21  
<https://doi.org/10.1186/s40663-018-0133-3>

Forest Ecosystems

ForestValue

25 October 2018

Innovative forest MANAgement STRategies for a Resilient biOeconomy under climate change and disturbances (I-MAESTRO)

RESEARCH

Open Access



Species-specific, pan-European diameter increment models based on data of 2.3 million trees

Mart-Jan Schelhaas<sup>1</sup>, Geerten M Hengeveld<sup>2,3</sup>, Nanny Heidema<sup>1</sup>, Esther Thürig<sup>4</sup>, Brigitte Rohner<sup>4</sup>, Giorgio Vacchiano<sup>5</sup>, Jordi Vayreda<sup>6,7</sup>, John Redmond<sup>8</sup>, Jarosław Socha<sup>9</sup>, Jonas Fridman<sup>10</sup>, Stein Tomter<sup>11</sup>, Heino Polley<sup>12</sup>, Susana Barreiro<sup>13</sup> and Gert-Jan Nabuurs<sup>1,14\*</sup>

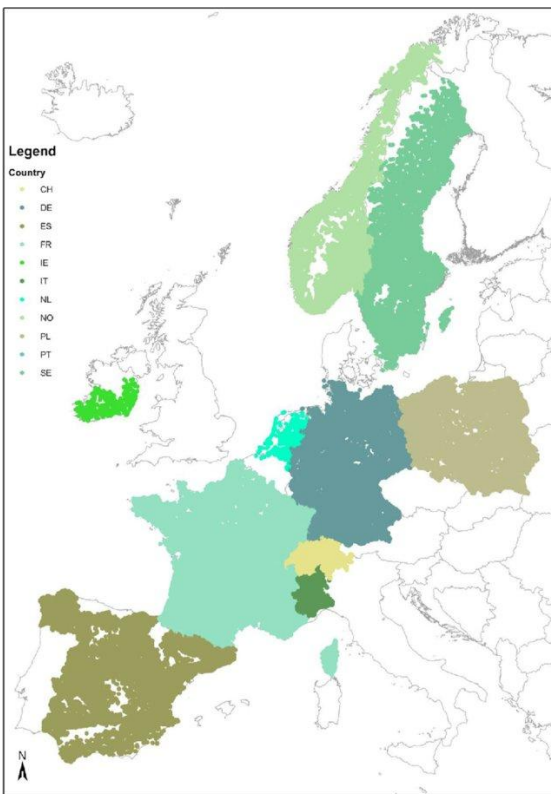
ForestValue Joint Call for Research Proposals 2017

*Evaluation of full proposals (Step 2)*

Full proposal: ID 117 I-MAESTRO



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 773324



NARODOWE CENTRUM NAUKI



O Narodowym Centrum Nauki

Finansowanie nauki

Współpraca zagraniczna

Centrum prasowe

Kontakt



Na skróty

Baza projektów NCN

Konkursy

Dla wnioskodawców

Dla realizujących projekty

Dla ekspertów

Koszty w projektach badawczych

Najczęściej zadawane pytania

Statystyki konkursów

Oferty pracy w projektach

## Polscy naukowcy laureatami międzynarodowego konkursu ForestValue

czwartek, 13 grudnia 2018

Z przyjemnością informujemy, że projekt z udziałem naukowców z Polski został wyłoniony w międzynarodowym konkursie z zakresu gospodarki leśnej pn. "ForestValue – Innovating the forest-based bioeconomy".

Nagrodzony projekt o tytule „Innowacyjne strategie zarządzania lasami dla zrównoważonej bioekonomii w dobie zmieniających się warunków klimatycznych i osłabienia stabilności drzewostanów (I-MAESTRO)” będzie realizowany przez polski zespół z Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jarosława Sochy we współpracy z grupami badawczymi z Francji, Niemiec i Słowenii. Koordynatorem międzynarodowego konsorcjum jest National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture (IRSTEA) z Francji.

Szczegółowe informacje o konkursie ForestValue dostępne są [na stronie internetowej programu](#).

### Kontakt:

- Małgorzata Hasiec, [malgorzata.hasiec@ncn.gov.pl](mailto:malgorzata.hasiec@ncn.gov.pl), tel. 12 341 9153
- Marlena Wosiak, [marlena.wosiak@ncn.gov.pl](mailto:marlena.wosiak@ncn.gov.pl), + 48 12 341 9093

# Projekty badawcze wykorzystujące dane WISL realizowane w Katedrze Zarządzania Zasobami Leśnymi Wydziału Leśnego UR w Krakowie

1. Projekt: 2022-2025 – **LEARNFORCLIMATE: Procesy uczenia się dla realizacji wielorakich celów polityki leśnej w kontekście stresu i zaburzeń Klimatycznych (Learning to realize multiple forest policy objectives under climate related stress and disturbance)**, **Konkurs: Forest Value Joint Call 2021** Zlecniodawca: **Komisja Europejska, Narodowe Centrum Nauki** Projekt realizowany przez konsorcjum: Luleå University of Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, University of Freiburg, European Forest Institute, University of Ljubljana, **Instytut Filozofii i Socjologii Polskiej Akademii Nauk, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie** kierownik projektu: dr hab. Krzysztof Niedziałkowski, prof. IFIS, kier. Proj. na URK prof. dr hab. inż. Jarosław Socha  
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 773324.
2. Projekt: 2022-2026 – **CLIMB-FOREST: Ścieżki łagodzenia zmian klimatu i biogospodarki dla zrównoważonego leśnictwa - CLimate Mitigation and Bioeconomy pathways for sustainable FOREstry**, **Konkurs: Horizon Europe / HORIZON-CL6-2021-CLIMATE-01-09** Zlecniodawca: **Komisja Europejska** Projekt realizowany przez konsorcjum: Lunds Universitet, Norsk Institutt For Bioekonomi, Katholieke Universiteit Leuven, Karlsruher Institut Fuer Technologie, Oppla Eeig, Helsingin Yliopisto, Ustav Vyzkumu Globalni Zmeny Av Cr Vvi, Universidad De Alcala, Helmholtz-Zentrum Fur Umweltforschung Gmbh – Ufz, Luonnonvarakeskus, Georg-August- Universitat Gottingen Stiftung Offentlichen Rechts, Fundacion Centro De Estudios Ambientales Del Mediterraneo, I Universitat De Barcelona, Eidgenoessische Technische Hochschule Zuerichch, Ceska Zemedelska Univerzita V Praze, Institut Euro, This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 773324. itivee, As Selvik Bruk, **Uniwersytet Rolniczy w Krakowie** kier. proj. na URK prof. dr hab. inż. Jarosław Socha
3. Projekt 2022-2024 - **Modele przyrostu miąższości głównych gatunków lasotwórczych Polski** Zlecniodawca: **Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych**. Projekt realizowany przez konsorcjum: **Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary**, kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Jarosław Socha
4. Projekt: 2022-2024 - **Modele ryzyka zamierania drzewostanów głównych gatunków lasotwórczych Polski** Zlecniodawca: **Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych**. Projekt realizowany przez konsorcjum: **Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary**, kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Jarosław Socha
5. Projekt: 2022-2025 - **Ocena wpływu warunków meteorologicznych na stan zdrowotny lasów i zaburzenia w lasach w skali regionalnej i krajowej w oparciu o integrację danych naziemnych z danymi z satelitarnych systemów obserwacji Ziemi** Zlecniodawca: **Narodowe Centrum Nauki**, Projekt realizowany przez konsorcjum: **Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie**, Kierownik projektu dr hab. Agata Hościło, kier. proj. na UER: prof. dr hab. inż. Jarosław Socha

# 2015-2017 Aktualna i potencjalna produktywność siedlisk leśnych Polski dla głównych gatunków lasotwórczych

Projekt realizowany przez konsorcjum:

**Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie**

**Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej**

**Instytut Badawczy Leśnictwa**



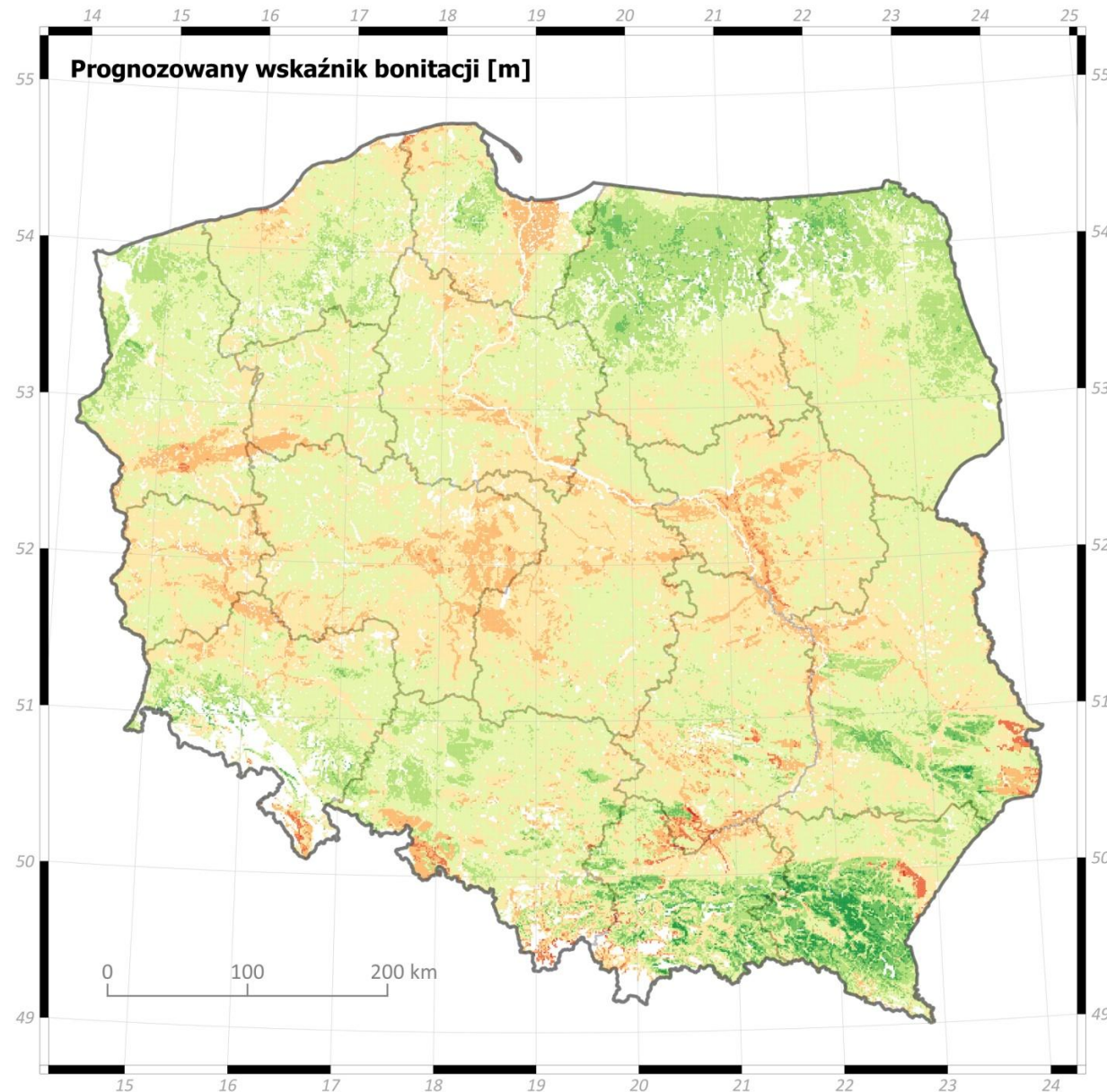
Zlecniodawca: **Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych**

## **Oczekiwane wyniki:**

1. Opracowanie nowych modeli bonitacyjnych dla głównych gatunków lasotwórczych
2. **Opracowanie modeli produktywności siedlisk opisujących obecną produktywność siedliska jako funkcję właściwości gleb, geologii, klimatu i topografii**
3. Analizy przestrzenne w kształtowaniu się bieżącego przyrostu miąższości (MAI) drzewostanów na tle warunków siedliskowych i opracowanie algorytmów przyrostowych
4. Prognozy zmian produktywności siedlisk dla różnych scenariuszy zmian klimatu



# Potencjał siedlisk Polski dla wzrostu sosny zwyczajnej

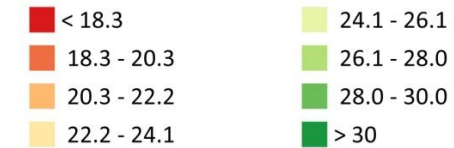


## Sosna zwyczajna

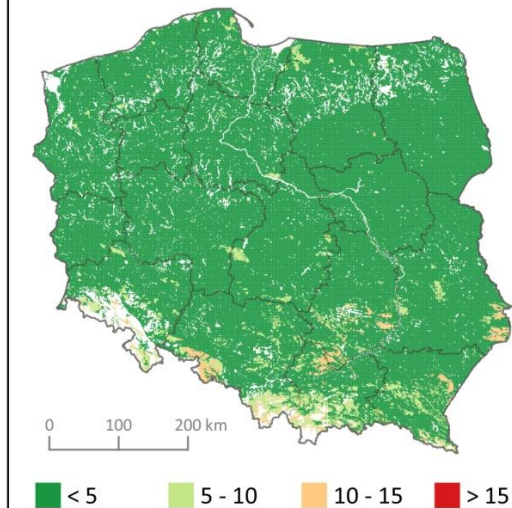
*Pinus sylvestris* L.

Model 3

### Wskaźnik bonitacji [m]



### Błąd standardowy modelu [%]



# 2022-2024 - Modele ryzyka zamierania drzewostanów głównych gatunków lasotwórczych Polski



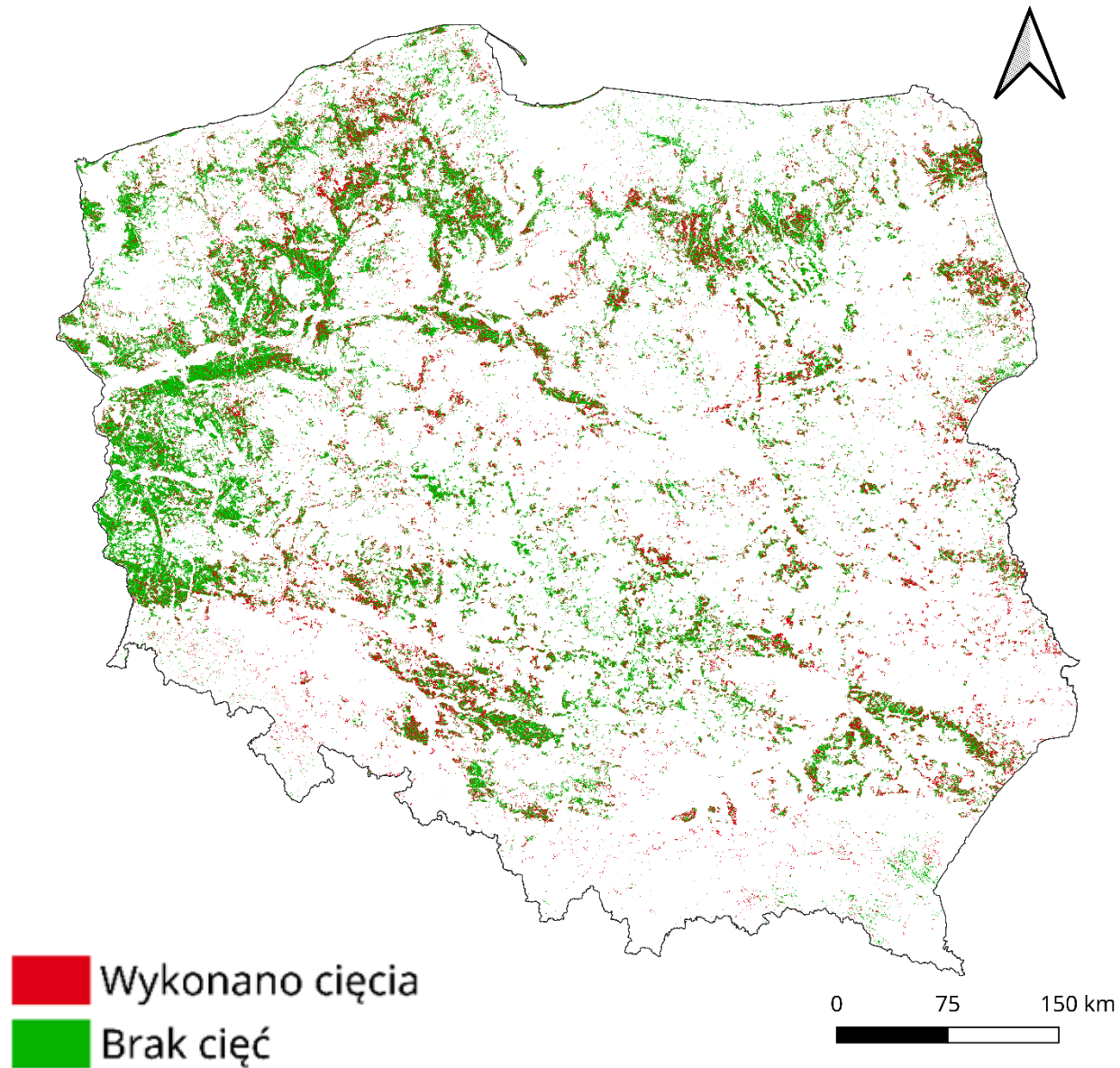
**Projekty realizowany przez konsorcjum:**

- **Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie**
- **Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary**

**Zlecniodawca: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.**

# Modelowanie ryzyka zamierania drzewostanów

Cięcia sanitarne w drzewostanach sosnowych w latach 2012-2023

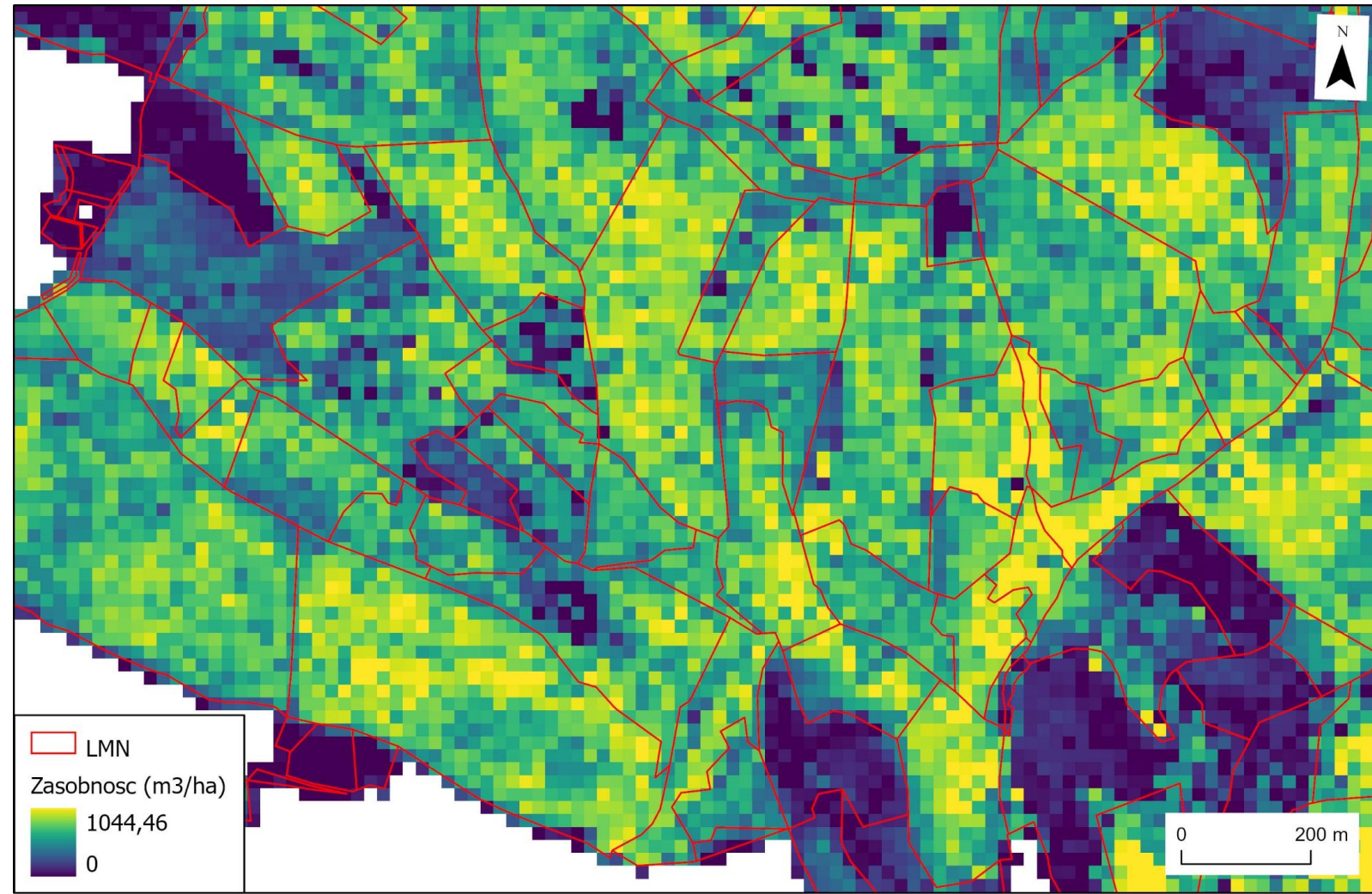
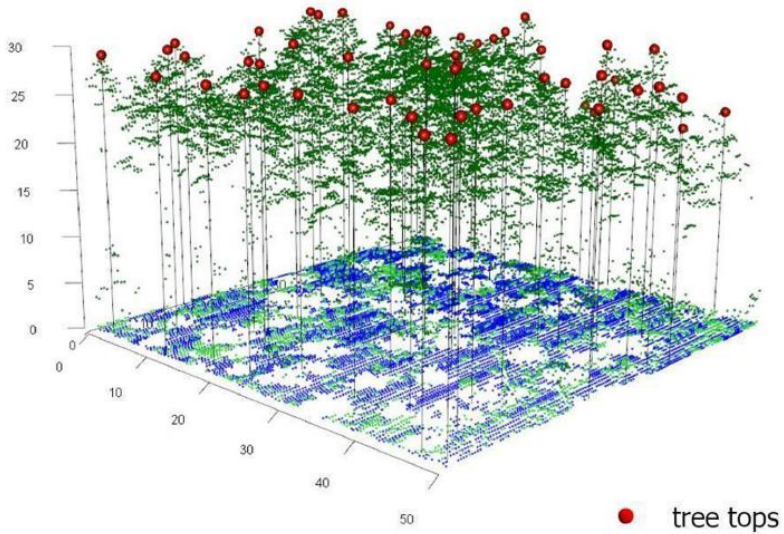




# Określenie cech drzewostanów na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego (ALS) i WISL

Dane z ALS -> model WISL = cechy lasu (zagęszczenie, zasobność, przeciętna pierśnica, ...)

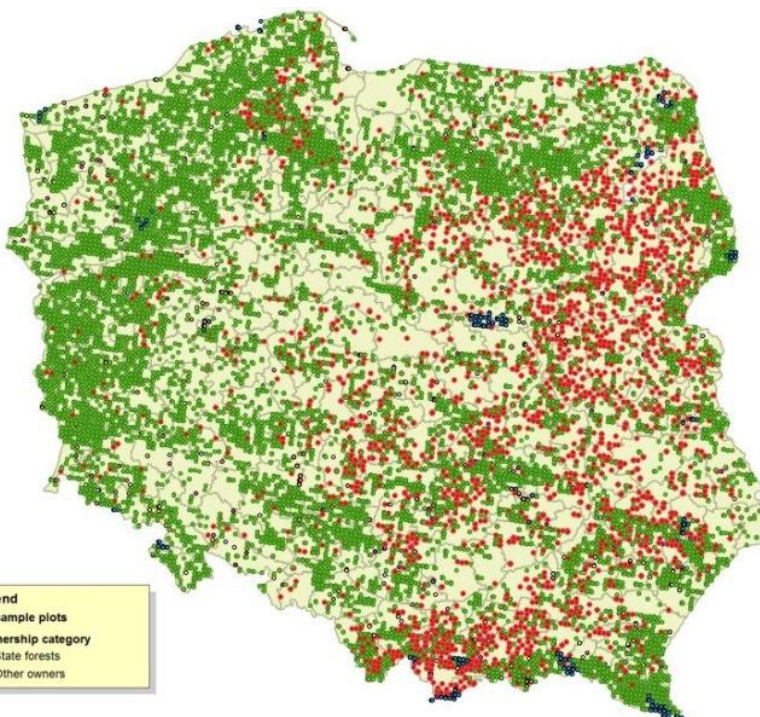
Mapa zasobności – rozdzielczość 20x20 m





# Nowa metoda określania zasobności na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego i WISL

- Postawiliśmy hipotezę, że cechy drzewostanu określone za pomocą pomiarów pochodzących z ALS można wykorzystać do określenia zasobności drzewostanu bez użycia powierzchni georeferencyjnych.
- Założyliśmy, że modele allometryczne zasobności drzewostanu można opracować przy użyciu danych z wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu.



Legend  
NFI sample plots  
Ownership category  
• State forests  
• Other owners

OXFORD  
ACADEMIC

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollataja ▼ Sign In ▼ Register

Forestry

Institute of  
Chartered Foresters

Issues More Content ▼ Submit ▼ Purchase Alerts About ▼

All Forestry: An Internation... Advanced Search



Volume 93, Issue 3  
April 2020

< Previous Next >

## An allometric area-based approach—a cost-effective method for stand volume estimation based on ALS and NFI data

Jarosław Socha ✉, Paweł Hawryło, Marcin Pierzchalski,  
Krzysztof Stereńczak, Grzegorz Krok, Piotr Wężyk,  
Luiza Tymińska-Czabańska

*Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 93, Issue 3, April 2020, Pages 344–358, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz062>

Published: 06 December 2019 Article history ▼

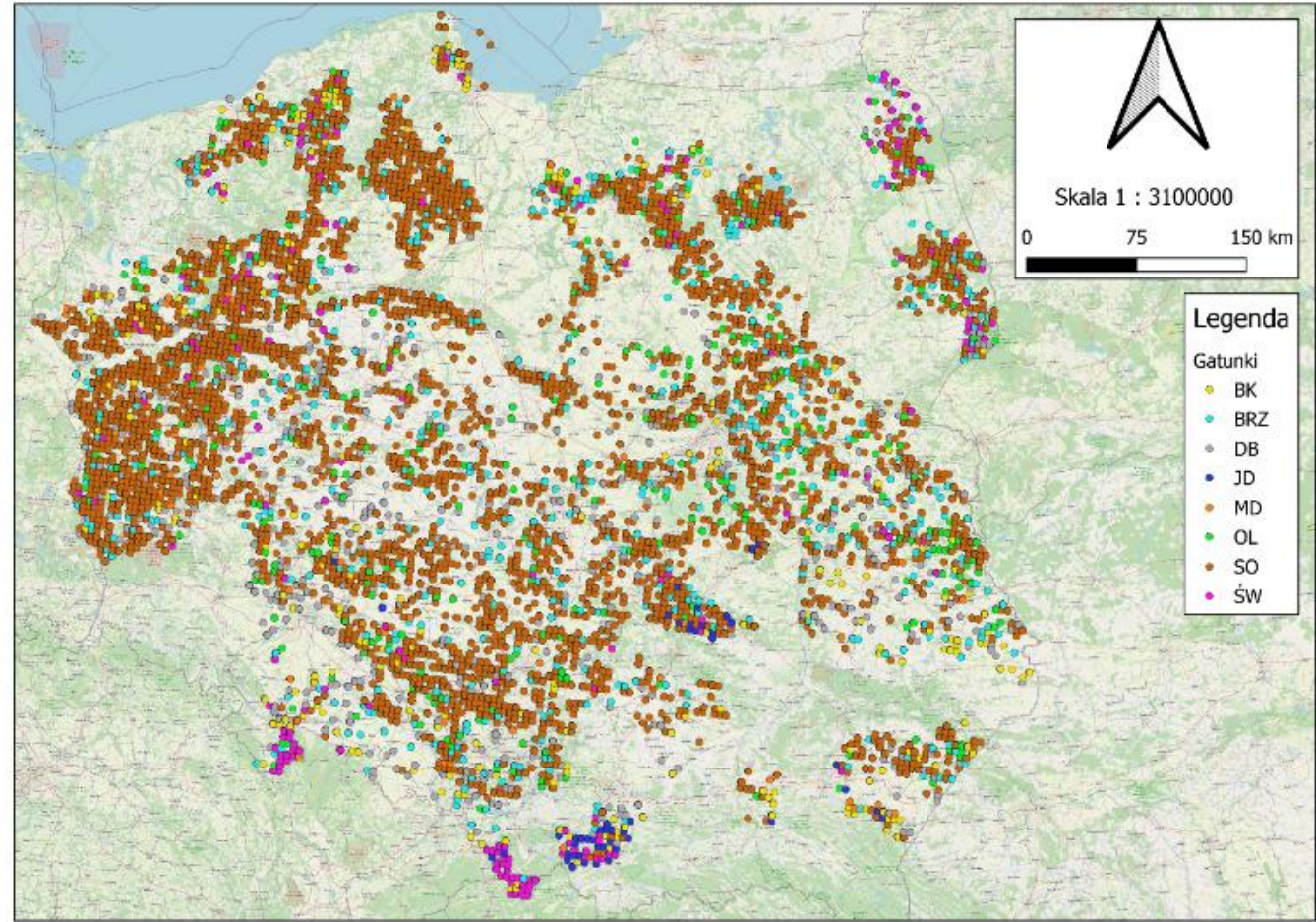
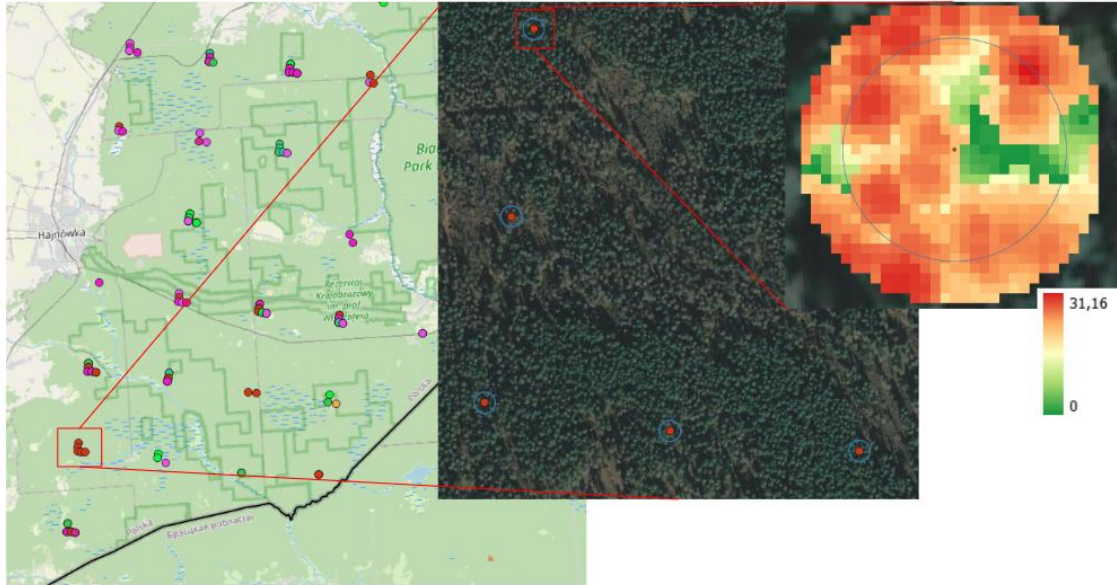
“ Cite Permissions Share ▼





# Wykorzystanie danych WISL do budowy modeli do określania cech drzewostanów

- wysokość górna (m),
- zasobność ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ),
- zagęszczenie (drz./ha),
- pierśnica (cm),
- ...

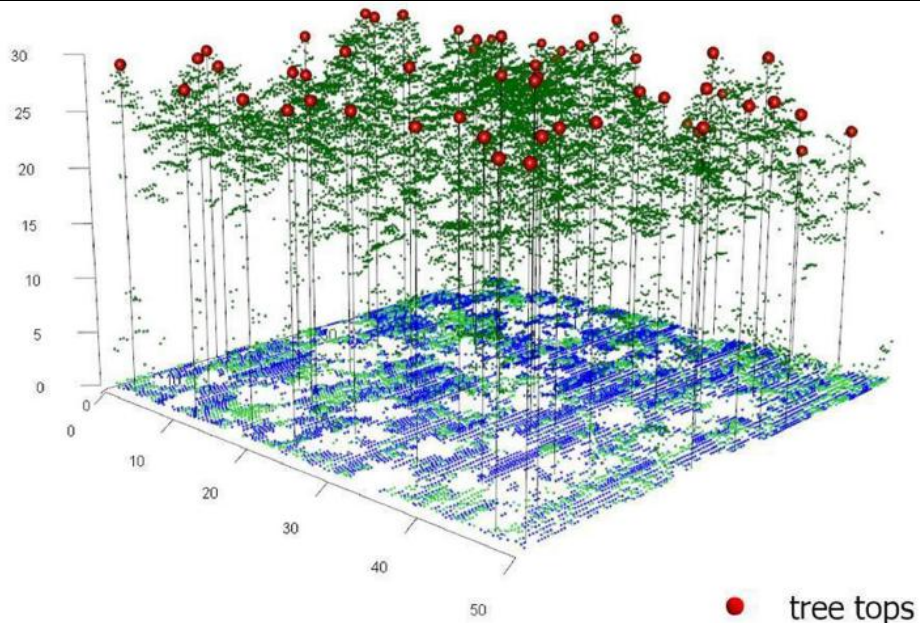
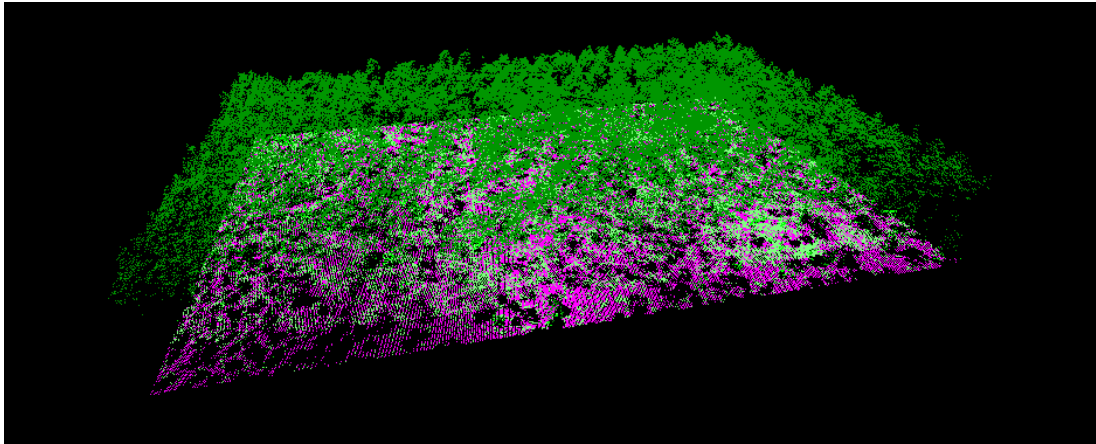




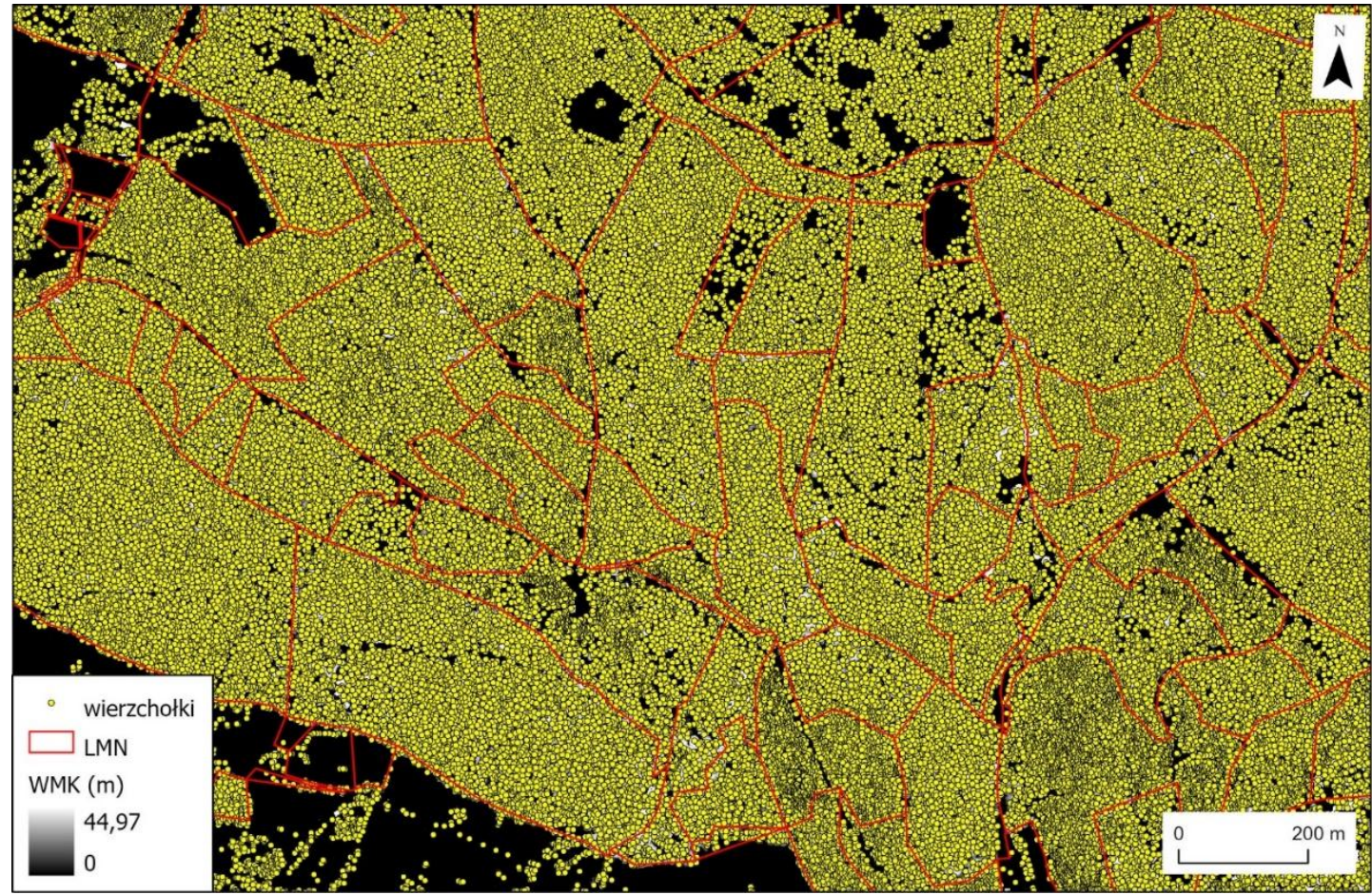
# Określenie cech lasów w Polsce na podstawie ALS i modeli z danych WISL

Detekcja z ALS ~ **4 216 167 541 drzew**

Model WISL ~ **8 921 150 248 drzew**



● tree tops



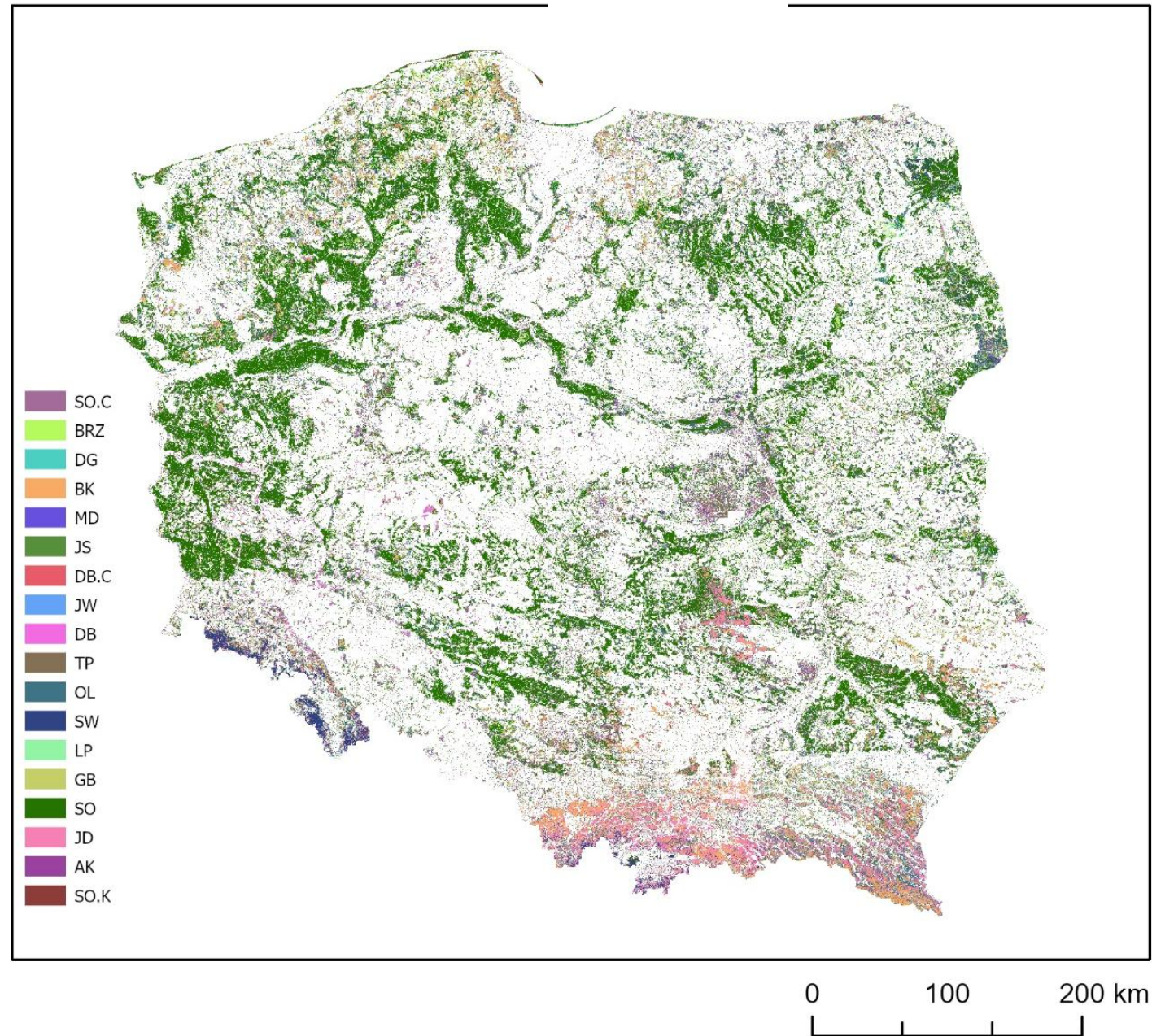
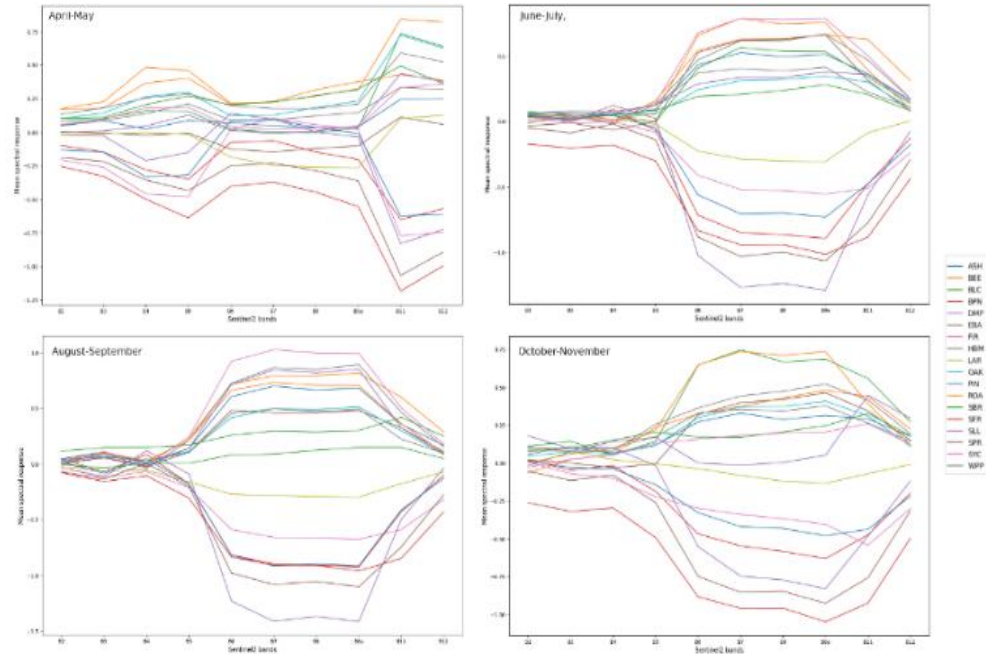
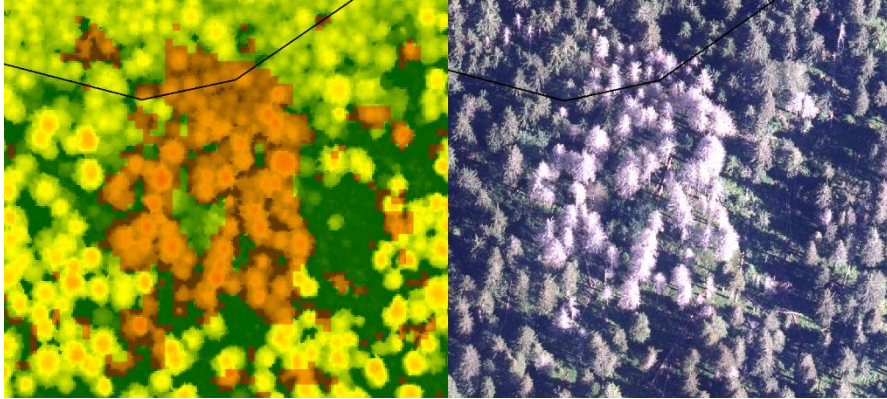
● wierzchołki  
□ LMN  
WMK (m)  
44,97  
0

0 200 m



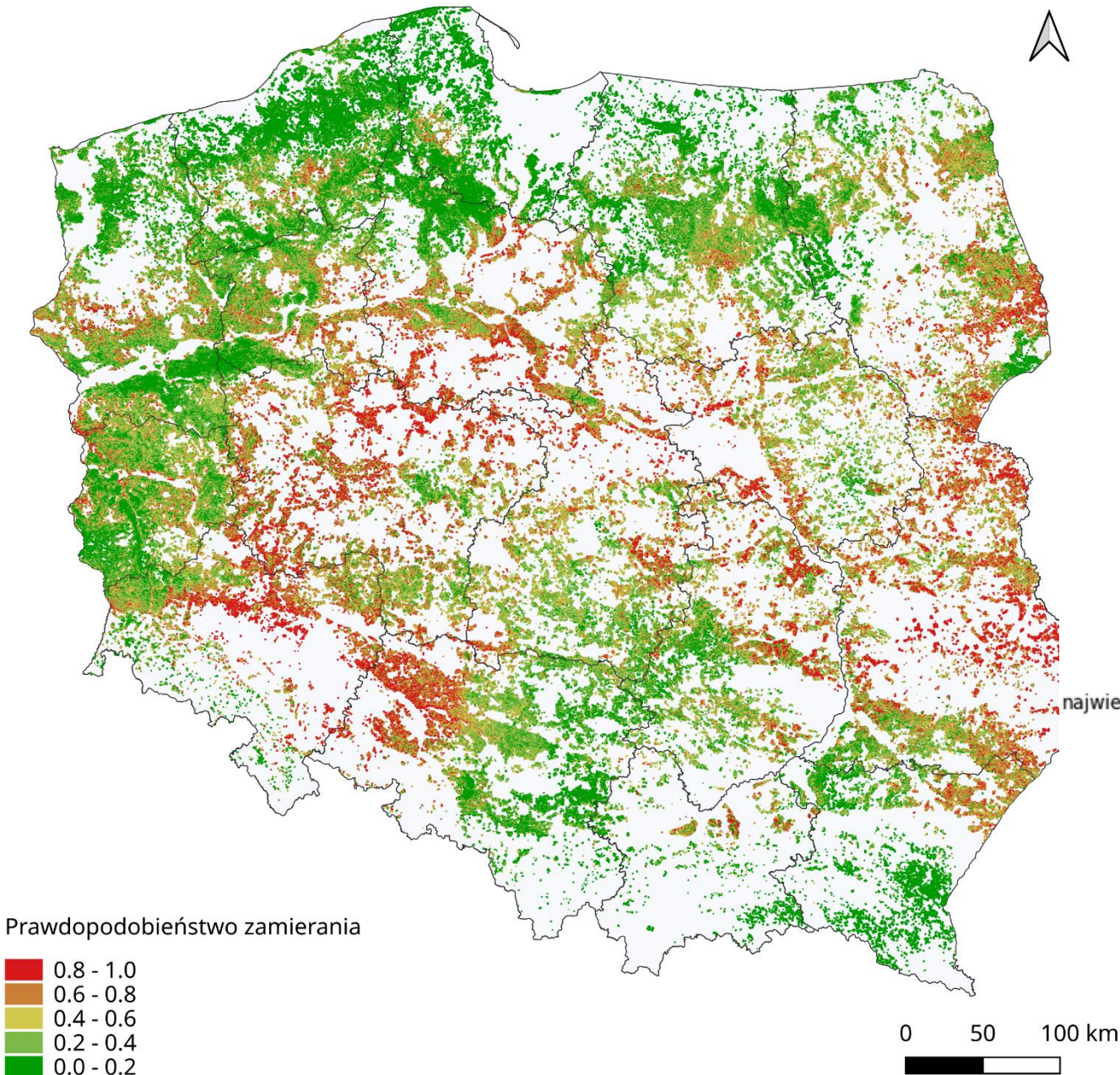
# Klasyfikacja gatunków w rozdzielczości 20 x 20 m WISL – Sentinel-2

## Deep Convolutional Neural Networks

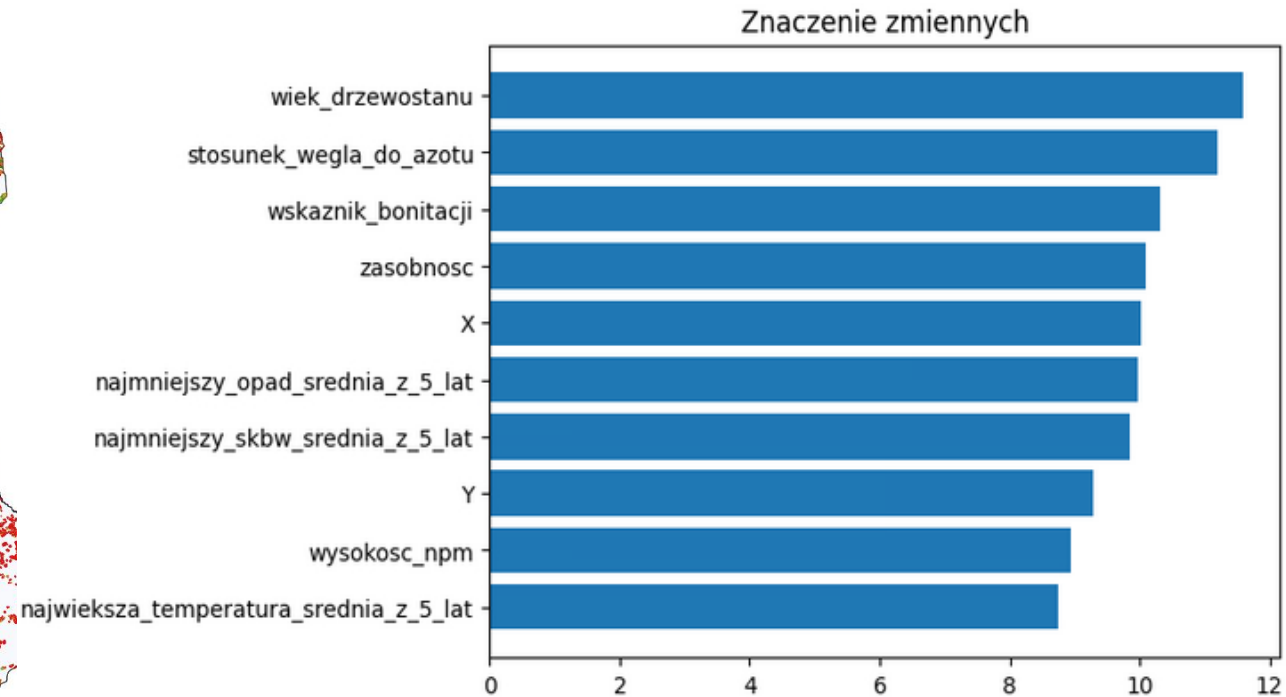




# Ryzyko zamierania drzewostanów sosnowych

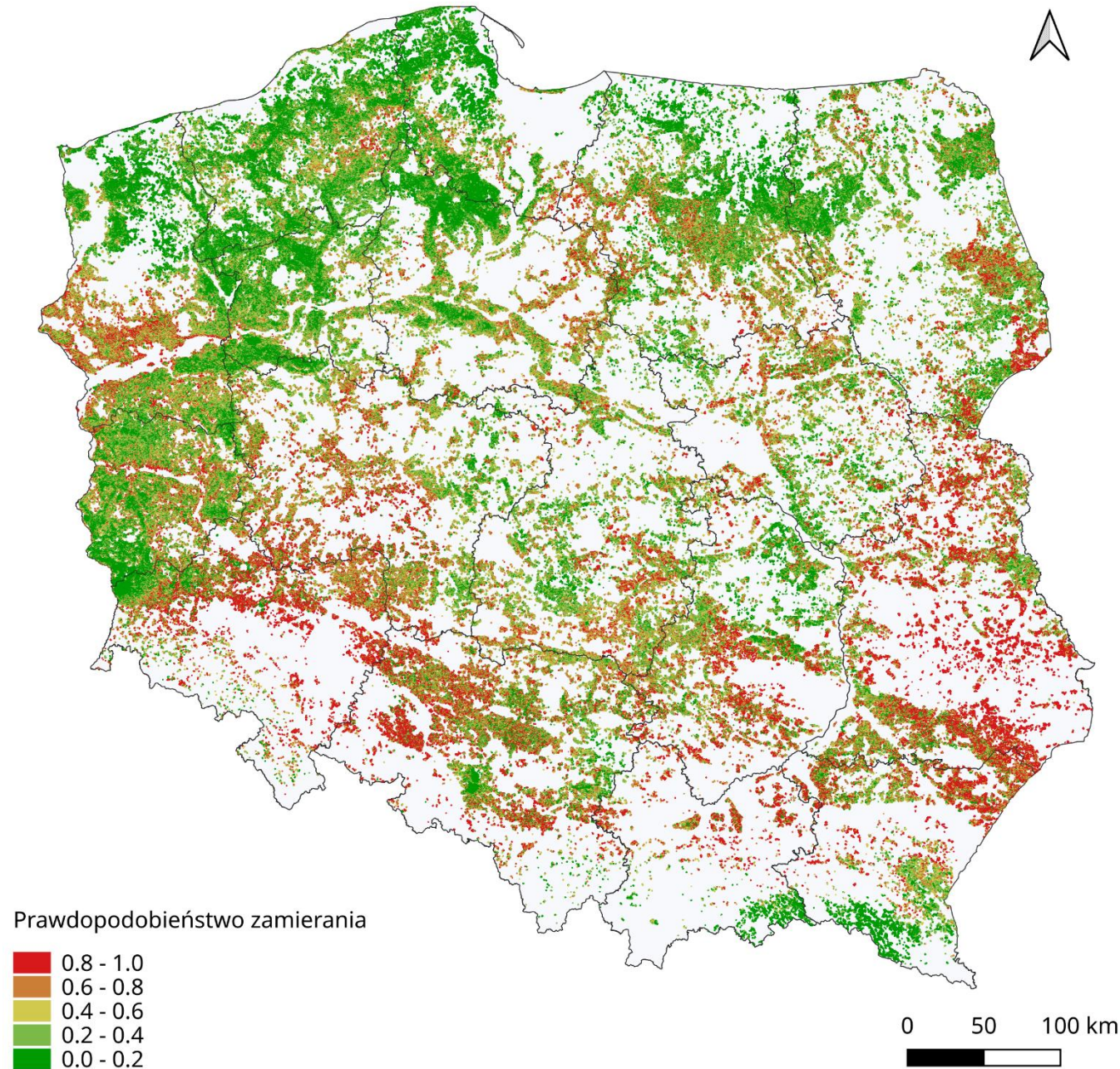


Zmienne o największej istotności w modelu ryzyka zamierania



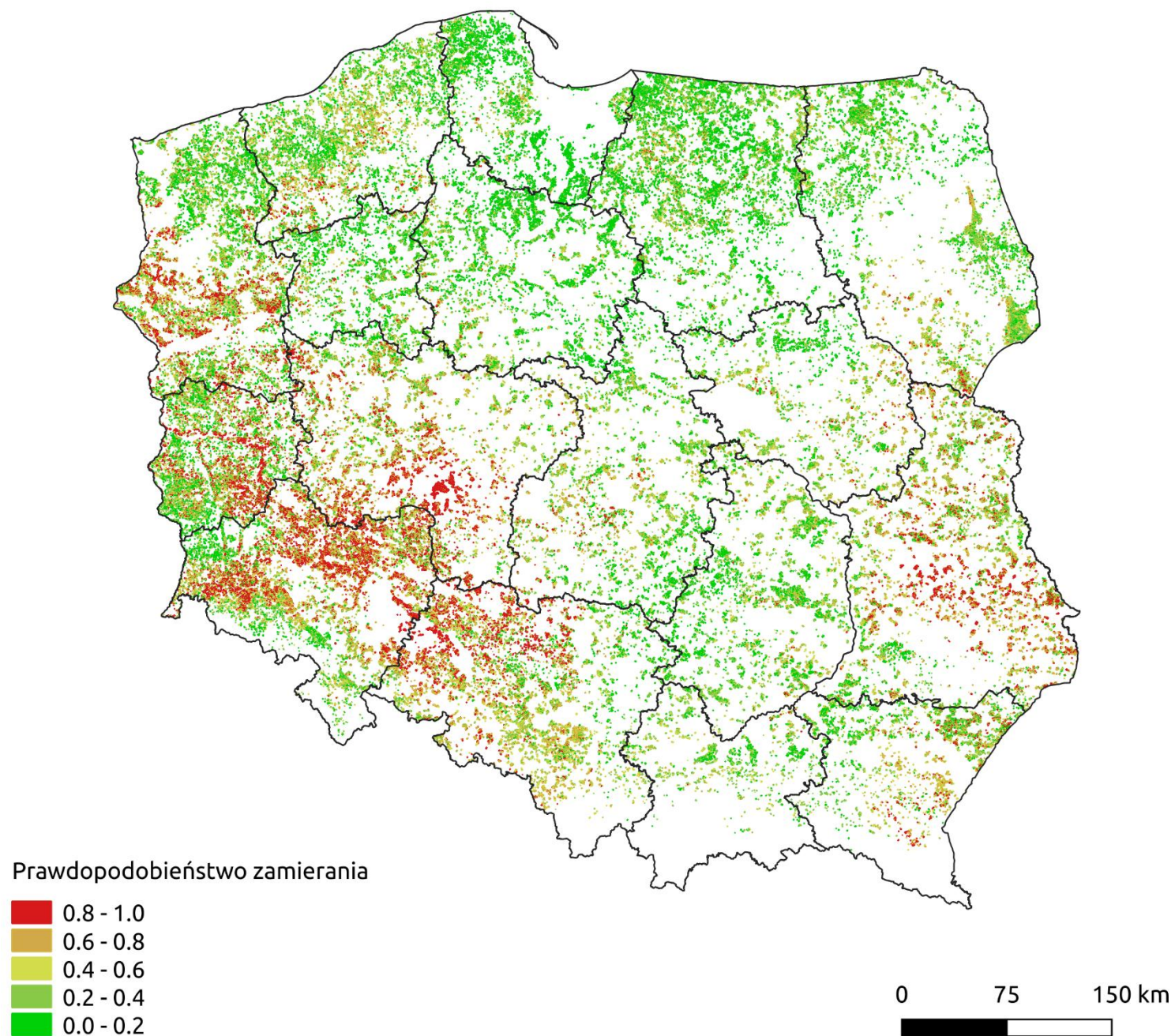


# Prognozowane ryzyko zamierania sosna zw. rok 2040 – scenariusz SSP585





# Prognozowane ryzyko zamierania dęb rok 2050 – scenariusz SSP126





# Nowa instrukcja UL

## 3.3.4. Funkcja lasu, gospodarstwo, strefa uszkodzeń. § 26

- 1) gospodarstwo specjalne (S),
- 2) gospodarstwo lasów oddziaływania społecznego (OS),
- 3) gospodarstwo zrębowe (Z),
- 4) gospodarstwo przerębowo-zrębowe (P-Z),
- 5) gospodarstwo przerębowe (P),
- 6) gospodarstwo odbudowy lasów niestabilnych (N).

1. Stabilność drzewostanu to jego naturalna zdolność do pozostawania w stanie względnej równowagi, zapewniająca zachowanie struktury wewnętrznej i jej odtwarzanie, utrzymanie produktywności odpowiedniej do siedliska, scharakteryzowana w opisie taksacyjnym prawdopodobieństwem przeżycia (przejścia do kolejnej klasy wieku).

2. Cechę stabilności drzewostanu określa się z wykorzystaniem:

1) map ryzyka zamierania drzewostanów opracowanych na podstawie „Modeli ryzyka zamierania drzewostanów głównych gatunków lasotwórczych Polski” (Socha i in. 2023). Dla każdego wydzielenia drzewostanowego zostaje określone prawdopodobieństwo ryzyka rozpadu wyrażone w skali od 0 do 100%. Model wskazuje drzewostany narażone na rozpad w wyniku zjawisk związanych z suszą;

2) wykazu drzewostanów, w szczególności za okres obowiązywania planu urządzenia lasu, z odnotowanymi szkodami spowodowanymi przez czynniki biotyczne i abiotyczne (wiatry, gradobicia, okiść, pożary, jemiółę, owady, patogeny grzybowe, zwierzyńę płową itp.), przygotowanego przez ZOL, z wykorzystaniem danych ochrony lasu RDLP i nadleśnictwa, przedstawianego podczas obrad NU;

3) wyników inwentaryzacji terenowej.

3. W opisie taksacyjnym jest wyrażana w czterostopniowej skali, proporcjonalnie do ryzyka rozpadu drzewostanu, po przeprowadzeniu postępowania, o którym mowa w punkcie 2.

Przyjmuje wartości:

- 1) drzewostany stabilne – ryzyko rozpadu <50% (kod 1);
- 2) drzewostany o obniżonej stabilności – ryzyko rozpadu od 51% do 75% (kod 2),
- 3) drzewostany o silnie obniżonej stabilności – ryzyko rozpadu od 76% do 90% (kod 3),
- 4) drzewostany niestabilne – ryzyko rozpadu >90% (kod 4).



# Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów

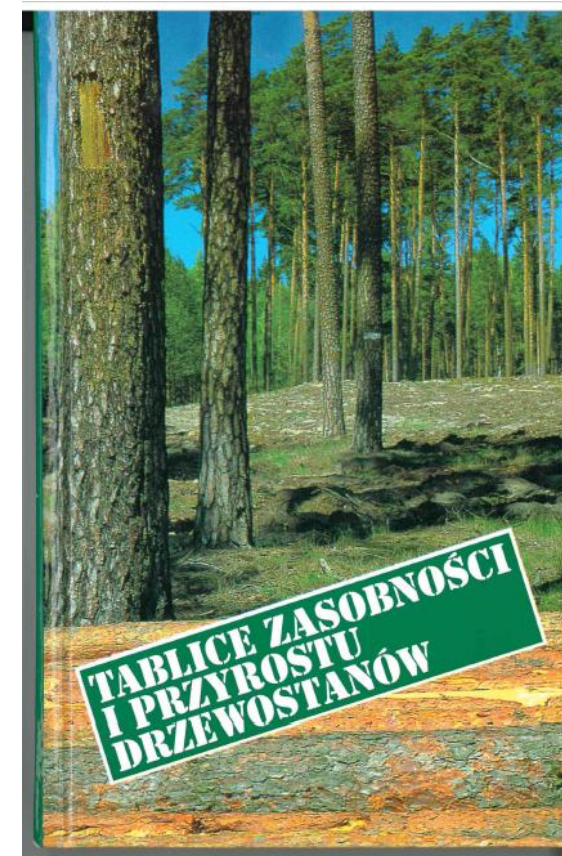
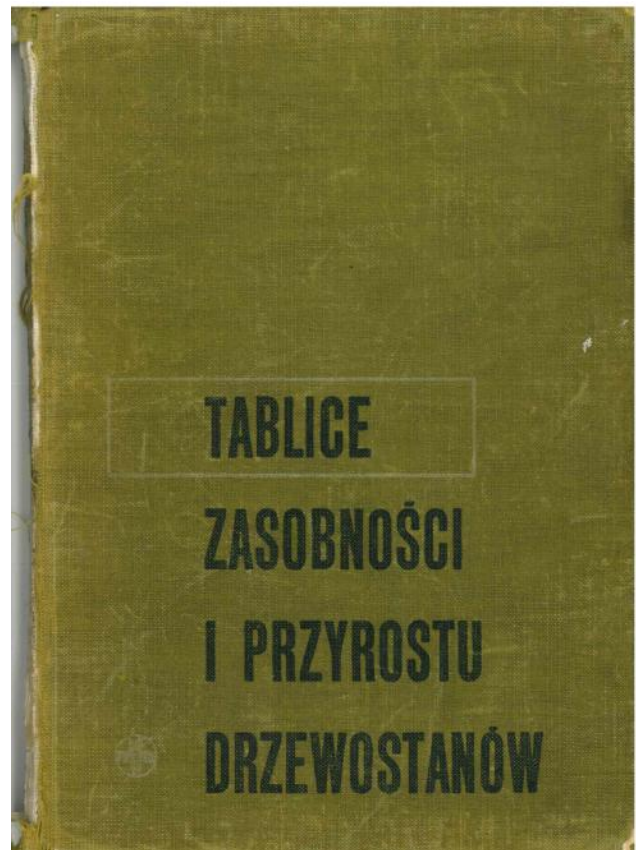
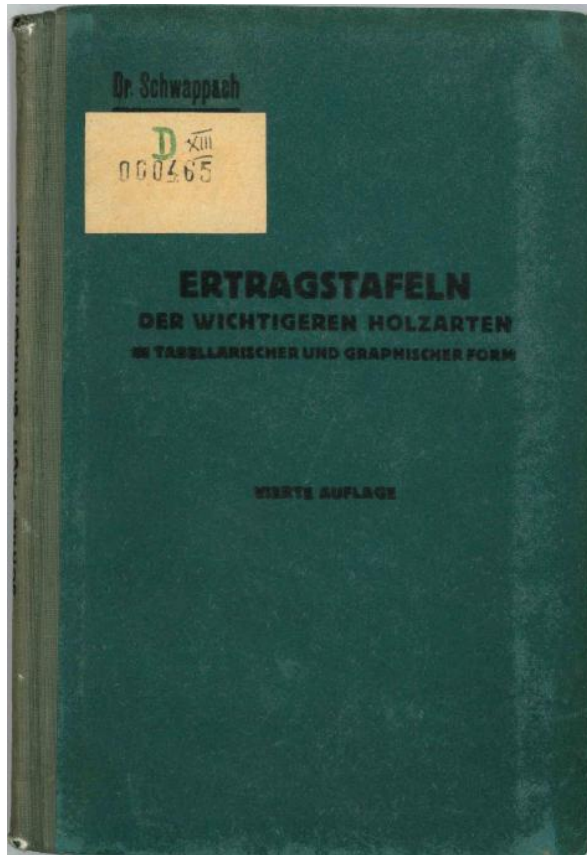
Podstawowe narzędzie planistyczne w leśnictwie

1903 ... 1911

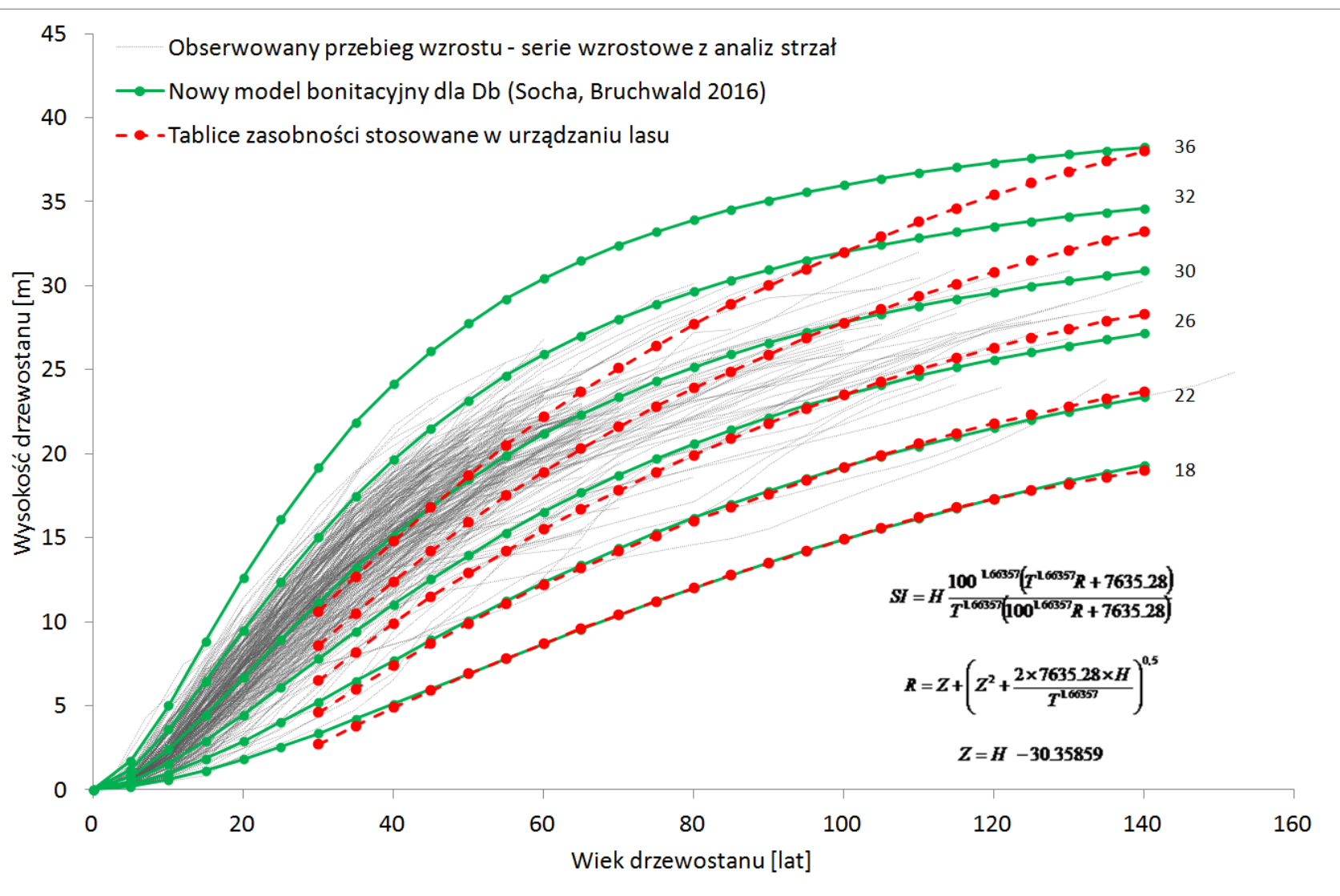
1943

1966

1966



# Nieadekwatność tablic zasobności



Średni bieżący roczny przyrost miąższości drzewostanów w Polsce:

- ocena z wykorzystaniem Tablic zasobności i przyrostu – 6,7 m<sup>3</sup>/ha/rok
- przyrost określony z WISL 2014 – 9,5 m<sup>3</sup>/ha/rok
- Różnica 39%



# 2022-2024 **Modele przyrostu miąższości głównych gatunków lasotwórczych Polski**

Projekt realizowany przez konsorcjum:

**Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie**

**Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary**

Zlecniodawca: **Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.**

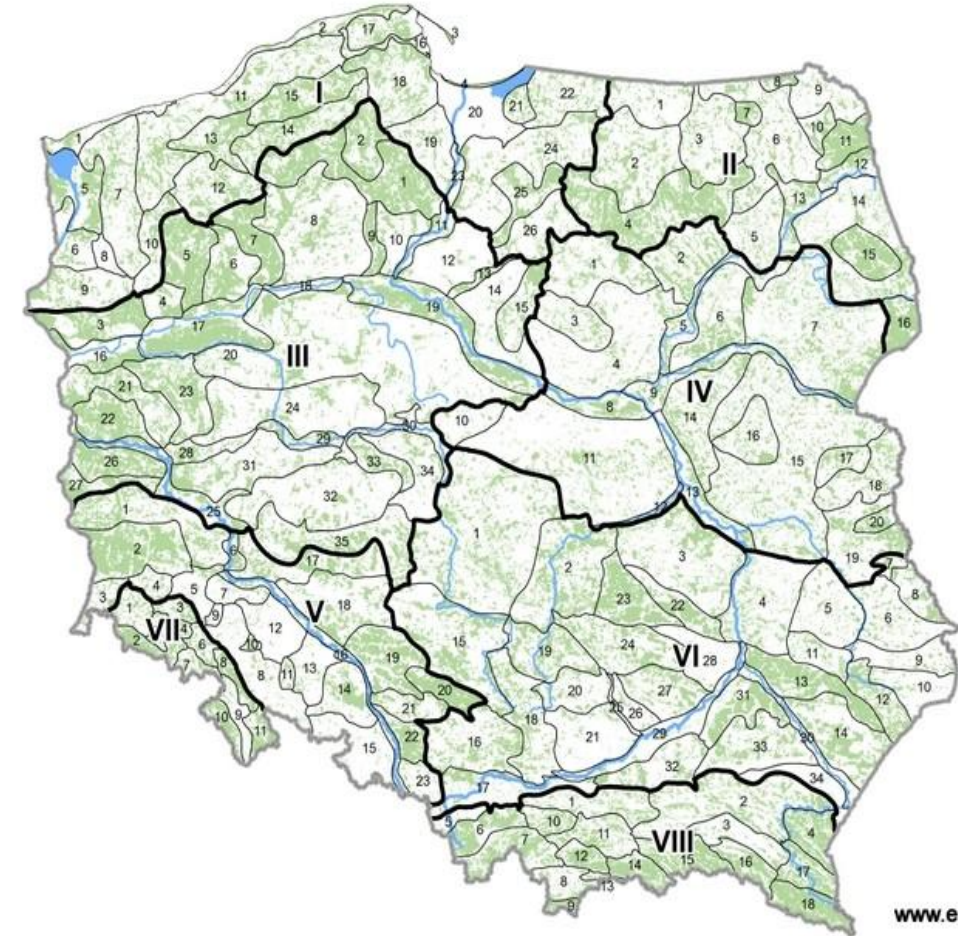
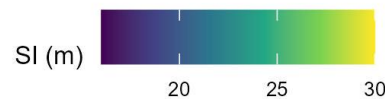
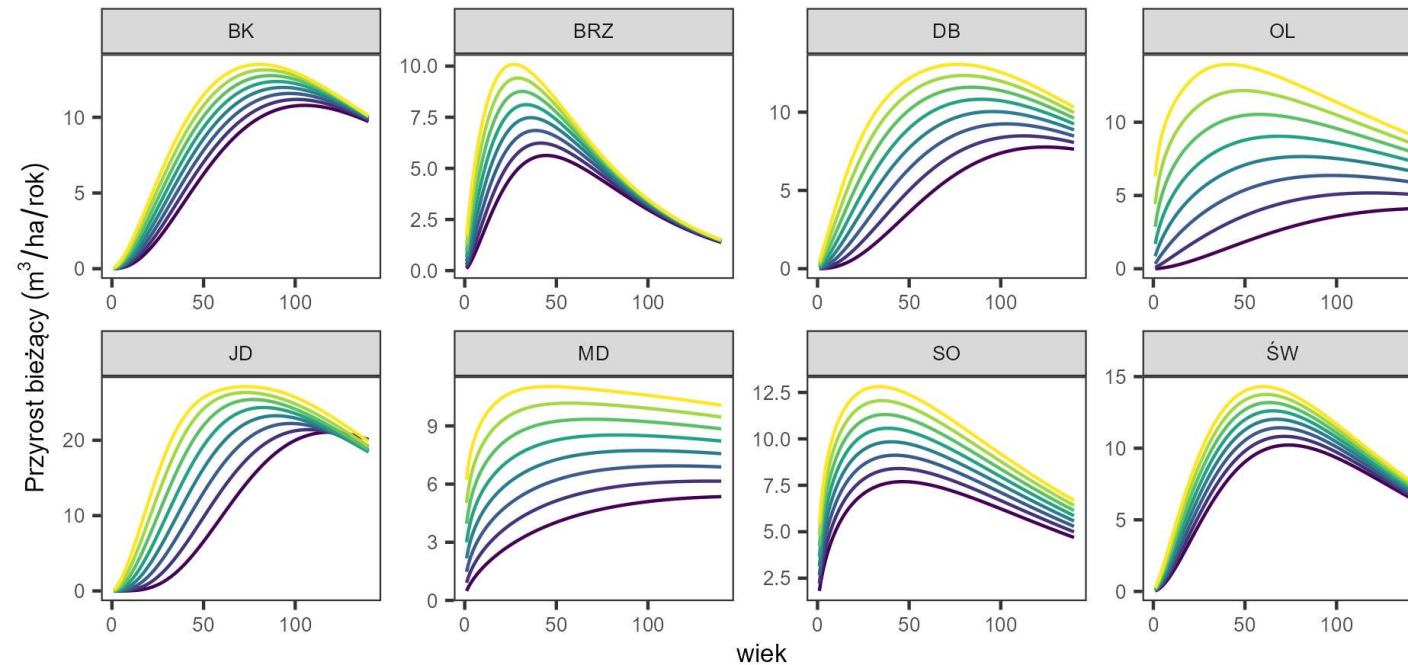


# Modele do określania przyrostu miąższości

$$Iv = ((PSP_2 - PSP_1)/(T_2 - T_1)) \times \eta_1 \times ZD^{\eta_2} \times SI^{\eta_3} \times V^{\eta_4}$$

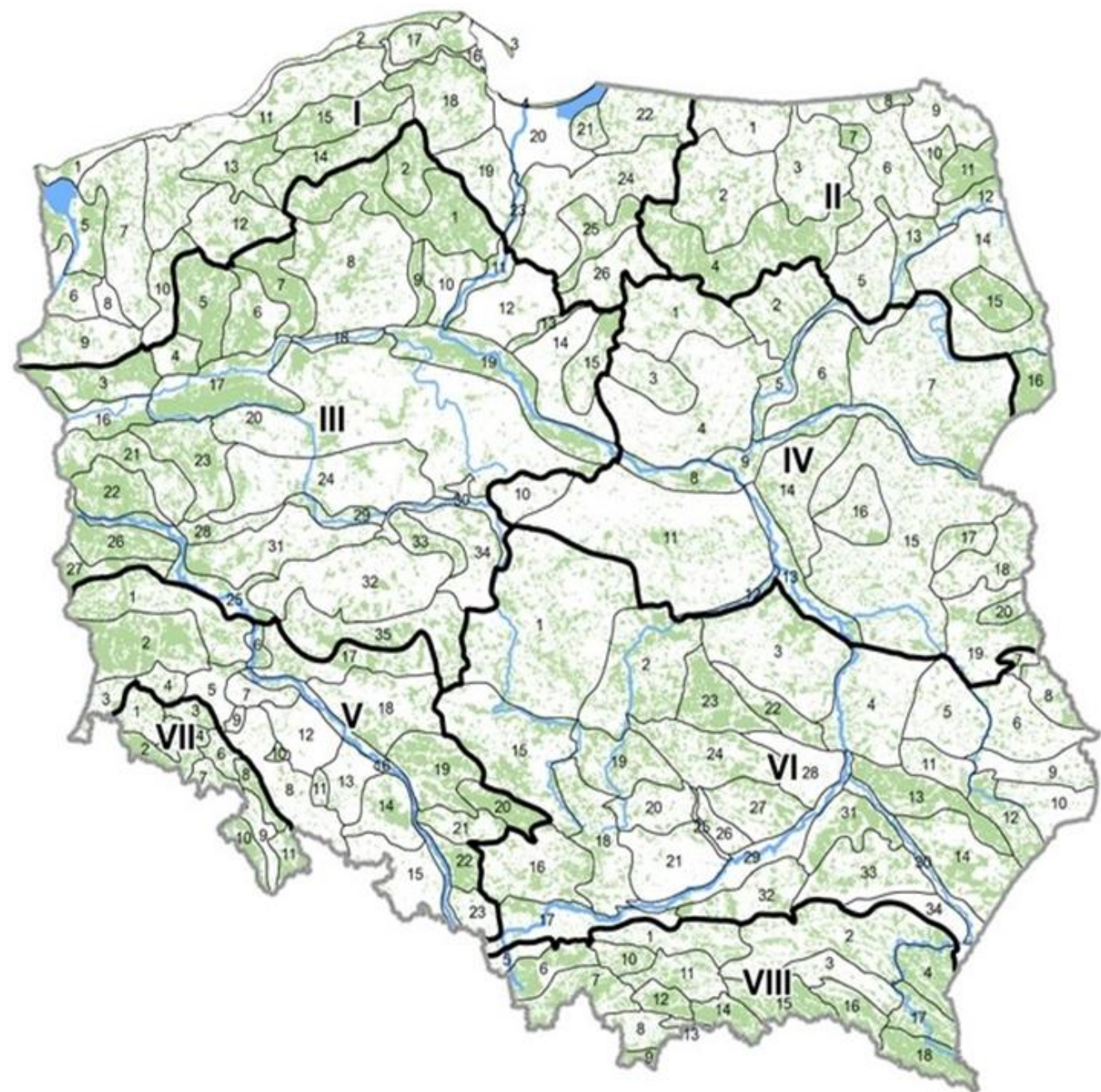
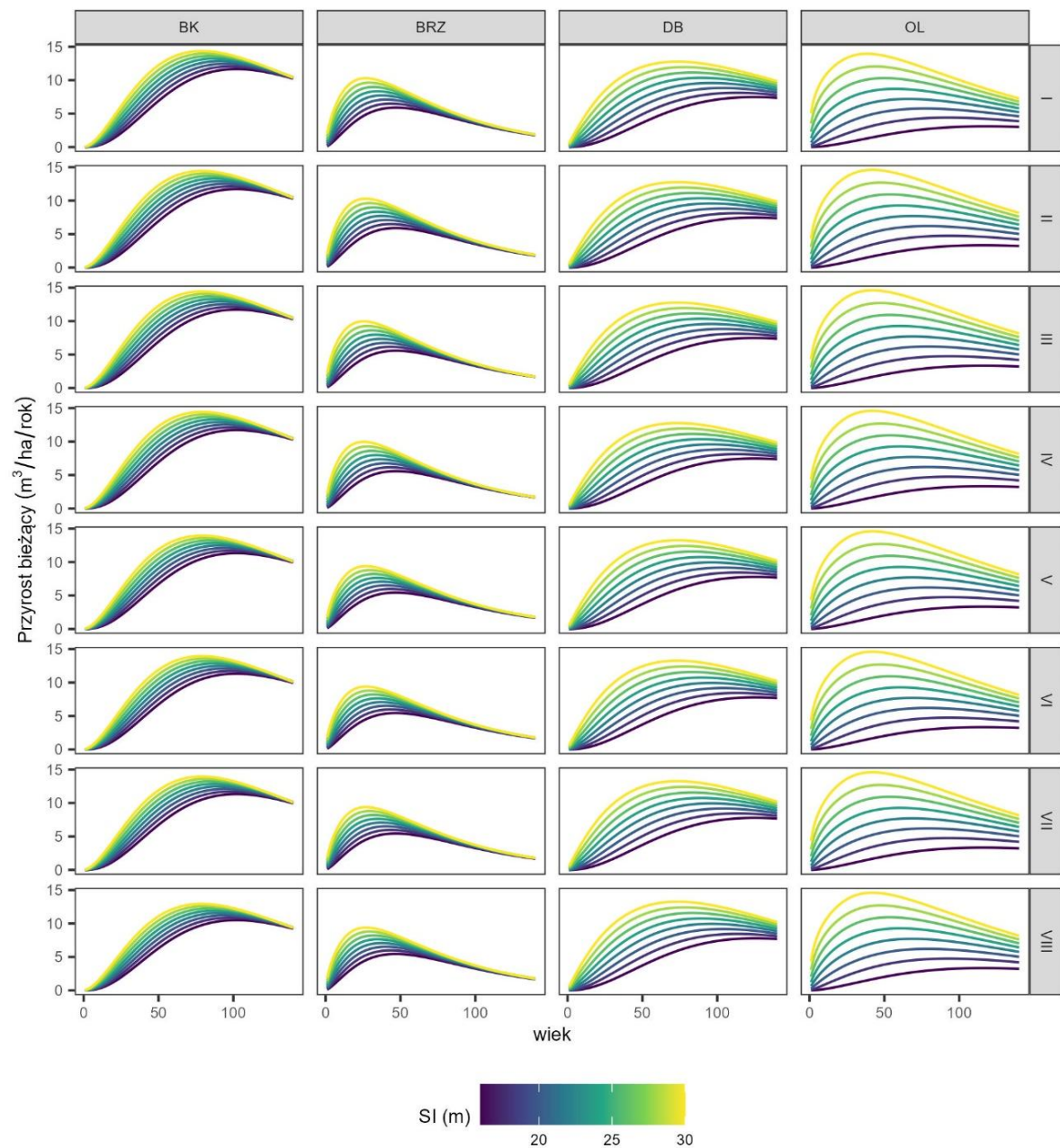
$Iv$  – przyrost miąższości w okresie  $T_1$ - $T_2$ ,  $PSP$  – sumaryczna produkcja,  
 $T$  – wiek drzewostanu,  $SI$  – wskaźnik bonitacji,  $V$  – zasobność drzewostanu,  
 $ZD$  - wskaźnik zadrzewienia,  $\eta_1, \dots, \eta_4$  – parametry równania.

Wskaźnik zadrzewienia = 1





# Regionalne modele przyrostowe





# Wdrożenie modeli - nowa instrukcja urządzania lasu

## 3.3.15. Bonitacja gatunków wchodzących w skład drzewostanu (wskaźnik bonitacji drzewostanu).

§ 37

1. Bonitacja siedliska (wskaźnik bonitacji siedliska - SI) określa produktywność siedliska dla danego gatunku. Bonitację dla gatunku panującego, jak i pozostałych gatunków wchodzących w skład drzewostanu ustala się na podstawie modeli bonitacyjnych opracowanych dla głównych gatunków lasotwórczych Polski. Wskaźnik bonitacji jest wyliczany na podstawie wysokości przeciętnej (HL) i wieku danego gatunku, i oznacza wysokość przeciętną w wieku bazowym 100 lat. Na potrzeby opisu taksacyjnego określa się w oprogramowaniu WEB-Taksator wskaźnik bonitacji siedliska z wykorzystaniem wysokości średniej i wzorów zamieszczonych w dokumentacji projektu: „Modele przyrostu miąższości głównych gatunków lasotwórczych Polski” [Socha i in. 2023].

## 3.3.16. Zadrzewienie (wskaźnik zadrzewienia).

§ 38

1. Wskaźnik zadrzewienia drzewostanu jednogatunkowego i jednowiekowego, wykazującego miąższość grubizny, określa się ze stosunku oszacowanej miąższości na 1 ha (zasobności), do zasobności grubizny modelowej – dla tego samego gatunku, o tym samym wskaźniku bonitacji i w tym samym wieku – określonej zgodnie z wzorem:

$$V_t = (n_1 \cdot SI - n_2) \cdot \left( \frac{1 - e^{b \cdot T_x}}{1 - e^{b \cdot 100}} \right)^{c \cdot (n_1 \cdot SI - n_2)^a} \quad (1)$$

$V_t$  – zasobność modelowa w wieku  $T_x$  zdefiniowana jako zadrzewienie pełne, SI – bonitacja drzewostanu wyrażona jako wysokość w wieku 100 lat,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parametry równania

## 3.3.23. Spodziewany przyrost bieżący (tabelaryczny oraz użyteczny).

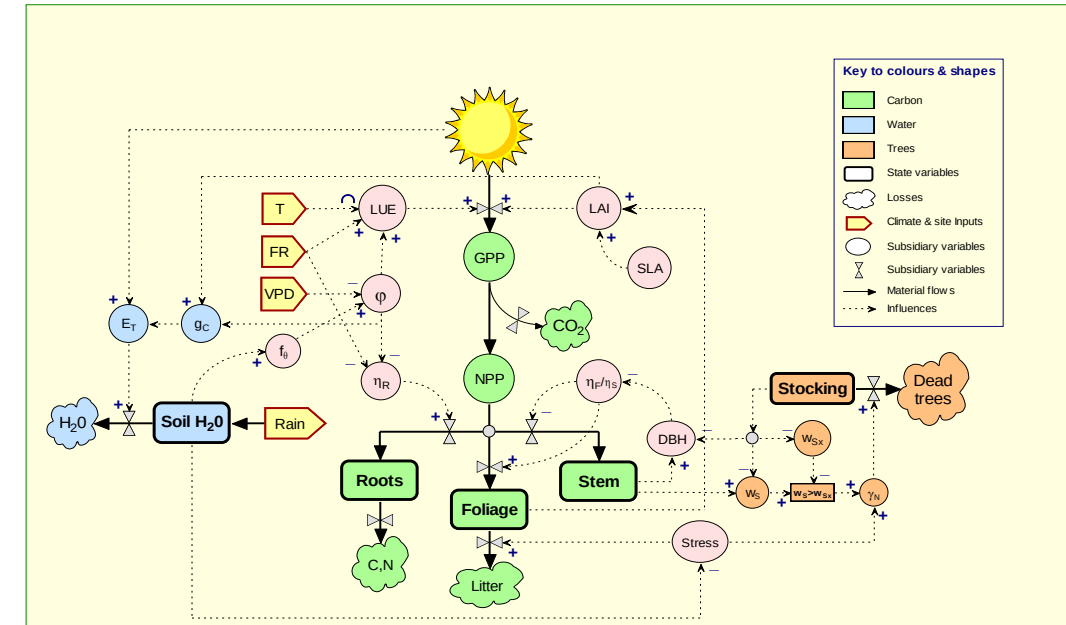
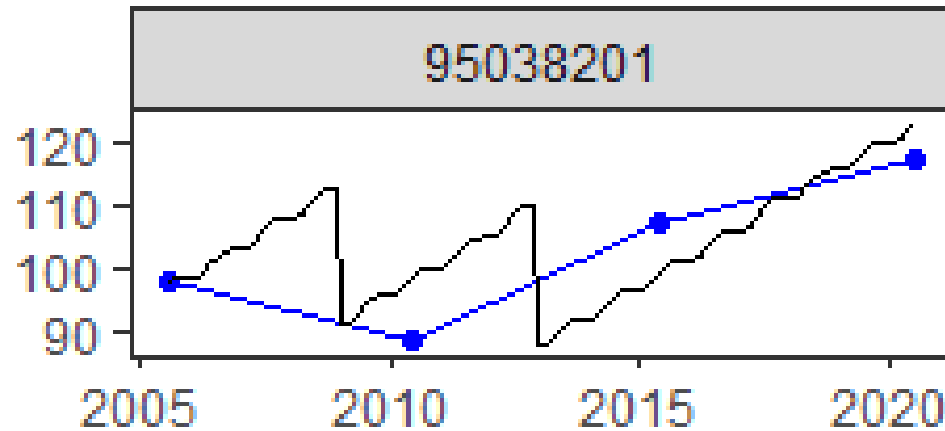
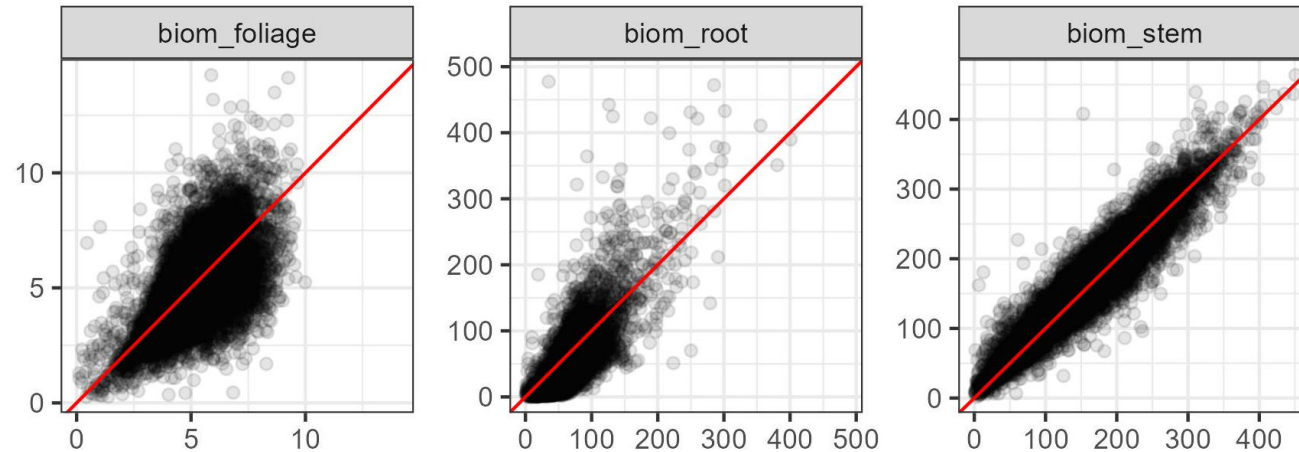
§ 45

1. Spodziewany przyrost miąższości jest określany na podstawie modeli opracowanych w ramach usługi badawczej „Modele przyrostu miąższości głównych gatunków lasotwórczych Polski”. Spodziewany przyrost miąższości wyraża się w  $m^3/1ha/rok$  i jest określany dla każdego gatunku w składzie gatunkowym drzewostanu na podstawie wieku, wysokości i zasobności danego gatunku. W przypadku drzewostanów różnogatunkowych i różnowiekowych przyrost miąższości określa się oddzielnie dla każdej grupy gatunkowej i wiekowej a następnie sumuje dla drzewostanu.



# Kalibracja modelu 3-PG

## 3PG - Physiological Processes Predicting Growth



Źródło: <https://3pg.forestry.ubc.ca/documentation/>

 NARODOWE CENTRUM NAUKI

MINIATURA-6

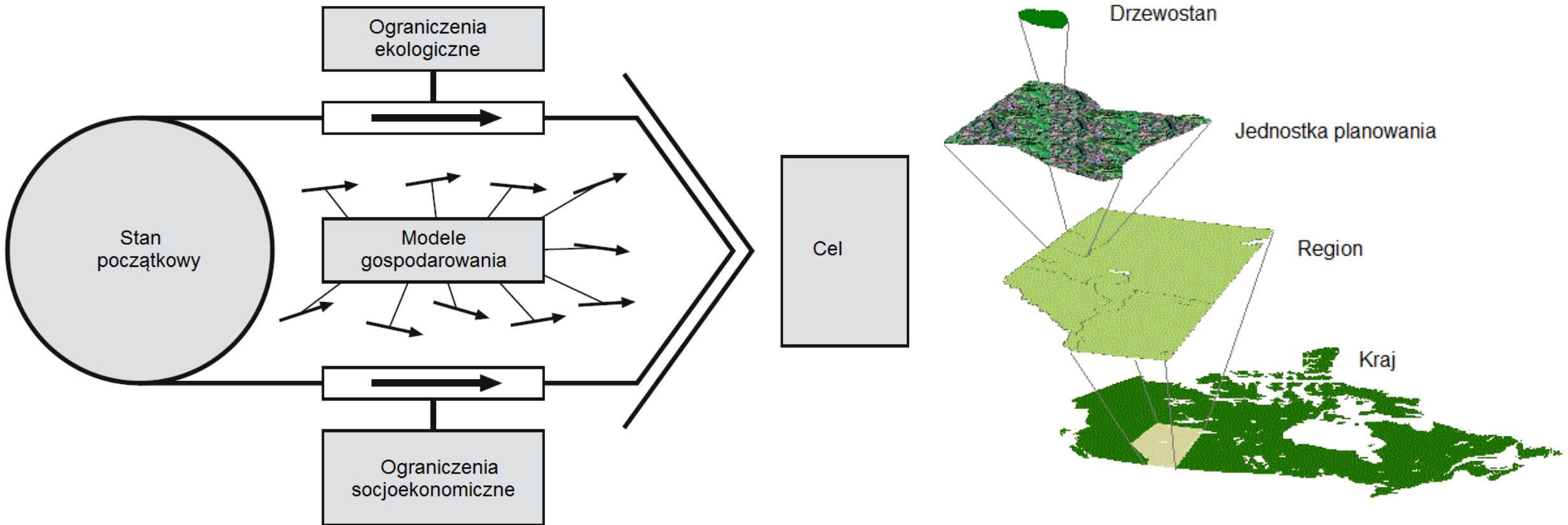
WNIOSEK O PRYZNANIE ŚRODKÓW FINANSOWYCH NA REALIZACJĘ DZIAŁANIA NAUKOWEGO

Kalibracja modelu wzrostu lasu 3-PG dla głównych gatunków lasotwórczych Polski

dr inż. Paweł Hawryło

# Wykorzystanie danych WISL i BDL w symulacjach i analizach scenariuszy w zarządzaniu lasami

- **Wynikiem modelowania** dla różnych skal czasowych i przestrzennych mogą być: produkcja drewna, **wielkość pozyskania, koszty i przychody** (na poziomie drzewostanu, nadleśnictwa, RDLP lub DGLP) **zmiany składu gatunkowego, bilans sekwestracji CO<sub>2</sub>, ...**



Ryc. Modele gospodarowania wspomagające zarządzanie w określonym korytarzu decyzji przez symulowanie długoterminowych konsekwencji alternatyw gospodarowania



# **Zastosowanie wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu w badaniach naukowych - podsumowanie**

- 1. Instytucje badawcze prowadzące badania z zakresu nauk leśnych uzyskują z WISL szczegółowe dane o lasach, których najważniejszymi zaletami są reprezentatywność dla Polski oraz charakter przestrzenny.**
- 2. Taka ilość uzyskiwanych danych byłaby niemożliwa do pozyskania nawet w ramach bardzo dużych projektów badawczych.**
- 3. Dane WISL są podstawą wdrażania w leśnictwie nowych rozwiązań modelowych oraz teledetekcji satelitarnej i lotniczej.**

Dziękuję za uwagę!



Fot. Drzewostan bukowy w Nadleśnictwie Gryfino o zasobności około 1030 m<sup>3</sup>/ha, fot. J. Socha