

Skumulowany stres klimatyczny a ryzyko zamierania drzewostanów



Jarosław Socha

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, **Wydział Leśny**



Konferencja naukowa

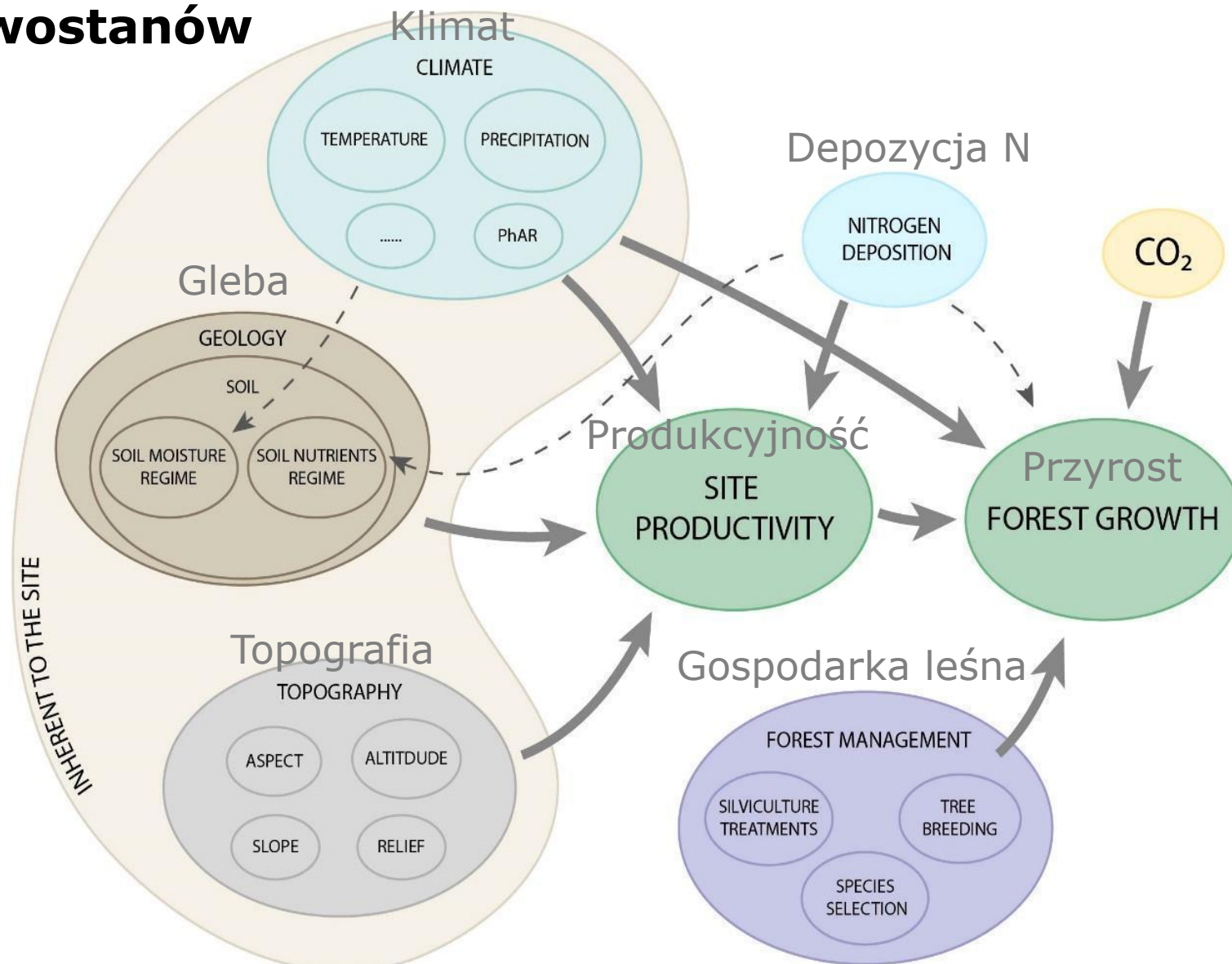
„Przyszłość podkarpackich lasów w dobie zmian klimatycznych”

Uniwersytet Rzeszowski , 3.02.2023

Zmiany produktywności siedlisk i zwiększony przyrost drzewostanów

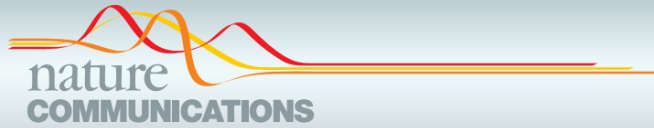
Biologiczne przyczyny przyspieszonego wzrostu drzew

- ▶ Depozycja azotu
- ▶ Wzrost temperatury powietrza – wydłużenie okresu wegetacyjnego
- ▶ Wzrost stężenia CO₂ w atmosferze
- ▶ Hodowla selekcyjna drzew leśnych
- ▶ Udoskonalone sposoby zagospodarowania lasu
- ▶ ...?



Ryc. Produkcyjność siedliska i wzrost drzewostanów jako wynik interakcji pomiędzy czynnikami właściwymi dla siedliska, depozycji NO_x, stężenia CO₂ w atmosferze i gospodarki leśnej (Socha i in. 2022 in progress).

Przyśpieszony przyrost drzew jako efekt zmian produktywności siedlisk



ARTICLE

Received 7 Mar 2014 | Accepted 12 Aug 2014 | Published 12 Sep 2014

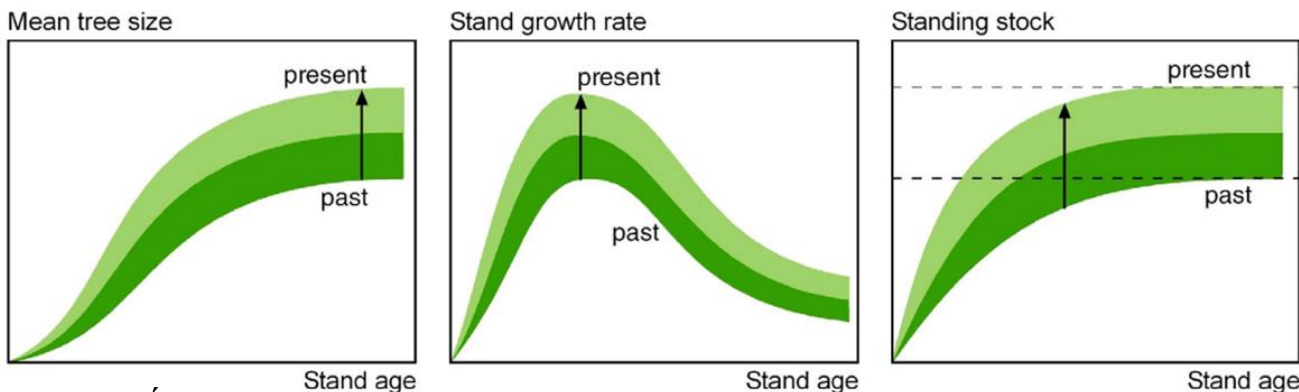
DOI: 10.1038/ncomms5967

OPEN

Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870

Hans Pretzsch¹, Peter Biber¹, Gerhard Schütze¹, Enno Uhl^{1,2} & Thomas Rötzer¹

Główne gatunki lasotwórcze wykazują szybszy przyrost pojedynczych drzew (+32 do 77%), przyrost miąższości drzewostanu (+10 do +30%), zwiększoną akumulację drewna na jednostce powierzchni (+6 do 7%)



Źródło: Pretzsch et al., 2014. Nature Communications 5, 4967

Zwiększony przyrost sosny zwyczajnej w Polsce – drzewostany są aktualnie o 29 % (ponad 8 m) wyższe niż 100 lat temu



Contents lists available at ScienceDirect

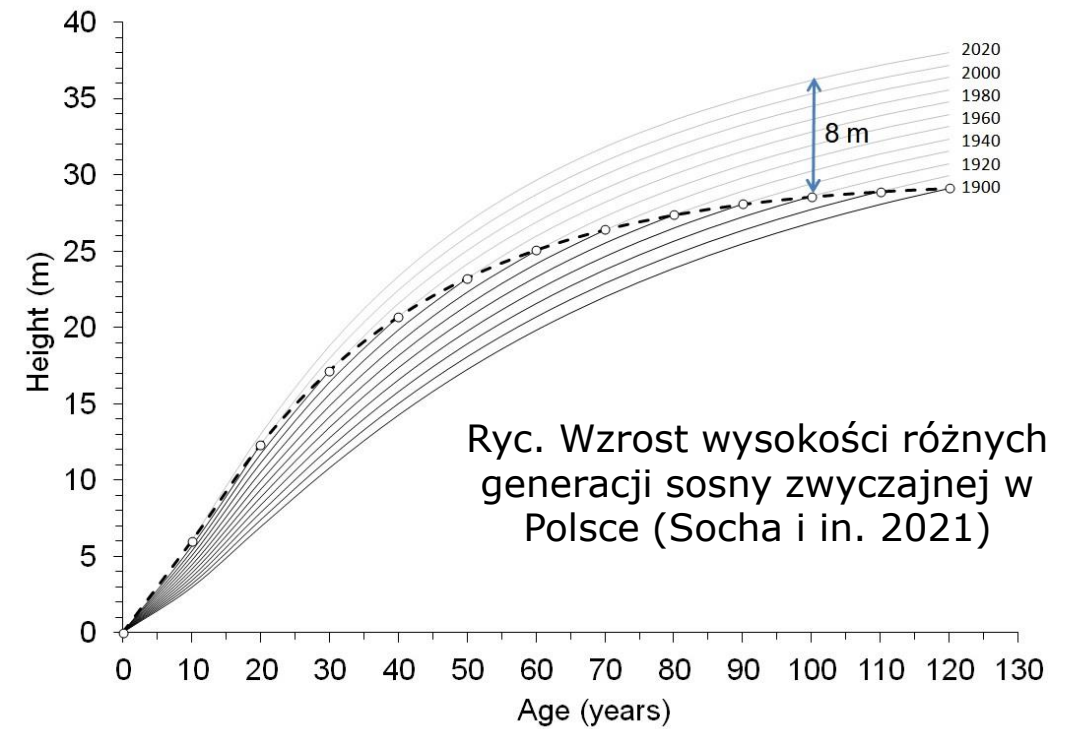
Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco



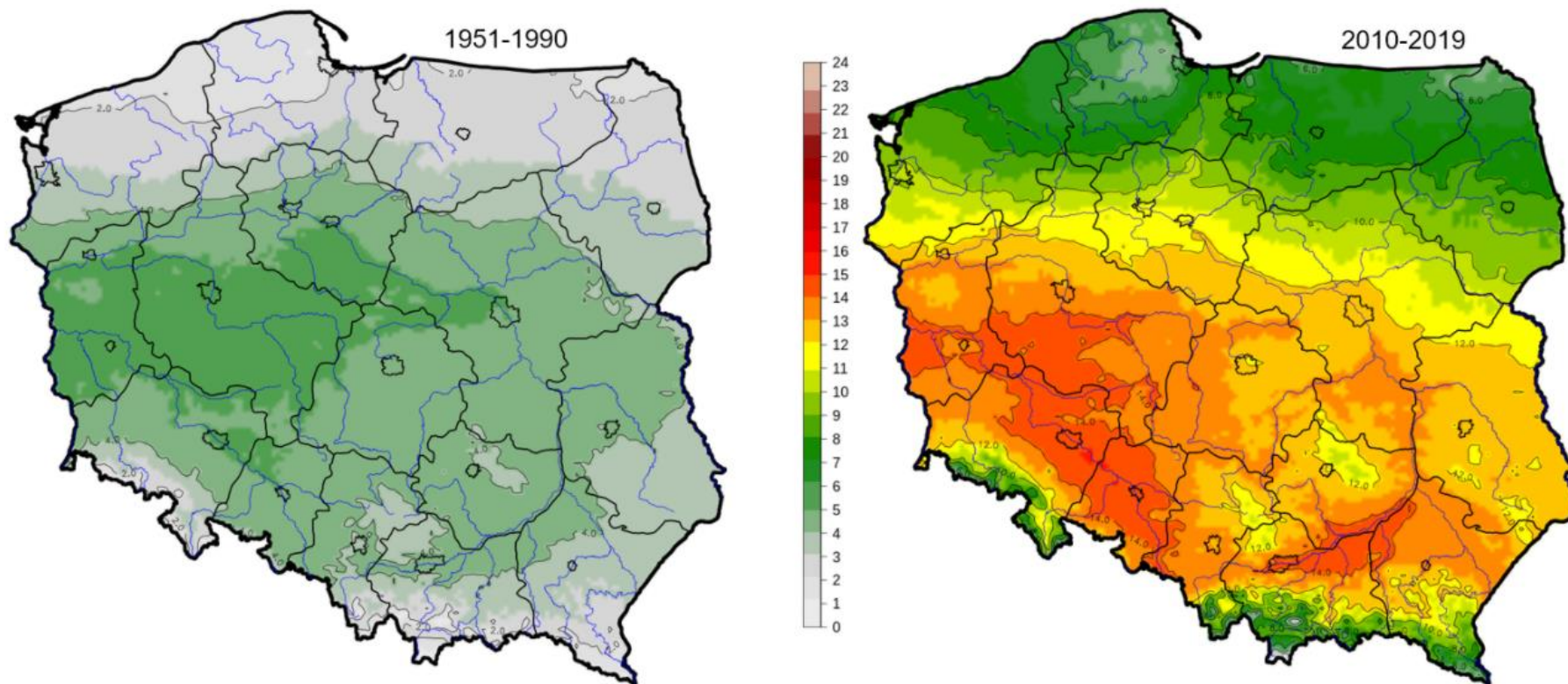
Height growth rate of Scots pine in Central Europe increased by 29% between 1900 and 2000 due to changes in site productivity

Jarosław Socha^{a,*}, Svein Solberg^b, Luiza Tymiańska-Czabańska^a, Piotr Tompalski^c, Patrick Vallet^d



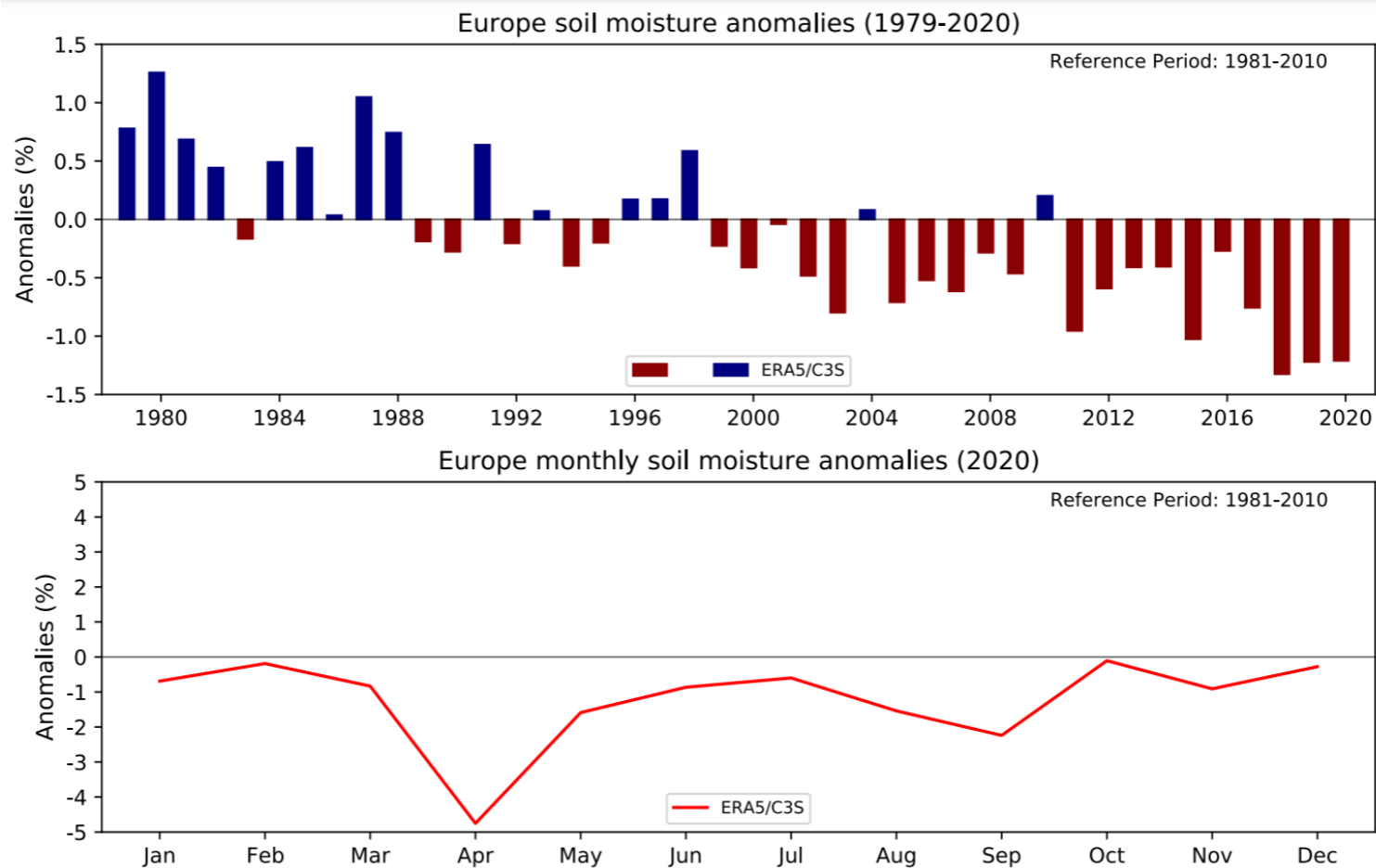
Ryc. Wzrost wysokości różnych generacji sosny zwyczajnej w Polsce (Socha i in. 2021)

Liczba dni upalnych z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$



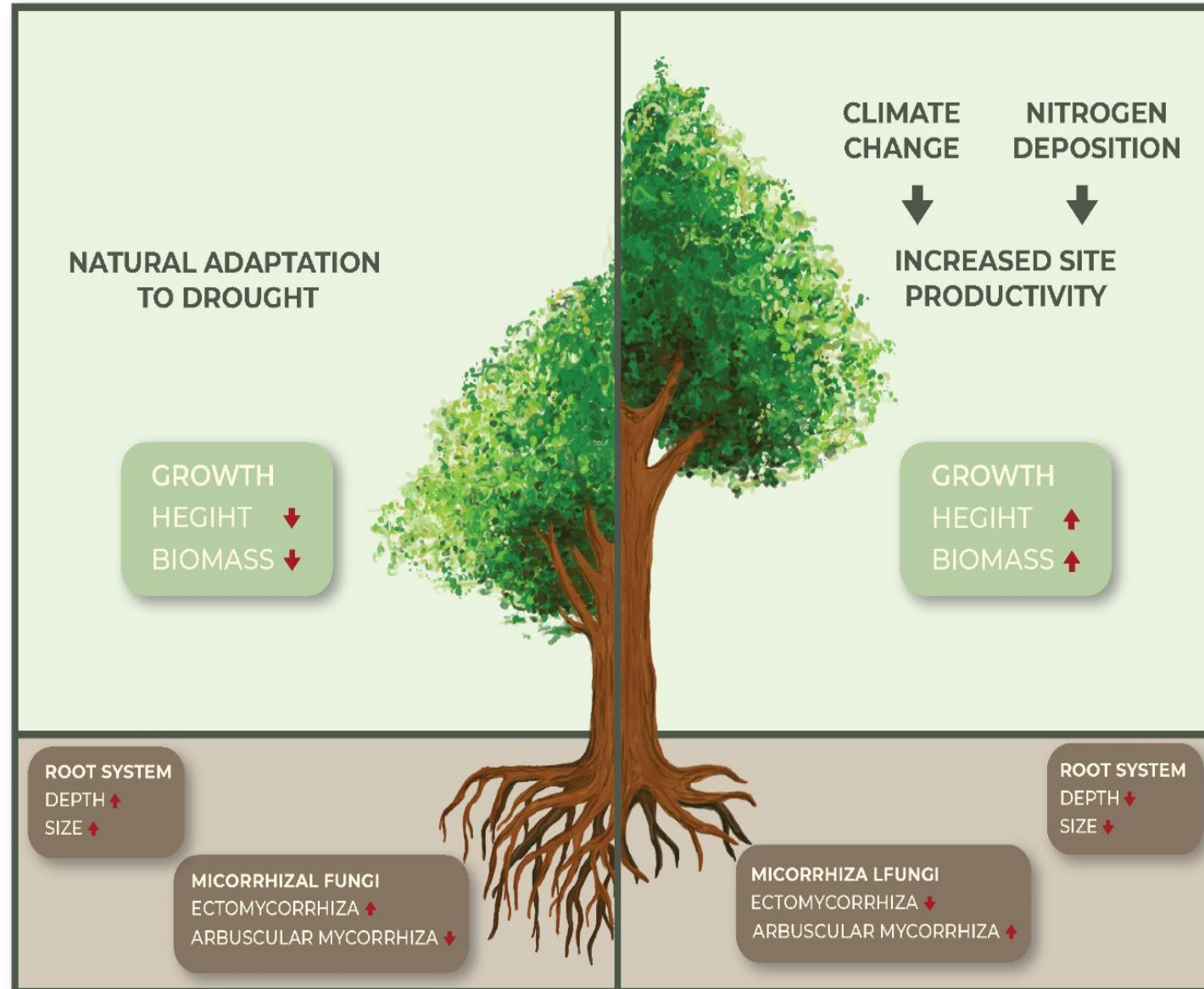
Liczba dni upalnych z temperaturą maksymalną co najmniej 30°C . Po lewej w okresie historycznym 1951-1990, po prawej w dekadzie 2010-2019. Źródło [Meteomodel.pl](http://meteomodel.pl)

Anomalia średniorocznej wilgotności gleb w Europie



(Top) Annual European soil moisture anomalies (%) from 1979 to 2020 relative to the annual average for the 1981–2010 reference period. Data source: ERA5. Credit: C3S/ECMWF. (Bottom) Monthly European soil moisture anomalies (%) in 2020 relative to the monthly average for the 1981–2010 reference period. Data source: ERA5. Credit: C3S/ECMWF.

Mechanizmy zwiększania odporności na suszę vs obserwowane procesy związane ze zmianami produktywności siedlisk



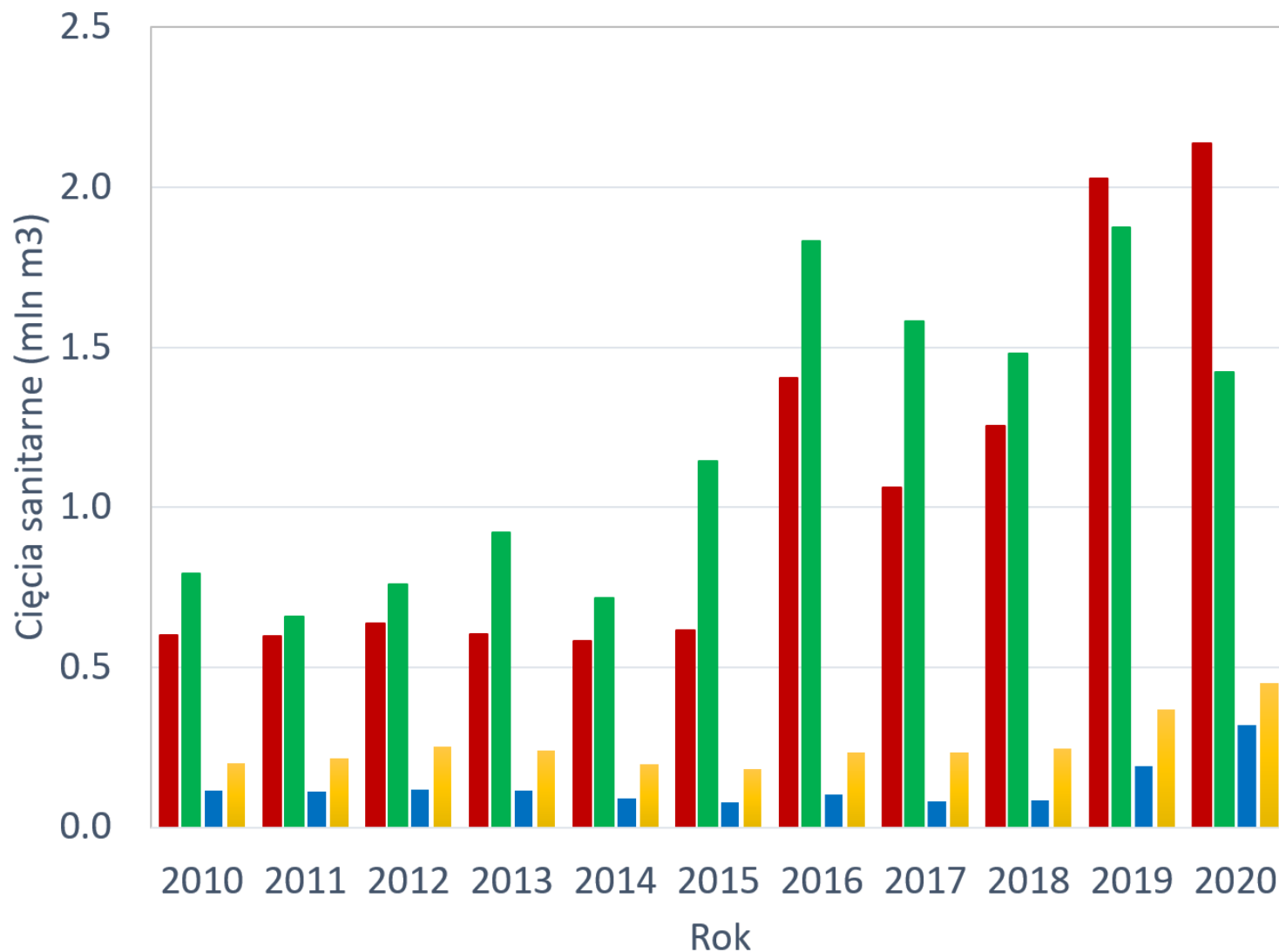
Naturalne przystosowania zwiększające odporność drzew leśnych na suszę

- Zmniejszony przyrost nadziemnej biomasy
- Rozbudowa systemów korzeniowych
- Symbiozy z grzybami ektomikoryzowymi
- Mniejsze rozmiary drzew -> mniejsze zapotrzebowanie na wodę

Obserwowane procesy towarzyszące zmianom warunków siedliskowych i depozycji azotu

- Zwiększona konkurencja -> Szybszy przyrost części nadziemnej
- Duża dostępność N -> redukcja wielkości systemów korzeniowych
- Dostępność N-> Zmniejszenie ilości grzybów ektomikoryzowych
- Zwiększenie rozmiarów drzew -> większe zapotrzebowanie na wodę

Zamieranie drzewostanów powodowane suszą - największe aktualne wyzwanie dla zarządzających lasami w Polsce



Cięcia sanitarne w Lasach Państwowych związane z suszą (mln m³)

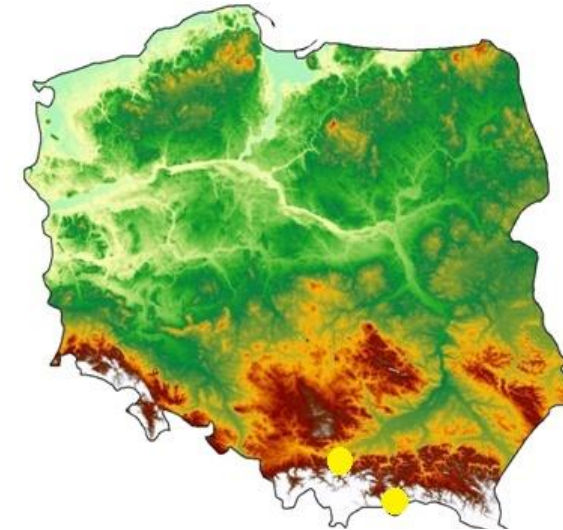
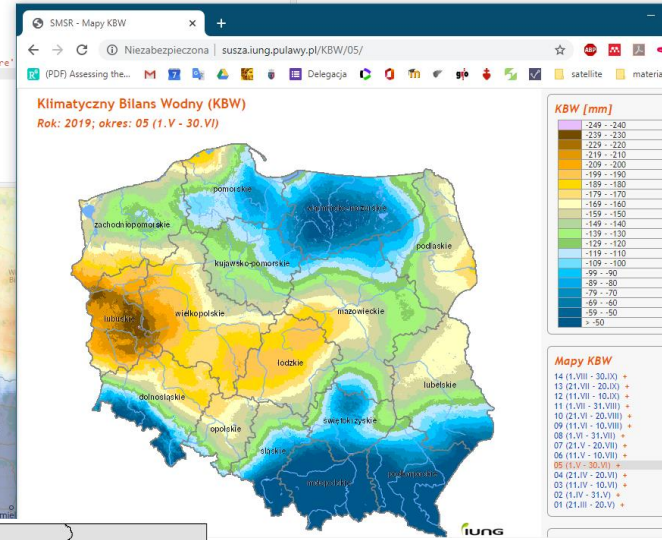
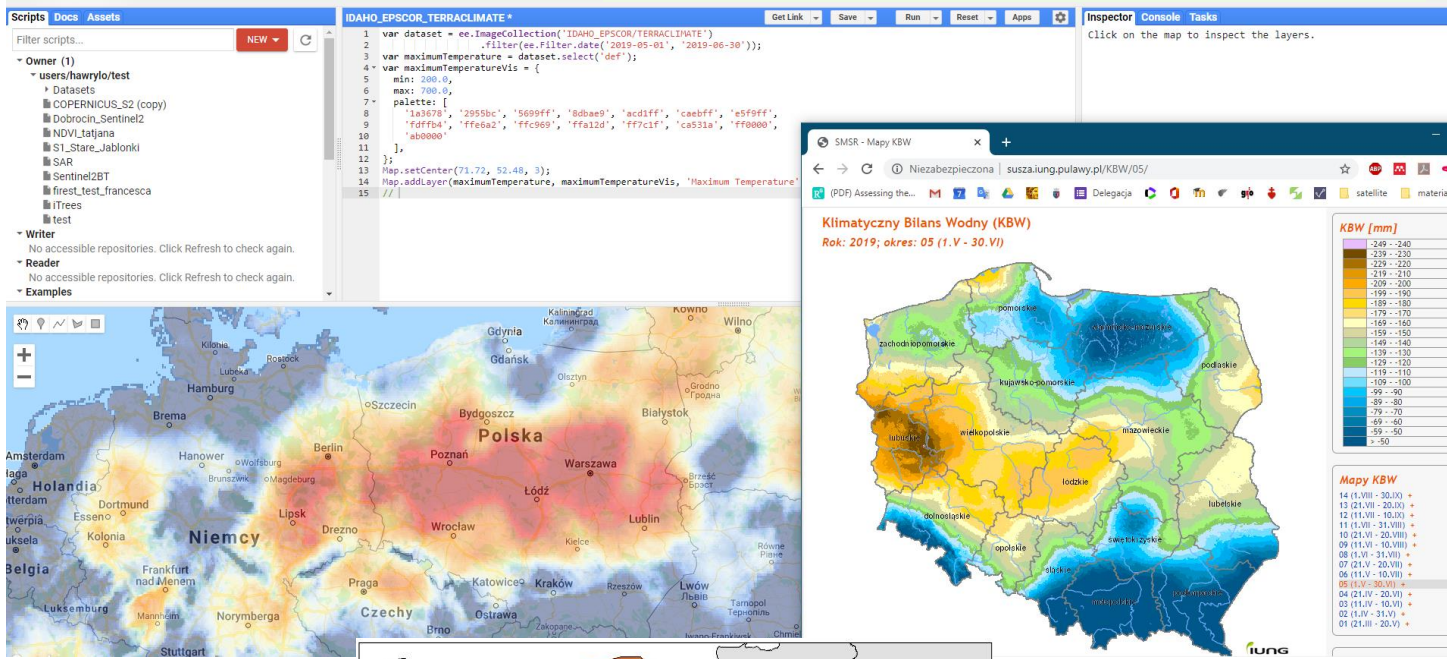
Rok	Razem
2010	1.71
2011	1.58
2012	1.77
2013	1.88
2014	1.59
2015	2.02
2016	3.58
2017	2.96
2018	3.07
2019	4.46
2020	4.33

Ryc. Cięcia sanitarne w Lasach Państwowych związane z zamieraniem drzewostanów w wyniku suszy. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych DGLP

Analizowane zmienne: warunki pogodowe, właściwości gleby, geologia, topografia

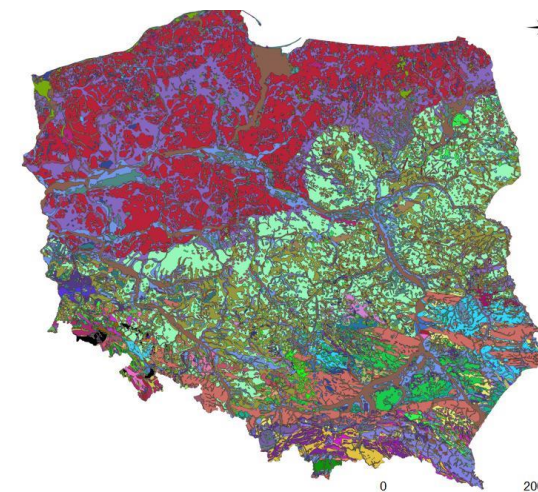
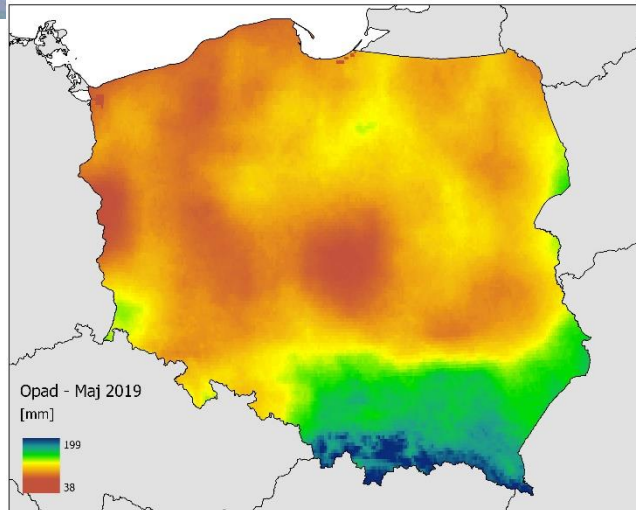
Dane meteorologiczne: Terraclimate

Topografia: wzniesienie, Topographic Wetness Index, Topographic Position Index, Nachylenie, Wystawa.



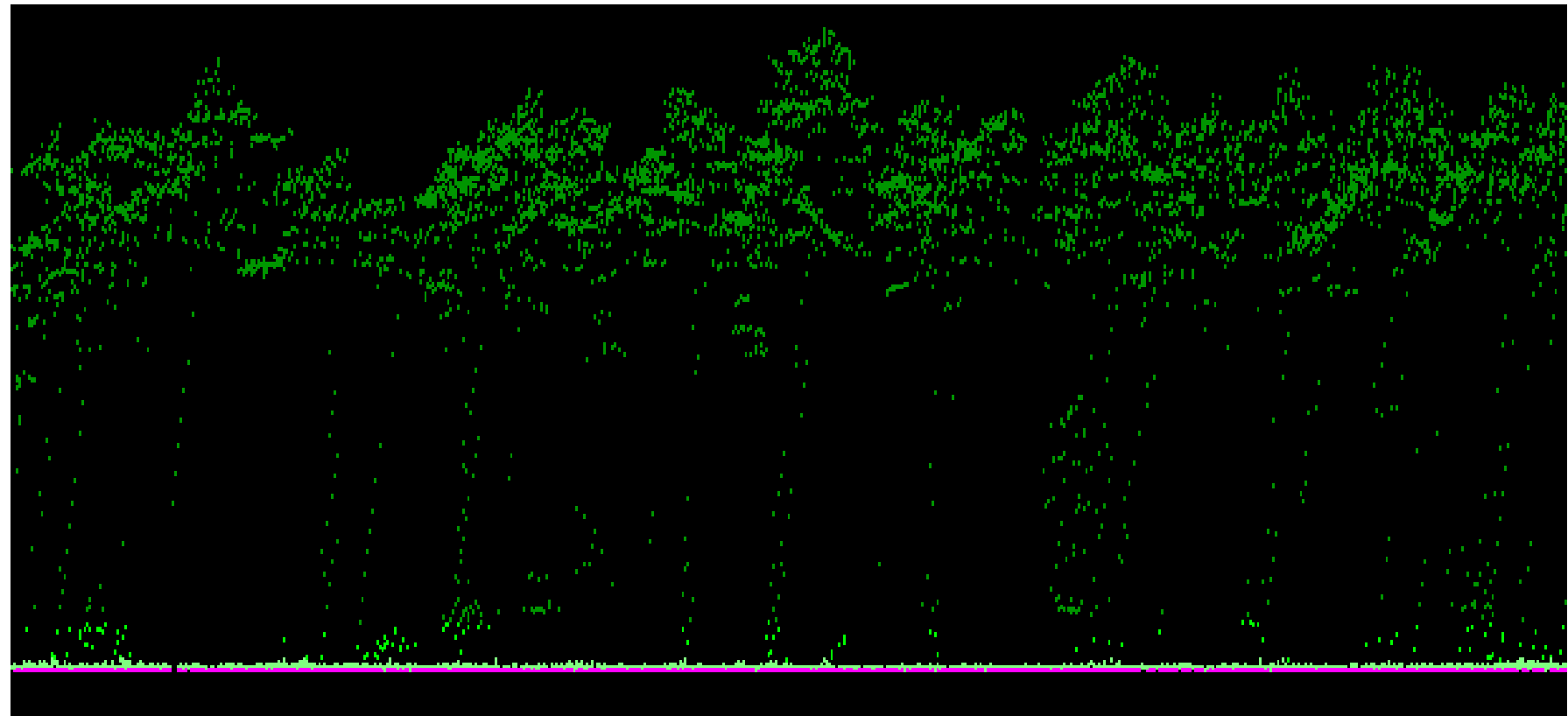
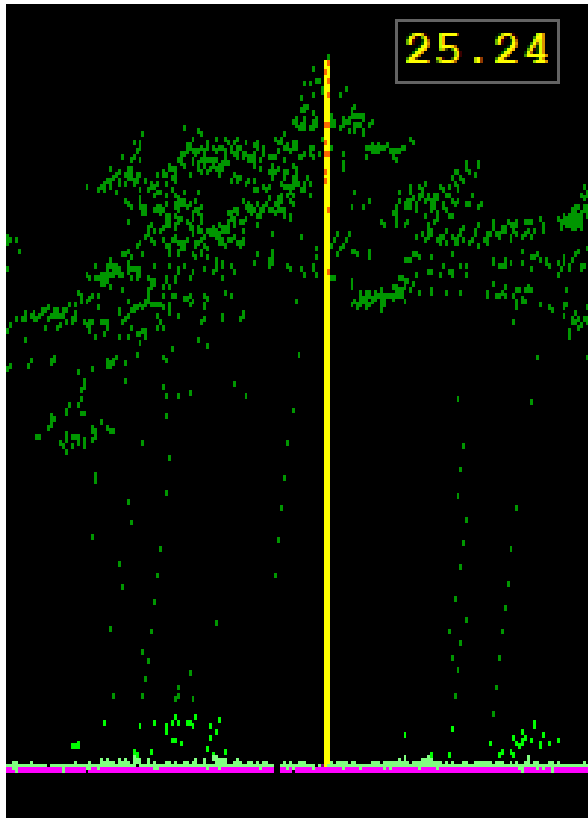
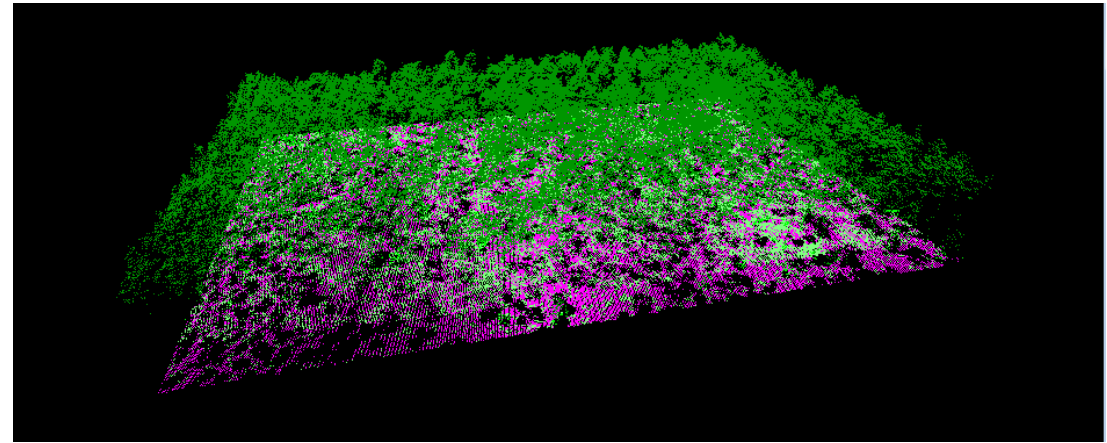
Soil maps

Geological substratum



Wybrane cechy drzewostanów uzyskane z lotniczego skanowania laserowego (ALS)

- Wysokość drzewostanu,
- wskaźnik bonitacji (jakości siedliska)



Wpływ wieku drzewostanów sosnowych oraz bonitacji siedliska na ryzyko zamierania w wyniku suszy

Liczba drzewostanów: 47 450

Bonitacja (m)	39	0.00	0.01	0.02	0.06	0.18									
	38	0.00	0.01	0.02	0.05	0.10	0.24								
	37	0.00	0.01	0.02	0.05	0.10	0.24	0.34							
	36	0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.15	0.33	0.40						
	35	0.00	0.00	0.01	0.04	0.06	0.15	0.42	0.58	0.67	0.83				
	34	0.00	0.00	0.01	0.03	0.06	0.10	0.30	0.54	0.66					
	33	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.08	0.26	0.56	0.56	0.63				
	32	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.06	0.22	0.41	0.56	0.74	0.82			
	31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.16	0.33	0.45	0.65	0.59	0.83		
	30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.11	0.25	0.40	0.57	0.60	0.68		
	29	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.09	0.21	0.30	0.44	0.44	0.54		
	28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.07	0.16	0.24	0.33	0.43	0.48	0.59	
	27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.15	0.17	0.27	0.36	0.42	0.22	
	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.14	0.14	0.21	0.32	0.35	0.36	
	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.13	0.13	0.16	0.26	0.30	0.20	
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.13	0.14	0.20	0.27	0.23		
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.12	0.17	0.17	0.18	0.10		
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.07	0.11	0.15	0.13	0.14		
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.12	0.14	0.16	0.09		
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.07	0.07	0.13	0.19	0.12		
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.06	0.13	0.09	0.09		
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
		Wiek (lat)													

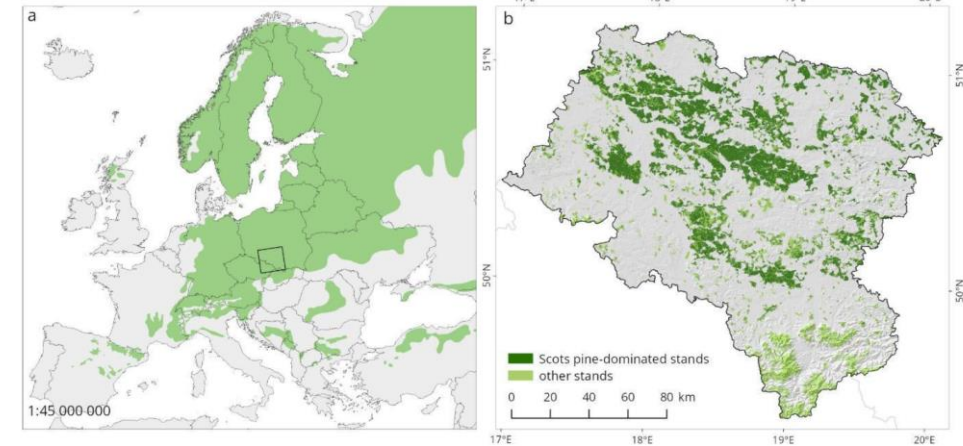


Fig. 1. Location of the study area within the Scots pine distribution range in Europe (a). Classification of forests in the study area into Scots pine-dominated stands (the share of Scots pine more than 70%) and other stands (b).

Accelerated growth and tree age enhance forest susceptibility to drought-induced mortality

Jarosław Socha^{1*}, Paweł Hawryło¹, Björn Reineking², Luiza Tymińska-Czabańska¹, Marcus Lindner³, Paweł Netzel¹, Ewa Grabska-Szwagrzyk¹, Ronny Vallejos⁴, Christopher P.O. Reyer⁵

¹ Department of Forest Resources Management, Faculty of Forestry, University of Agriculture in Krakow, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, Poland

² Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, 2 rue de la Papeterie – BP 76, F-38402 St-Martin-d'Hères, France

³ European Forest Institute, Platz der Vereinten Nationen 7, 53113 Bonn, Germany,

⁴ Department of Mathematics, Universidad Técnica Federico Santa María, Avenida España 1680, Valparaíso, Chile

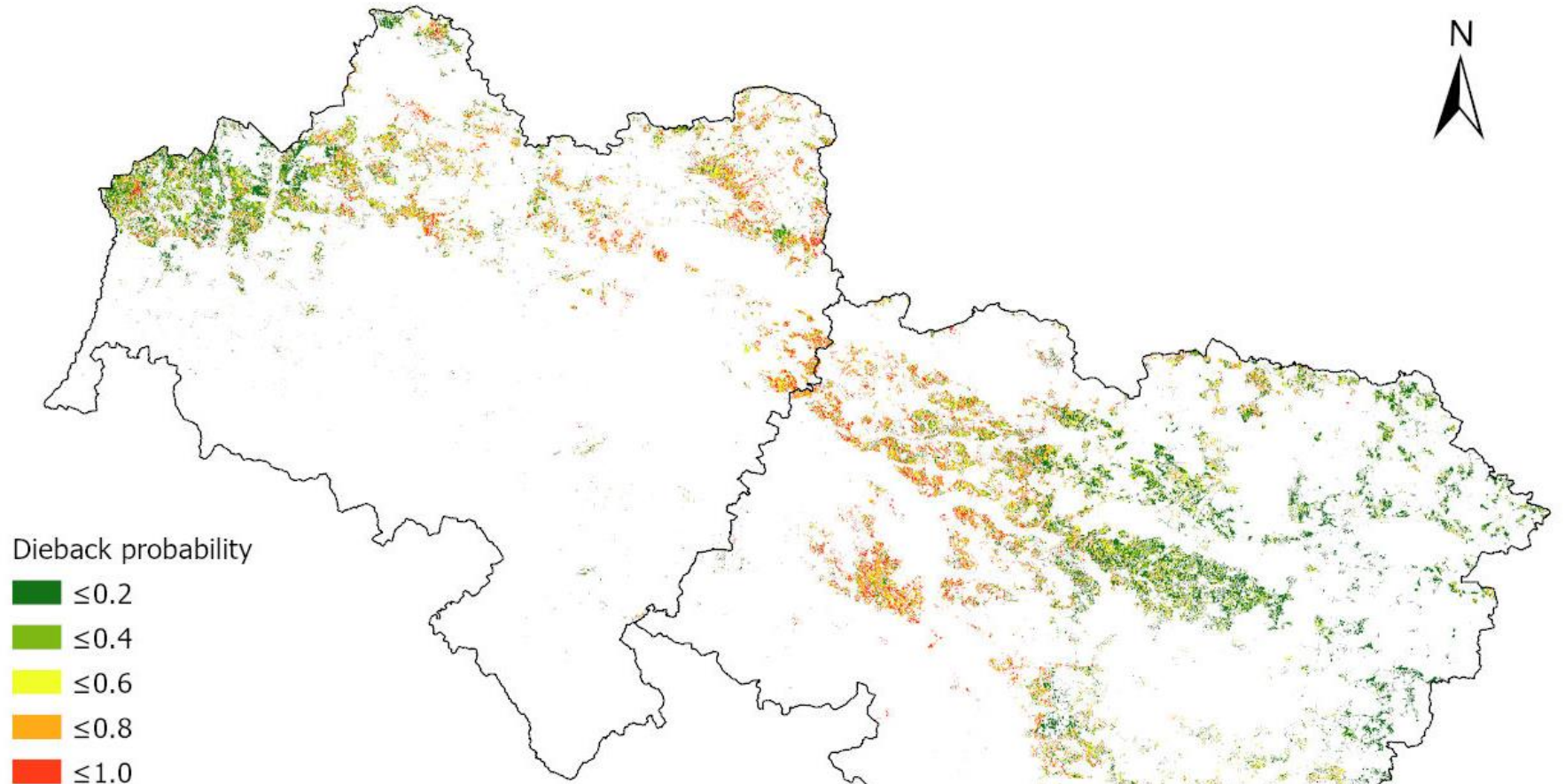
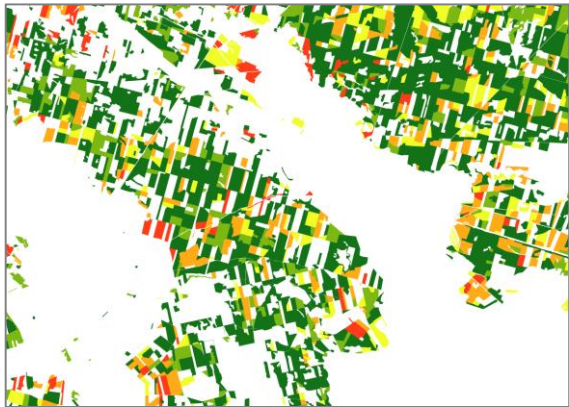
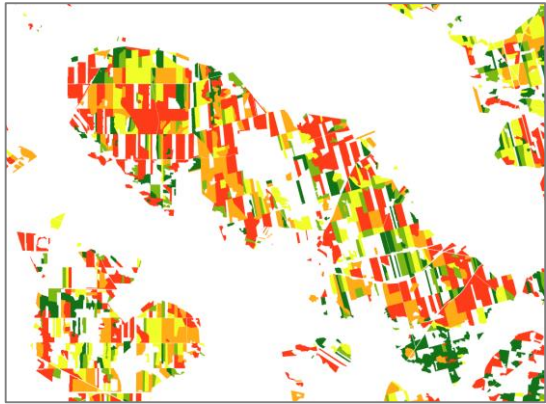
⁵ Potsdam Institute for Climate Change Research (PIK), Member of the Leibniz Association, Telegrafenberg, P.O. Box 601203, 14412 Potsdam, Germany

Ryc. Prawdopodobieństwo zamierania drzewostanów sosnowych w wyniku suszy w zależności od wieku drzewostanu i bonitacji siedliska.

źródło: Socha et al. 2022 (in progress)

Mapy zagrożenia zamieraniem

- Drzewostany sosnowe RDLP Wrocław i Katowice



Dieback probability



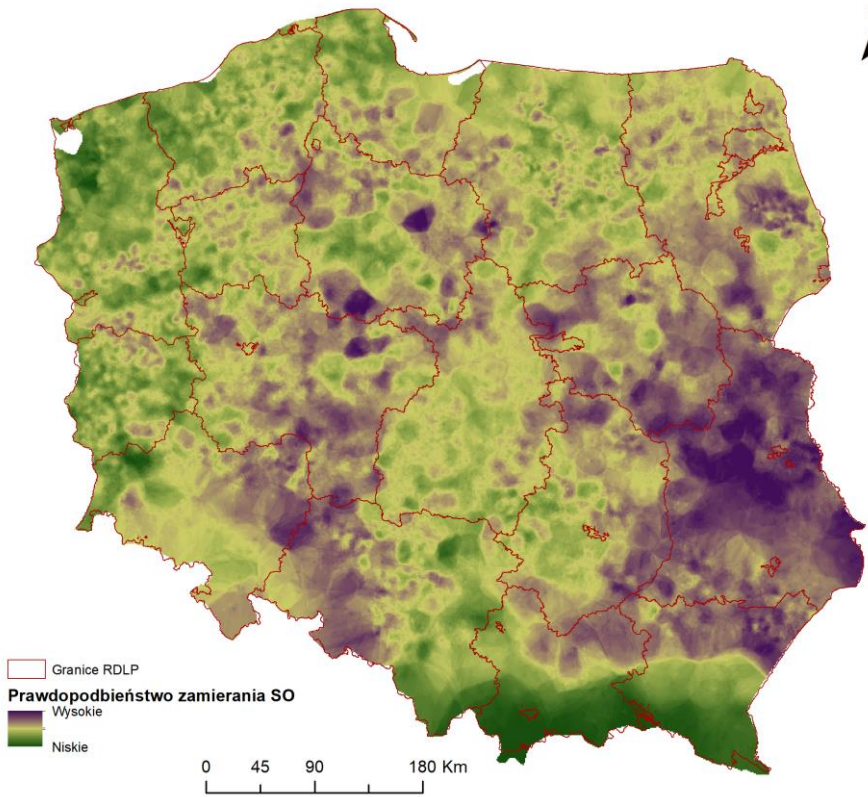
0 50 Kilometers

Wyjaśniona zmienność

Prawdopodobieństwa zamierania

- Katowice: 62.2%
- Wrocław: 44.6%
- Dokładność klasyfikacji = 80.1%

Model ryzyka zamierania drzewostanów sosnowych w Polsce

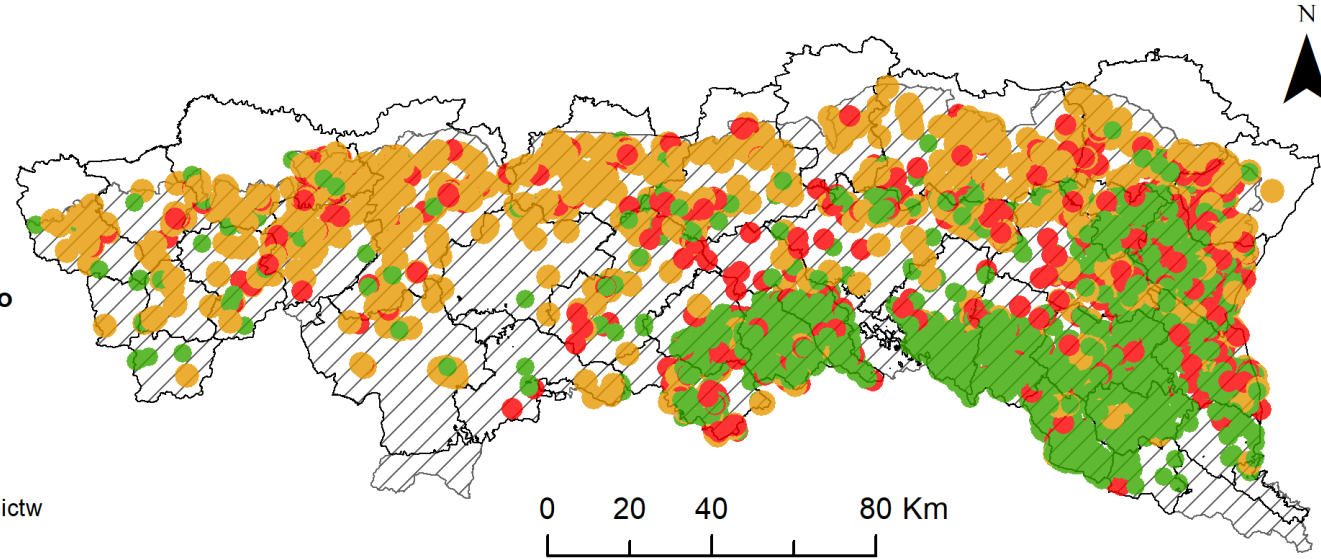


Prawdopodobieństwo zamierania

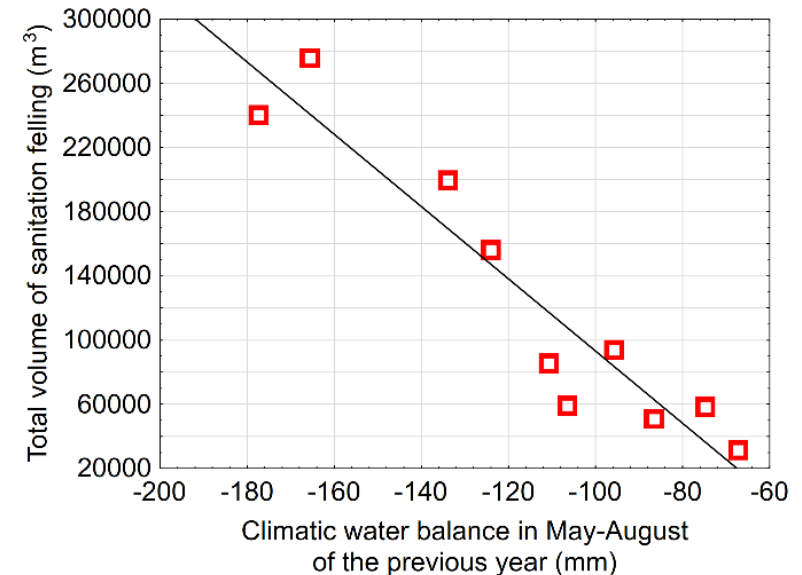
- Niskie
- Średnie
- Wysokie

- Granice nadleśnictw
- Kraina 8

Model lokalny dla krainy VIII



Główne czynniki determinujące zamieranie:
KBW - klimatyczny bilans wodny,
zagęszczenie drzewostanu, zasobność, wiek drzewostanu



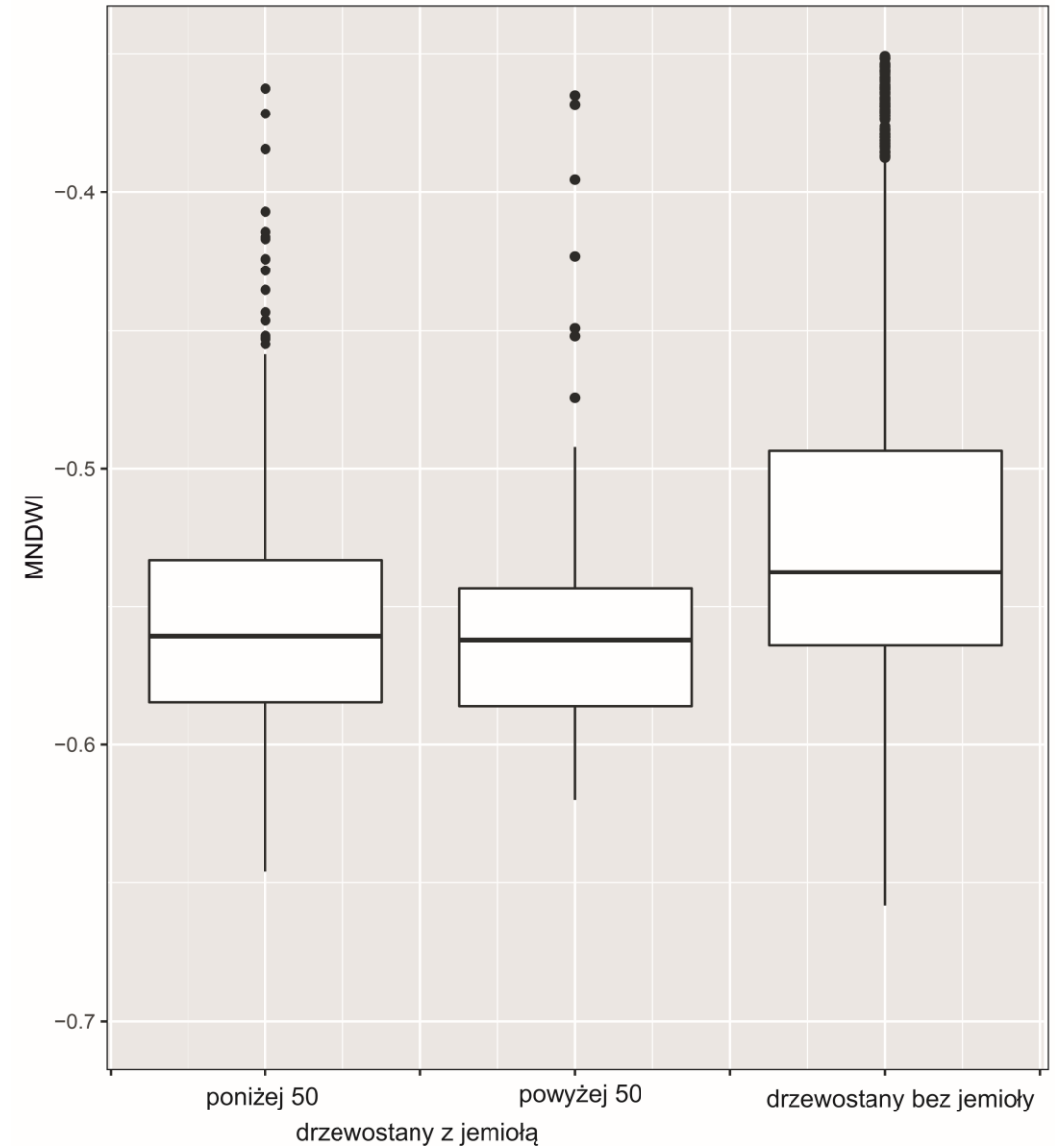
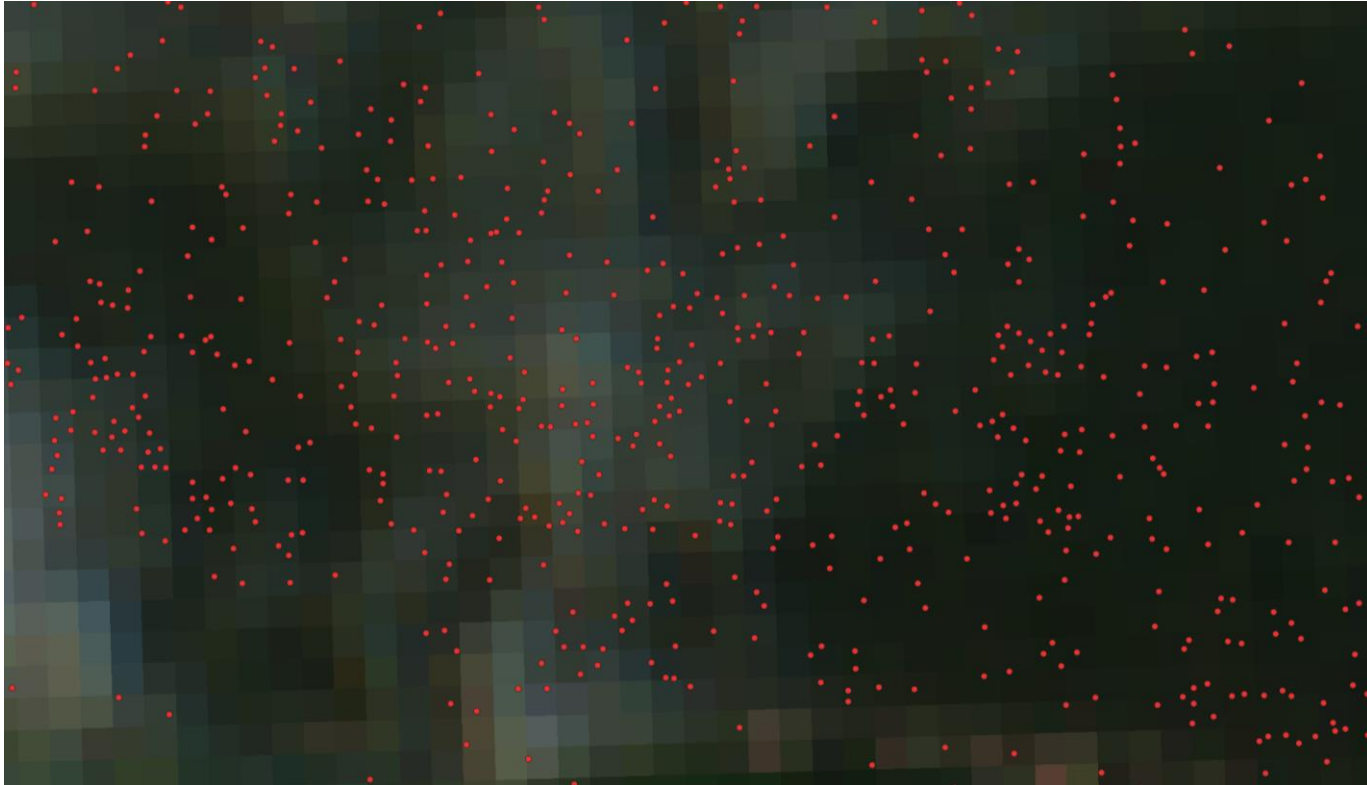
Jemiola, *Sphaeropsis sapinea*, kornik ostrozębny – efekty osłabienia drzewostanów w wyniku zmian warunków siedliskowych



Fot. R. Socha, Nadleśnictwo Chełm

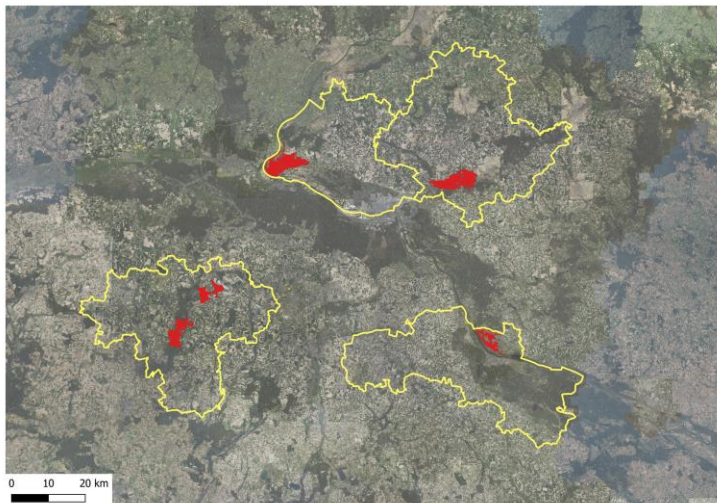


28 indeksów spektralnych danych Sentinel-2 liczonych sezonowo

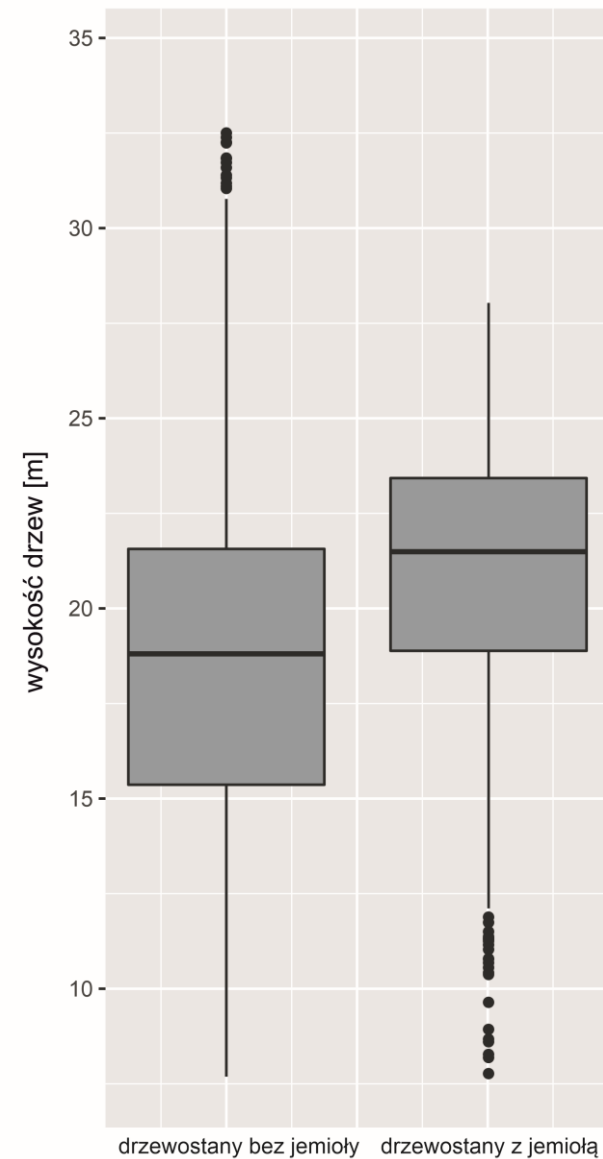
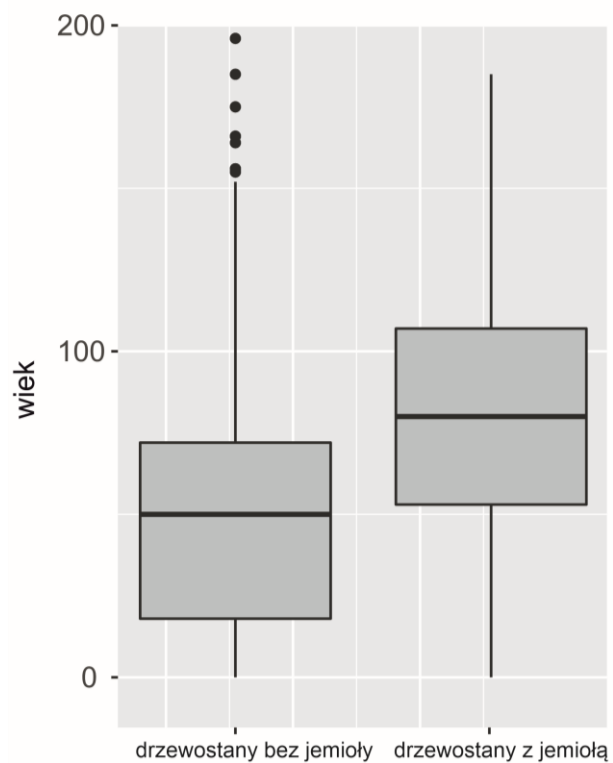


*MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)

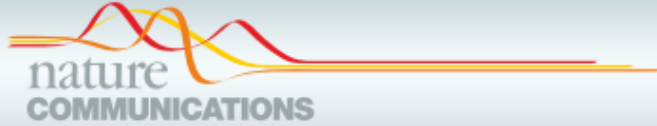
Występowanie jemioli - RDLP Toruń (inwentaryzacja z 2021 roku)



Nadleśnictwo	n analizowanych drzewostanów	n analizowanych drzewostanów z jemiolą	% drzew z jemiolą w obrębie analizowanych drzewostanów
Gołębki (dwa obszary)	1129	211	18,8
Golub-Dobrzyń	531	182	34,4
Toruń	1413	79	5,7
Włocławek	654	162	25,2



Wysokość drzew wyjaśnia ryzyko zamierania drzew w czasie intensywnej suszy



ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-12380-6>

OPEN

Tree height explains mortality risk during an intense drought

Atticus E.L. Stovall^{1,2*}, Herman Shugart² & Xi Yang²

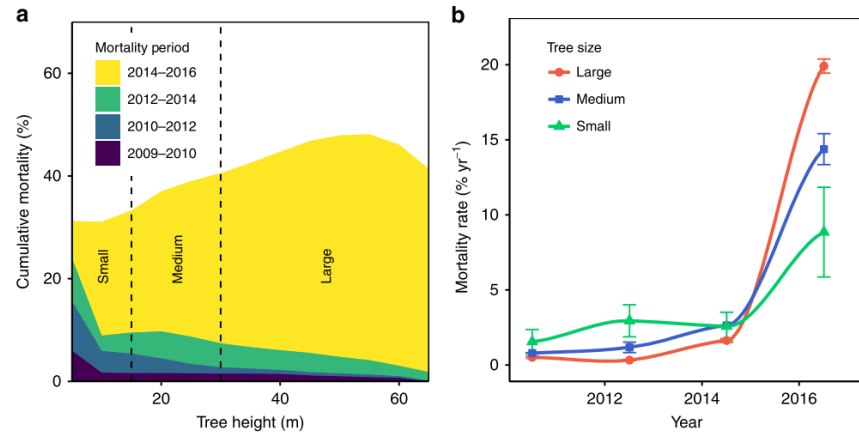


Fig. 1 **a** Height-dependent cumulative mortality and **b** trend in mortality rate of small (< 15 m), medium (15–30 m), and large (> 30 m) trees since the start of drought. Our temporal analysis shows 740,724 trees died in the 40,854 ha study area over an eight-year period (41% mortality). **a** The cumulative mortality of all years reflects the relative percent mortality of all trees in 5 m height classes (e.g., at the study's end, 40% of all 40 m trees died). Vertical lines show the range of tree heights defined as small, medium, and large. Prior to the start of drought, all tree heights have similar mortality rates, with elevated mortality in smaller tree populations. As drought persists, the mortality increased in small trees, while it remained lower in large trees. At the late stages of drought, the mortality rate of all trees increases, with large trees surpassing the rates of smaller tree heights, and becoming the most vulnerable population. The error bars indicate 95% confidence of mean mortality rate within height class

Większe drzewa najbardziej cierpią podczas suszy w lasach na całym świecie

nature
plants

LETTERS

PUBLISHED: 28 SEPTEMBER 2015 | ARTICLE NUMBER: 15139 | DOI: 10.1038/NPLANTS.2015.139

Larger trees suffer most during drought in forests worldwide

Amy C. Bennett^{1,2}, Nathan G. McDowell³, Craig D. Allen⁴ and Kristina J. Anderson-Teixeira^{1,5*}

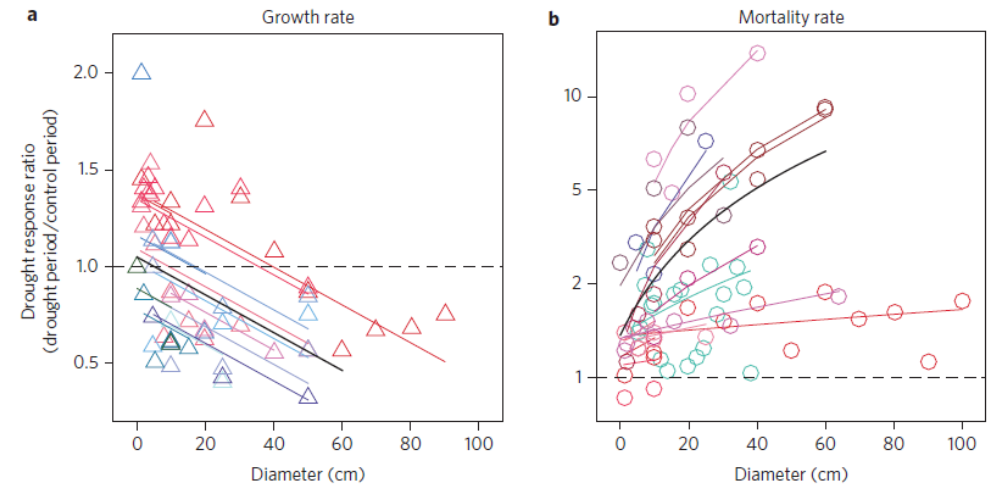


Figure 2 | Drought responses of diameter growth rate and mortality rate as a function of tree size. **a, b**, Larger trees exhibited greater decreases in growth rate and greater increases in mortality rate relative to non-drought conditions. Diameter refers to the lower size class limit. A solid black line represents the main effect in a linear mixed-effects model. Coloured symbols and lines represent unique drought instances ($n = 13$ for growth, $n = 14$ for mortality) and model fits. Colours correspond to those in Supplementary Fig. 2. A dashed line represents equality under drought and non-drought. In **b**, the log scale on the y axis is for display purposes.

A matter of tree longevity

CHRISTIAN KÖRNER

SCIENCE • 13 Jan 2017 • Vol 355, Issue 6321 • pp. 130-131 • DOI: 10.1126/science.aal2449

40 89



Faster tree growth stimulated by rising carbon dioxide levels does not translate into more long-term carbon storage in forests. PHOTO: CHRISTIAN KOERNER

„If trees grow faster as result of growth-stimulating environmental change, they will either arrive more rapidly at harvesting size or pass through their natural life span faster.”

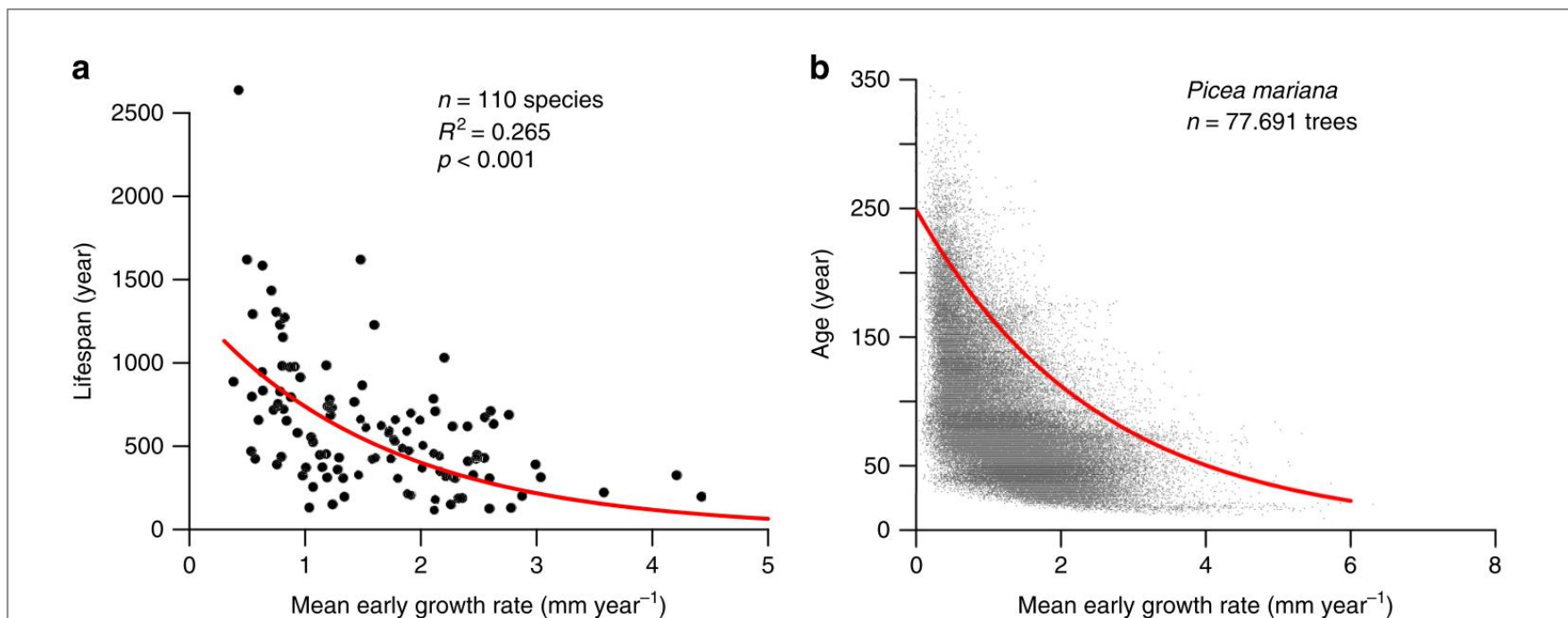
"Jeśli drzewa rosną szybciej w wyniku stymulujących wzrost zmian środowiskowych, to albo szybciej osiągną wymiary kwalifikujące je do wycinki, albo szybciej przejdą przez swój naturalny okres życia".

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aal2449>

Drzewa rosnące szybciej żyją krócej

Grow fast—die young

Rosnąć szybko - umrzeć młodo



a Średnie wczesne tempo wzrostu (średnia szerokość pierścienia w ciągu pierwszych 10 lat) w porównaniu z maksymalną długością życia dla 110 gatunków.

b Wczesne tempo wzrostu w zależności od wieku dla *Picea mariana* i oszacowany związek między wczesnym tempem wzrostu a długością życia (czerwona linia) przy użyciu ujemnej wykładniczej regresji 95-kwantylowej. C



ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17966-z>

OPEN

Forest carbon sink neutralized by pervasive growth-lifespan trade-offs

R. J. W. Brien¹, L. Caldwell¹, L. Duchesne², S. Voelker³, J. Barichivich^{4,5}, M. Baliva⁶, G. Ceccantini⁷, A. Di Filippo⁶, S. Helama⁸, G. M. Locosselli⁷, L. Lopez⁹, G. Piovesan⁶, J. Schöngart¹⁰, R. Villalba⁹ &

Zależność między tempem wzrostu a maksymalną długością życia (Brienen et al. 2020)

Dlaczego w zmieniających się warunkach siedliskowych zmniejsza się żywotność i zwiększa śmiertelność głównie najstarszych drzewostanów i największych drzew?

- Szybko rosnące, wyższe rośliny mają szersze przewody przewodzące wodę, które są bardziej narażone na zatory ksylemowe, niewydolność hydrauliczną i głód węglowodanowy w okresach suszy (Adams i in., 2017; Choat i in., 2018; Olson i in., 2018).
- Ponadto, u starszych i wyższych drzew fotosymlaty i woda muszą być transportowane na większe odległości, przez co równowaga węglowodanów niestrukturalnych (NSC) wzdłuż drzewa może być zaburzona podczas suszy (Adams i in., 2017; Hesse i in., 2021; Sevanto, 2018).
- Drzewa mogą adaptować się do nowych, suchszych warunków; adaptacja jest jednak związana z plastycznością systemów korzeniowych, która maleje wraz z wiekiem (Zanetti i in., 2015, Köstler i in., 1968).
- Drobne korzenie dużych dojrzałych drzew są szczególnie narażone na niedobór NSC podczas suszy ze względu na dużą odległość od liści (Landhäusser i Lieffers, 2012; Ryan i in., 2014).
- Dlatego odporność na suszę może maleje wraz z wysokością i wiekiem drzew (Martínez-Vilalta i in., 2012).

IPNAS

Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold

Mark E. Olson^{a,1}, Diana Soriano^a, Julieta A. Rosell^b, Tommaso Anfodillo^c, Michael J. Donoghue^{d,1}, Erika J. Edwards^d, Calixto León-Gómez^a, Todd Dawson^{e,f}, J. Julio Camarero Martínez^a, Matis Castorena^{a,2}, Alberto Echeverría^a, Carlos I. Espinosa^h, Alex Fajardoⁱ, Antonio Gazol^g, Sandrine Isnardⁱ, Rivete S. Lima^k, Carmen R. Marcati^l, and Rodrigo Méndez-Alonso^m

^aDepartamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México (CDMX), Mexico; ^bLaboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 CDMX, Mexico; ^cDepartment Territorio e Sistemi Agro-Forestali, University of Padova, 35020 Legnaro (PD), Italy; ^dDepartment of Ecology and Evolutionary Biology, Yale University, New Haven, CT

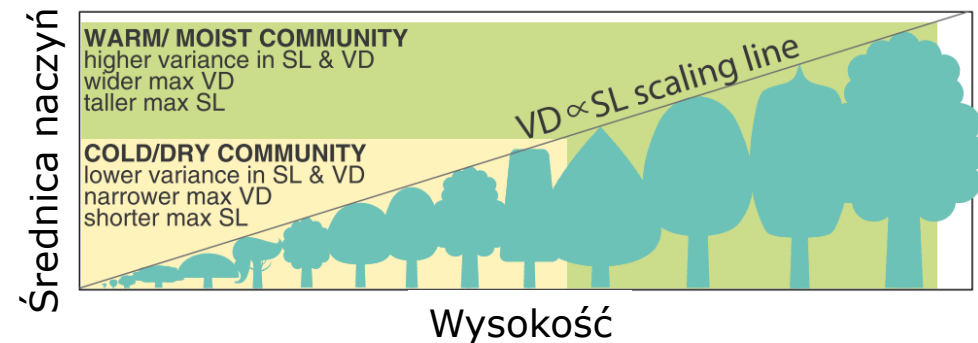


Fig. 4. Climate, vessel diameter, and stem length/plant height in plant hydraulic adaptation. Vessel diameter (VD) scales with stem length (SL) similarly across all communities, represented by the diagonal line. The green box denotes a warm and moist community, with wide variance in plant height, represented by the width of the green box and the wide range of plant silhouettes, with a correspondingly wide variance in species mean vessel diameters, represented by the height of the green box. The narrower ranges of height and vessel diameter in a cold, dry community are represented by the yellow box. Because wider vessels are more vulnerable, the maximum vessel diameter permitted in the cold/dry community is narrower, helping explain why maximum plant height in these communities is lower.

Skumulowany stres klimatyczny



PRIMARY RESEARCH ARTICLE | [Full Access](#)

Sequential droughts: a silent trigger of boreal forest mortality

Martina Sánchez-Pinillos✉, Loïc D'Orangeville, Boulanger Yan, Phil Comeau, Jiejie Wang, Anthony R. Taylor, Daniel Kneeshaw,

First published: 04 October 2021 | <https://doi.org/10.1111/gcb.15913>

This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and proofreading process, which may lead to differences between this version and the Version of Record. Please cite this article as doi:10.1111/gcb.15913

„ ... frequent low-intensity dry conditions had stronger effects on forest mortality than the intensity of the driest conditions.”

" ... częste susze o niskiej intensywności miały silniejszy wpływ na śmiertelność lasów niż intensywność najbardziej suchych warunków".

„In the long term, the smooth response of forests to dry conditions might abruptly change leading to disproportional mortality triggered by accumulated stress conditions.”

"W dłuższej perspektywie płynna reakcja lasów na suche warunki może się gwałtownie zmienić, prowadząc do nieproporcjonalnej śmiertelności wywołanej przez skumulowane warunki stresowe".

„Forest and wildlife managers should consider the cumulative effects of climate change on mortality to avoid shortfalls in timber and habitat.”

"Zarządzający lasami i dziką przyrodą powinni rozważyć skumulowany wpływ zmian klimatycznych na śmiertelność, aby uniknąć niedoborów drewna i zaniku siedlisk."

Zamieranie lasów na świecie

Wywołana suszą śmiertelność *Populus tremuloides* na milionie hektarów w Saskatchewan i Albercie (Hogg et al., 2008)

4.74 mln ha lasów zamarło w Europie w latach 2018–2020 (Senf et al. 2021)

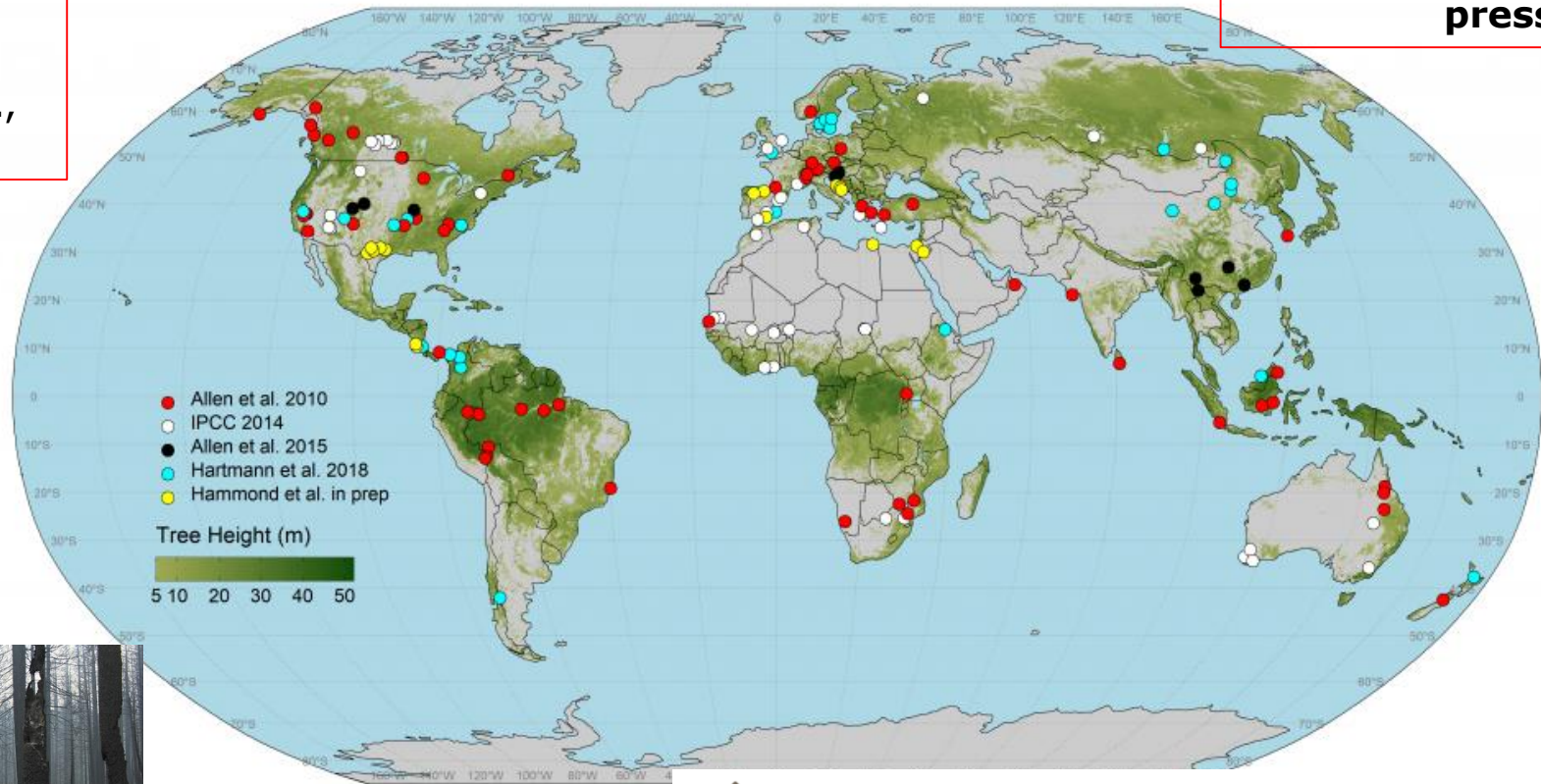
W latach 2015-2019 w lasach gospodarczych Puszczy Białowieskiej zamarło ponad 1 850 000 świerków (43 %) (Kamińska i in. 2021, in press)

>10 mln ha *Pinus contorta*, British Columbia (Kurz et al., 2008)

2018 - w 11 zachodnich stanach oszacowano liczbę stojących martwych drzew na 6.3 mld

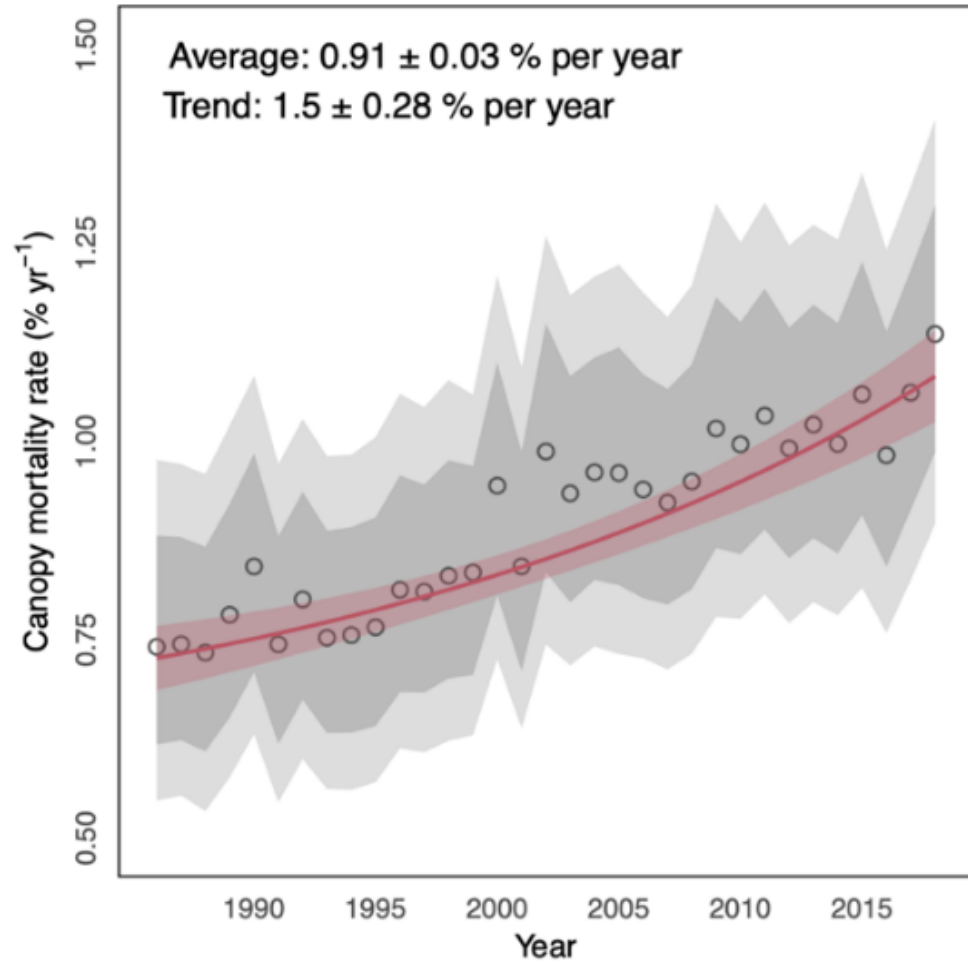
W latach 2010-2017, w Kalifornii w wyniku suszy obumarło ponad 129 mln dojrzałych drzew

W latach 2017-2021 pożary lasów w Kalifornii objęły 4% powierzchni stanu

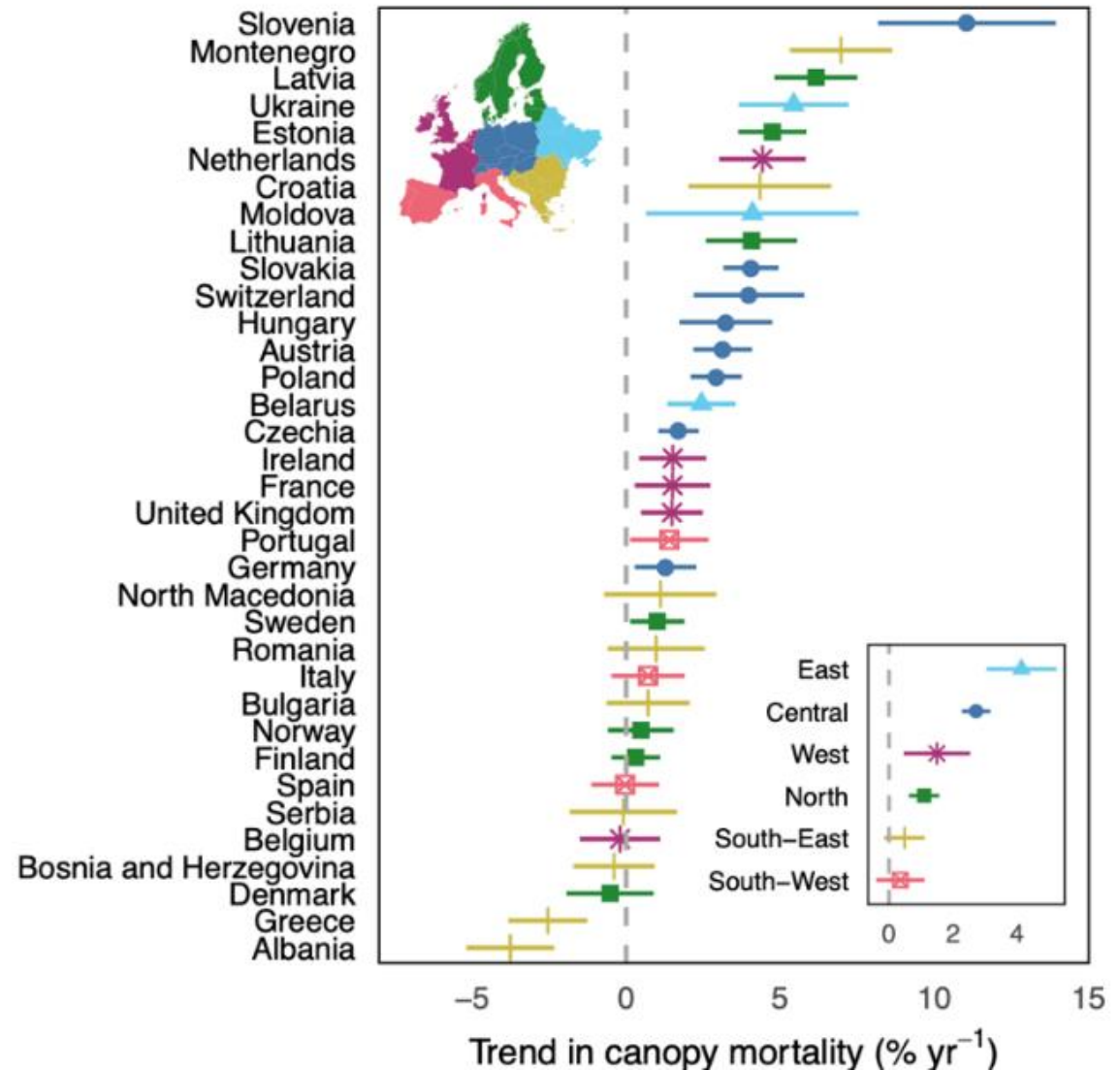


INTERNATIONAL TREE MORTALITY NETWORK
an initiative of the IUFRO task force on tree mortality

Rosnące tempo zamierania lasów w Europie



Zamieranie będzie silnie zmieniało demografię lasów, mediana wieku lasów w ponad 50% krajów Europy do 2050 roku spadnie poniżej 30 lat (Senf i in. 2021)



Ryc. Wskaźniki śmiertelności lasów i trendy w lasach Europy (Senf i in. 2021).

Od pochłaniacza do źródła: zmieniający się klimat i zamieranie lasów w wyniku zaburzeń mogą wpłynąć na bilans węgla w XXI wieku w górskich lasach niezagospodarowanych

OXFORD
ACADEMIC

Forestry

Issues

More Content ▼

Submit ▼

Purchase

Alerts

About ▼

All Forestry: A

Article Contents

Abstract

Introduction

Material and methods

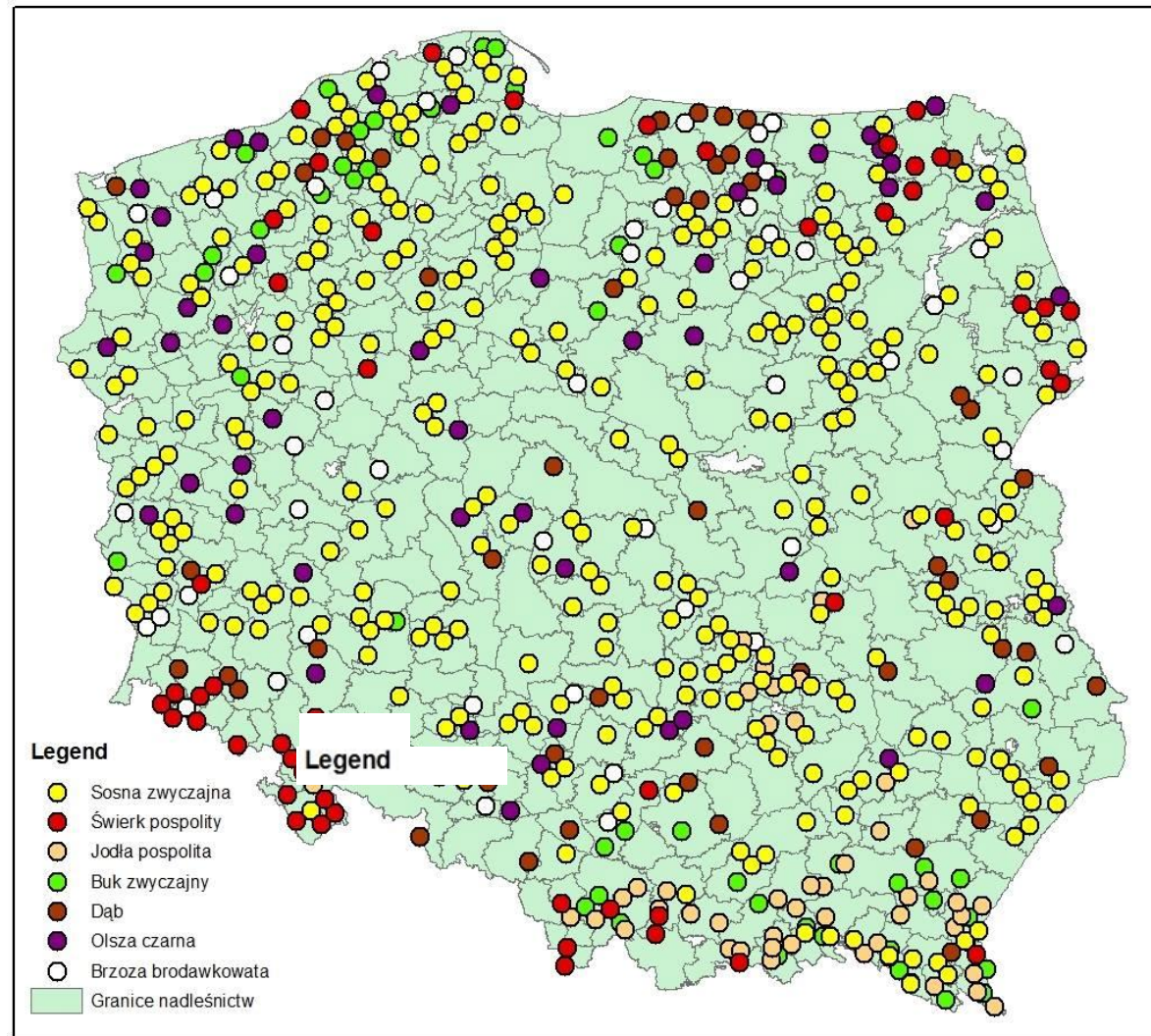
From sink to source: changing climate and disturbance regimes could tip the 21st century carbon balance of an unmanaged mountain forest landscape

[Katharina Albrich](#) ✉, [Rupert Seidl](#), [Werner Rammer](#), [Dominik Thom](#)

<https://doi.org/10.1093/forestry/cpac022>

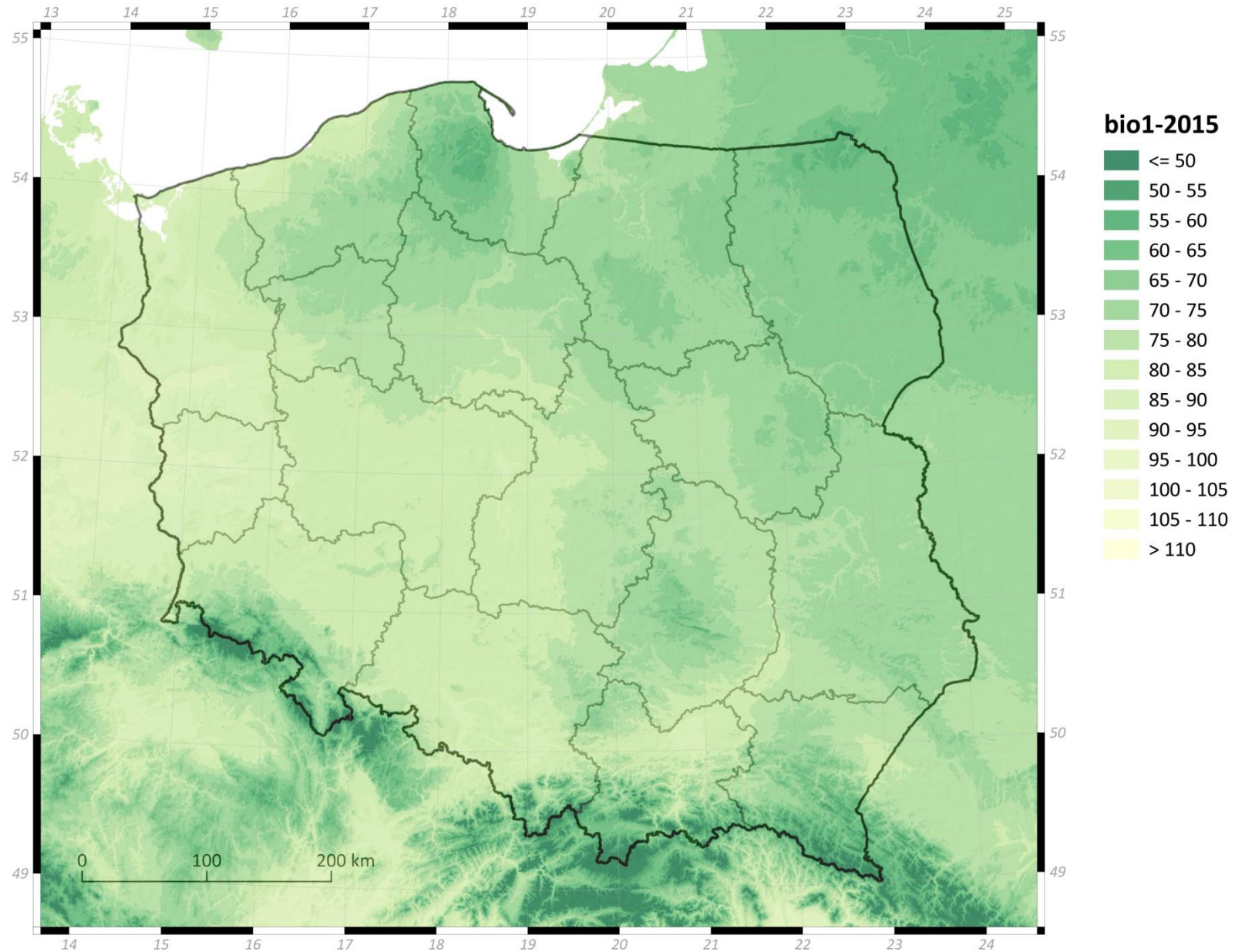
Badania nad wzrostem drzewostanów w Polsce

Przykład: jodła pospolita

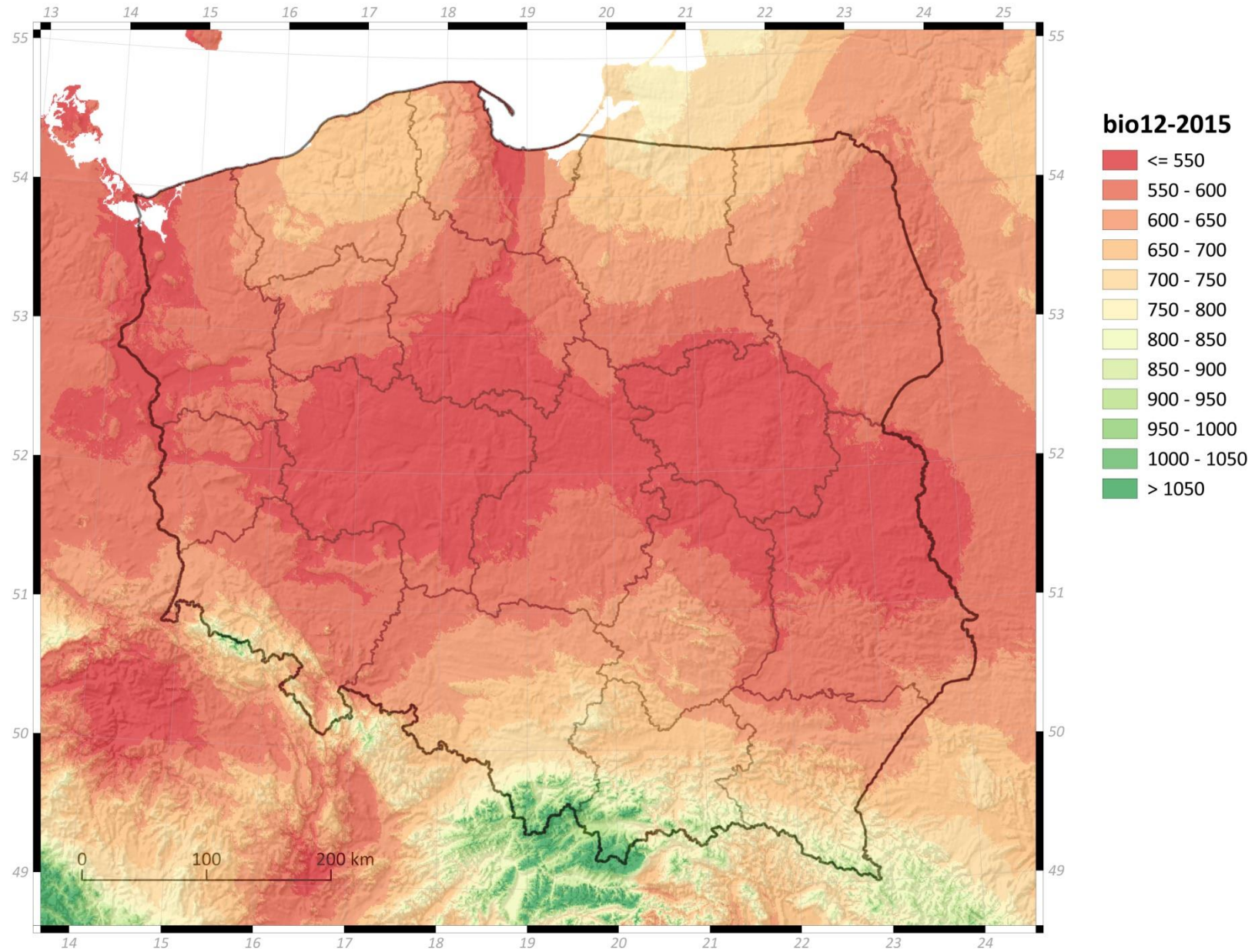


Lokalizacja stałych powierzchni badawczych w Polsce

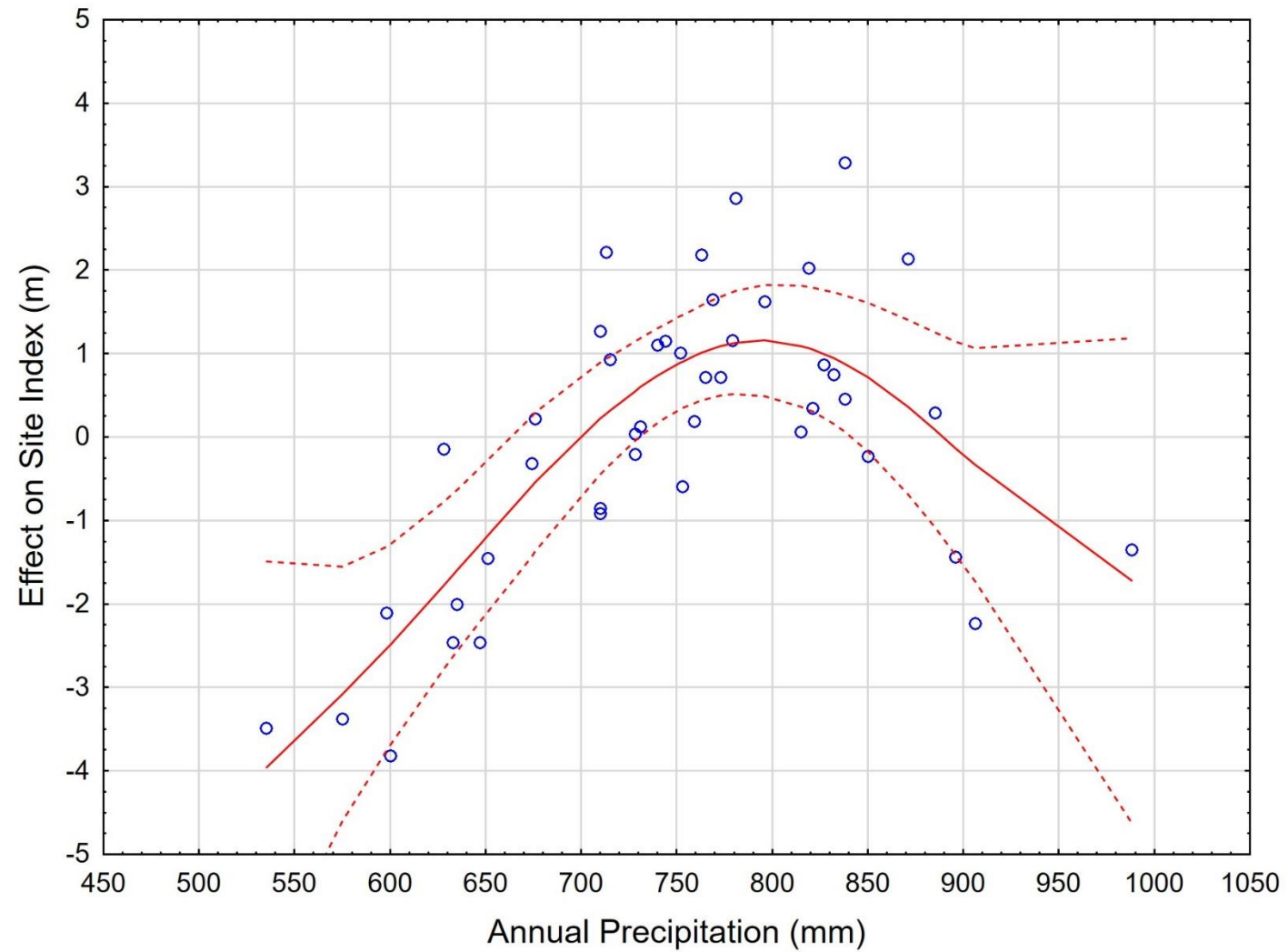
Średnia roczna temperatura [$^{\circ}\text{C} \cdot 100$] (WorldClim)



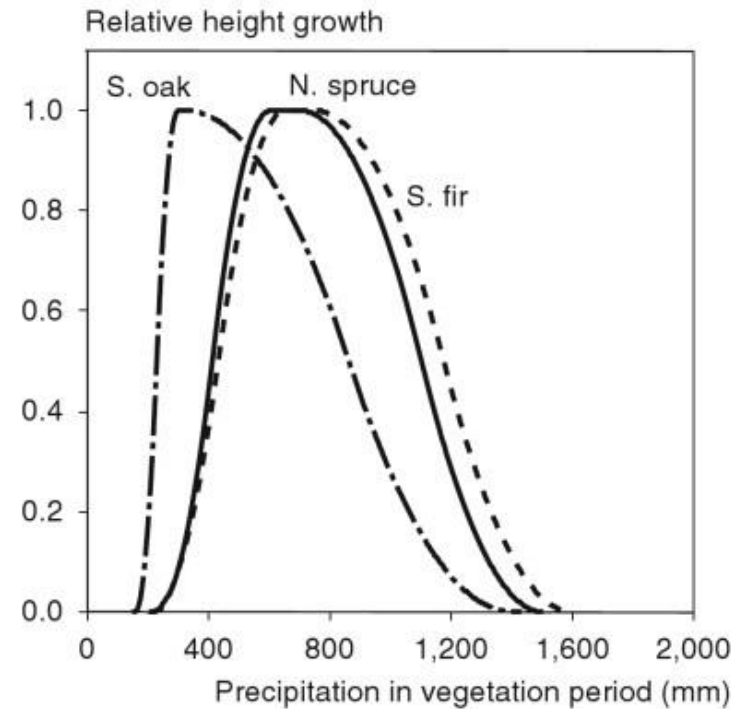
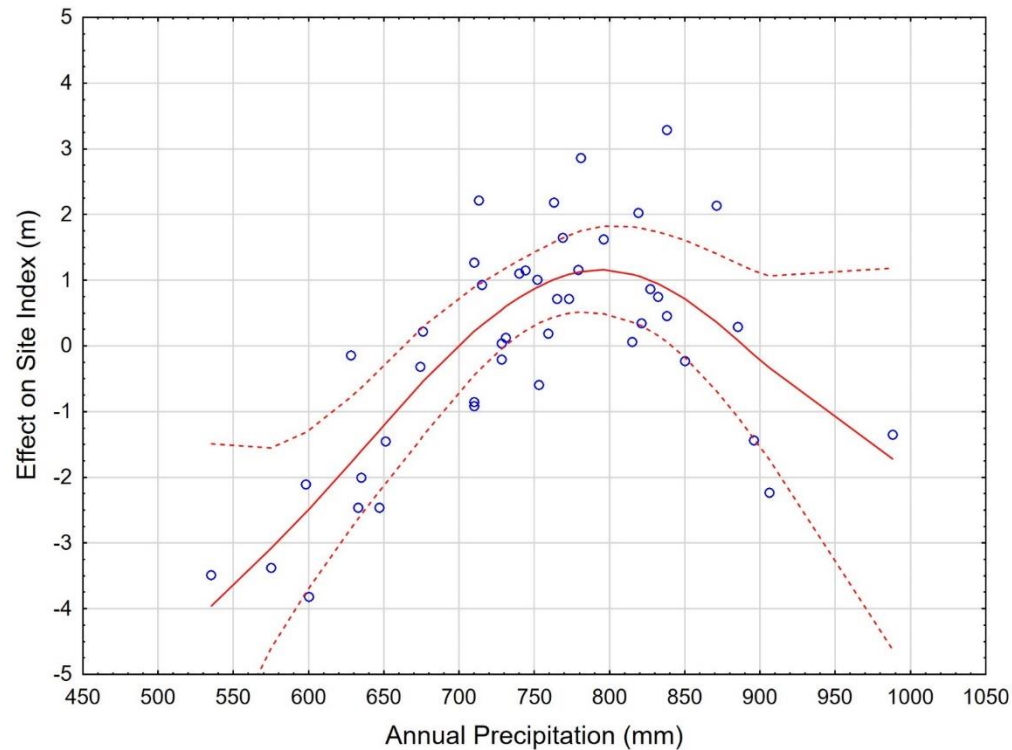
Średnia suma opadów rocznych[mm]



Wyniki - zależność wzrostu jodły od sumy opadów rocznych

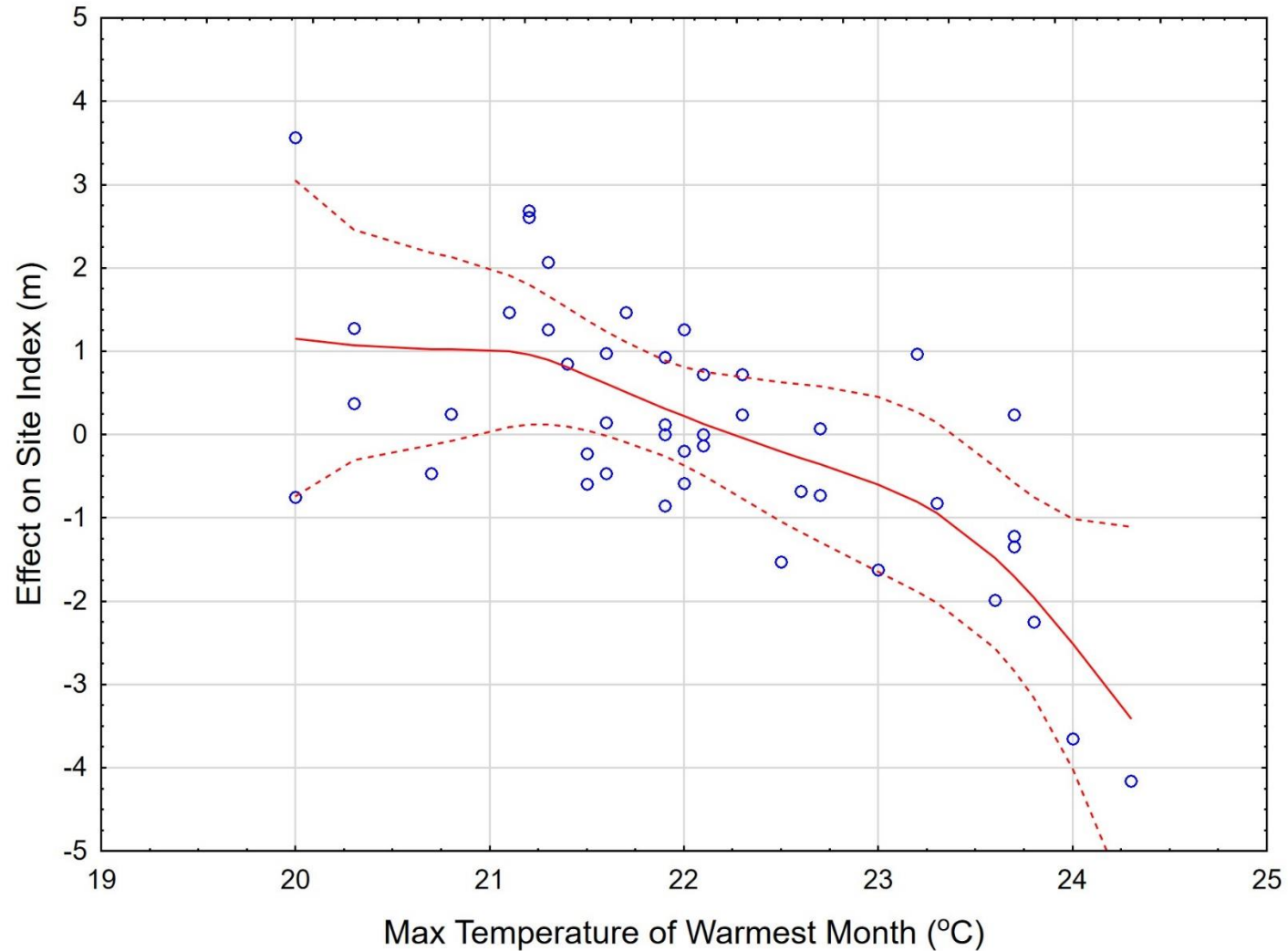


Wyniki - zależność wzrostu jodły od sumy opadów rocznych



(Kanh 1994, after: Pretzsch 2009)

Wyniki - zależność wzrostu jodły od maksymalnej temperatury najcieplejszego miesiąca

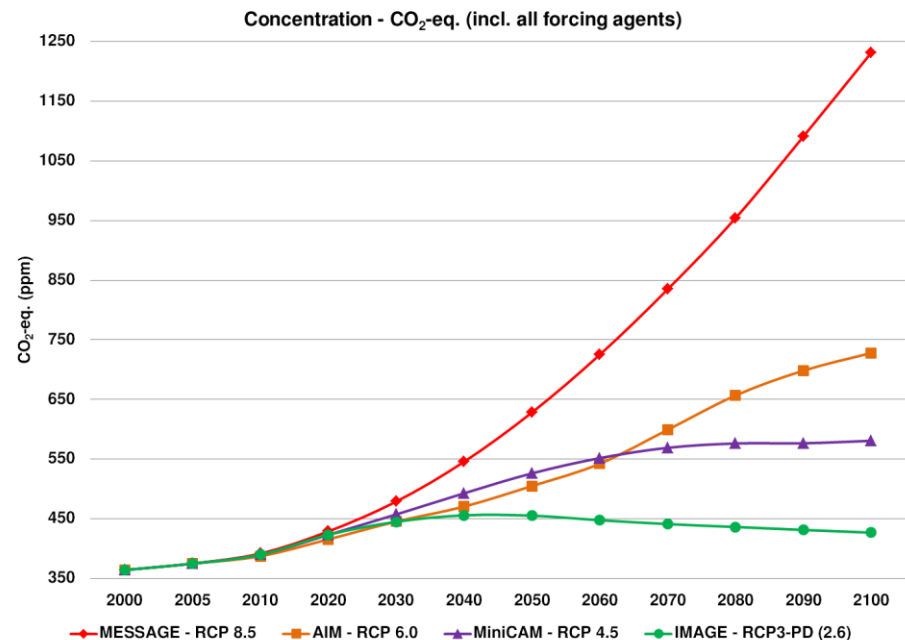


Jak i dlaczego zmieniają się warunki wzrostu jodły pospolitej w Polsce?

Na podstawie wieloletnich obserwacji wiadomo, że w ostatnim stuleciu średnia roczna temperatura w Polsce wzrosła o około 0,7-0,8°C.

Klimatolodzy przewidują, że w naszych szerokościach geograficznych mroźne zimy po 2020 roku staną się bardzo rzadkie, a po 2080 roku całkowicie znikną. Raport klimatologów zapowiada również wzrost średniej globalnej temperatury powietrza o 0,1-0,4°C na każde 10 lat.

Przewiduje się, że za 90 lat temperatury w Polsce będą odpowiadać obecnym temperaturom we Włoszech, Grecji i Hiszpanii. Jak to wpłynie na oblicze naszej planety i ekosystemy leśne?

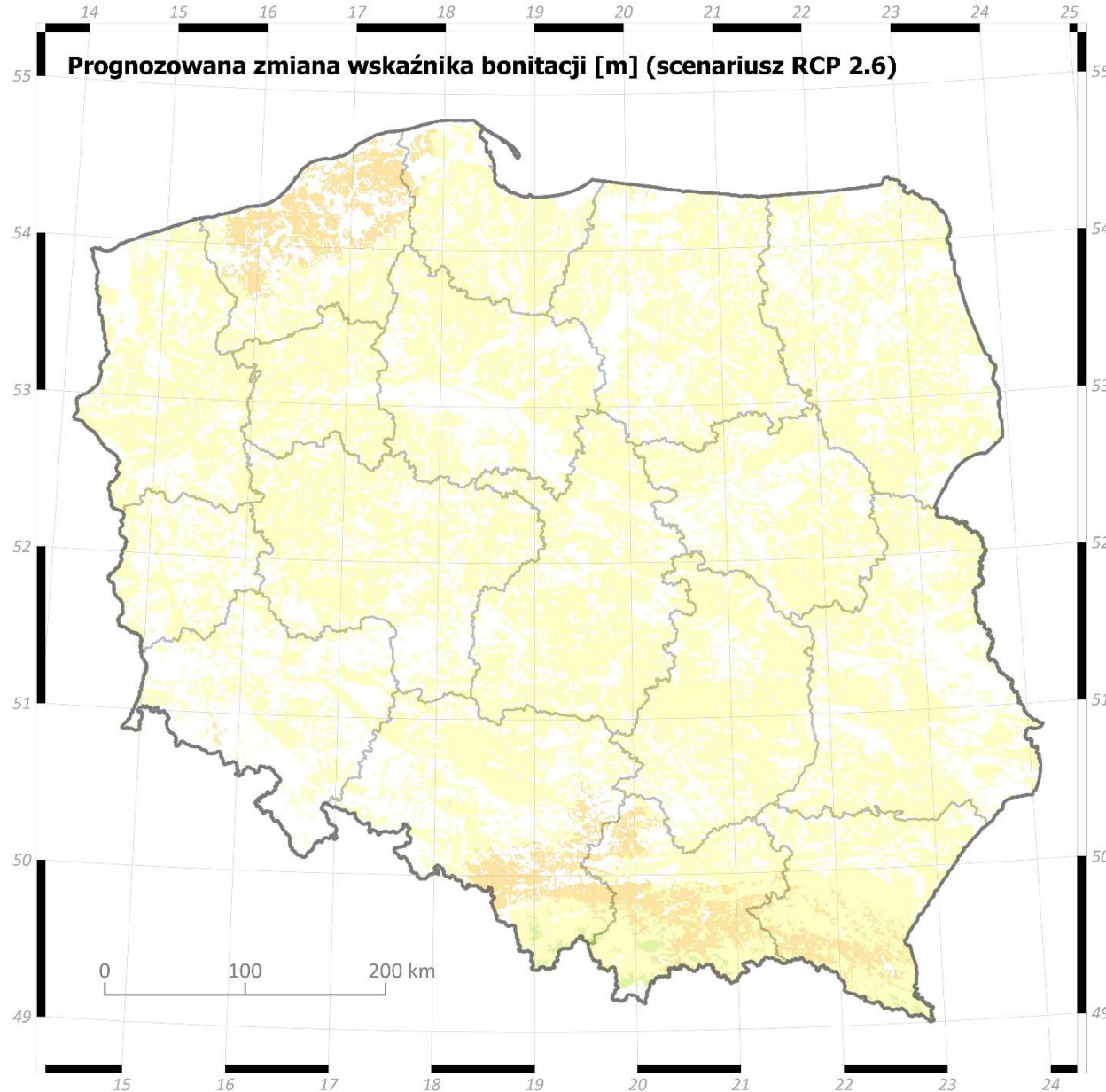


Scenario	AR5 global warming increase (°C) projections ^[5]	
	2046-2065 Mean and likely range	2081-2100 Mean and likely range
RCP2.6	1.0 (0.4 to 1.6)	1.0 (0.3 to 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 to 2.0)	1.8 (1.1 to 2.6)
RCP6.0	1.3 (0.8 to 1.8)	2.2 (1.4 to 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 to 2.6)	3.7 (2.6 to 4.8)

Forecasts of changes in CO₂ concentration and temperature changes for various scenarios

Source <http://www.worldclim.org/>

Scenariusz RCP 2.6

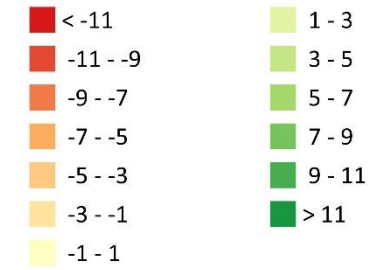


Jodła zwyczajna

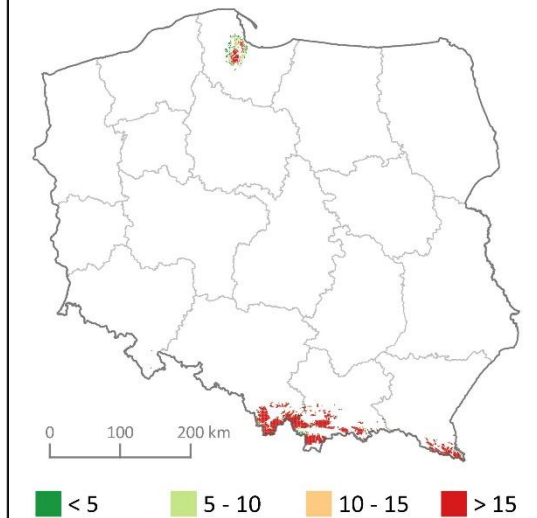
Abies alba Mill.

Model 3

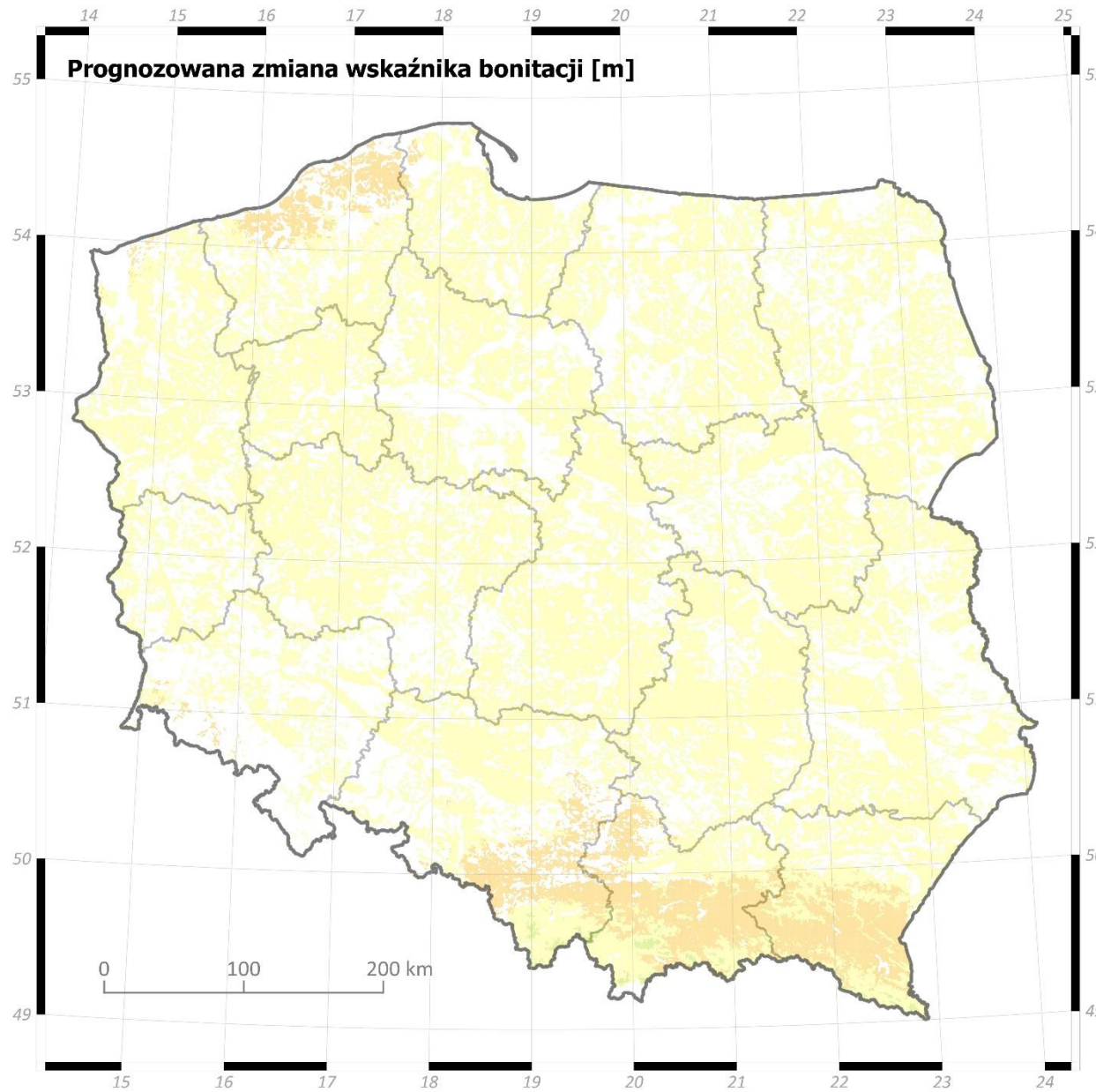
Zmiana wskaźnika bonitacji [m]



Błąd standardowy modelu [%]



Scenariusz RCP 4.5

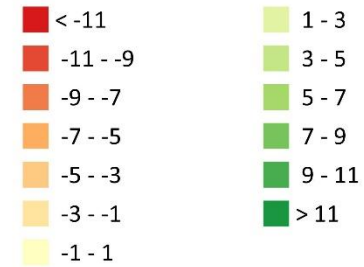


Jodła zwyczajna

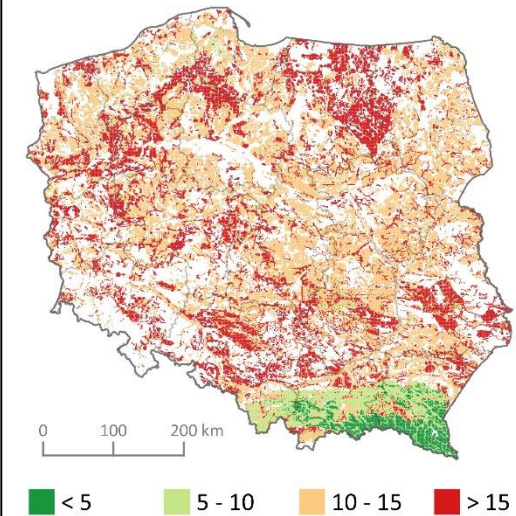
Abies alba Mill.

Model 3

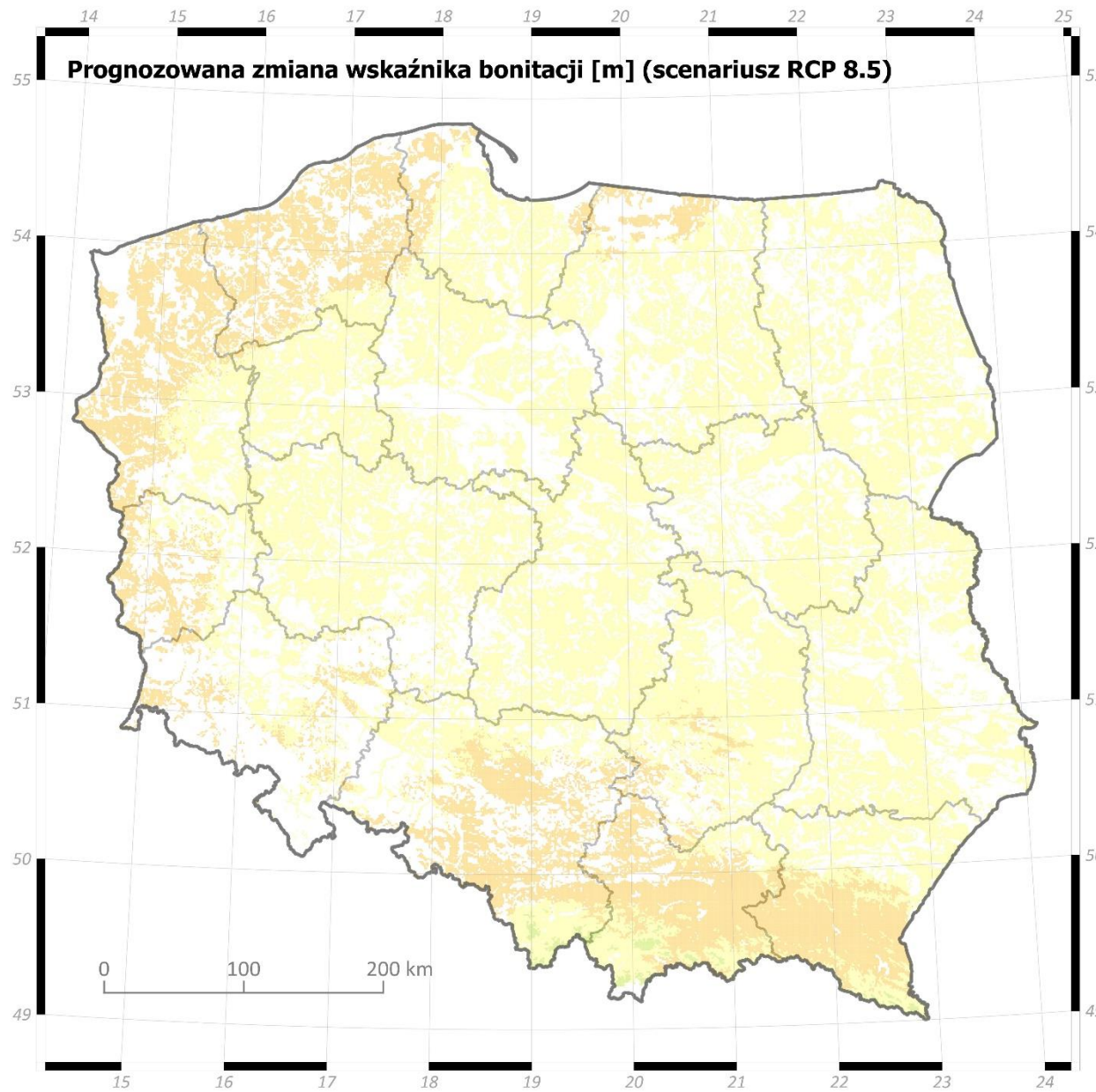
Zmiana wskaźnika bonitacji [m]



Błąd standardowy modelu [%]



Scenariusz RCP 8.5

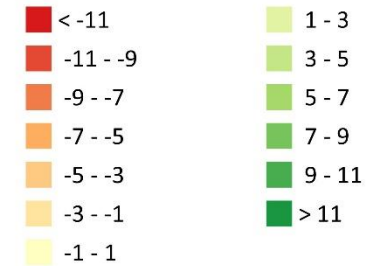


Jodła zwyczajna

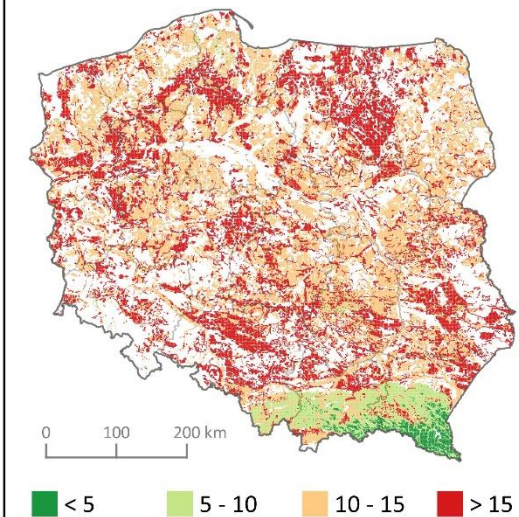
Abies alba Mill.

Model 3

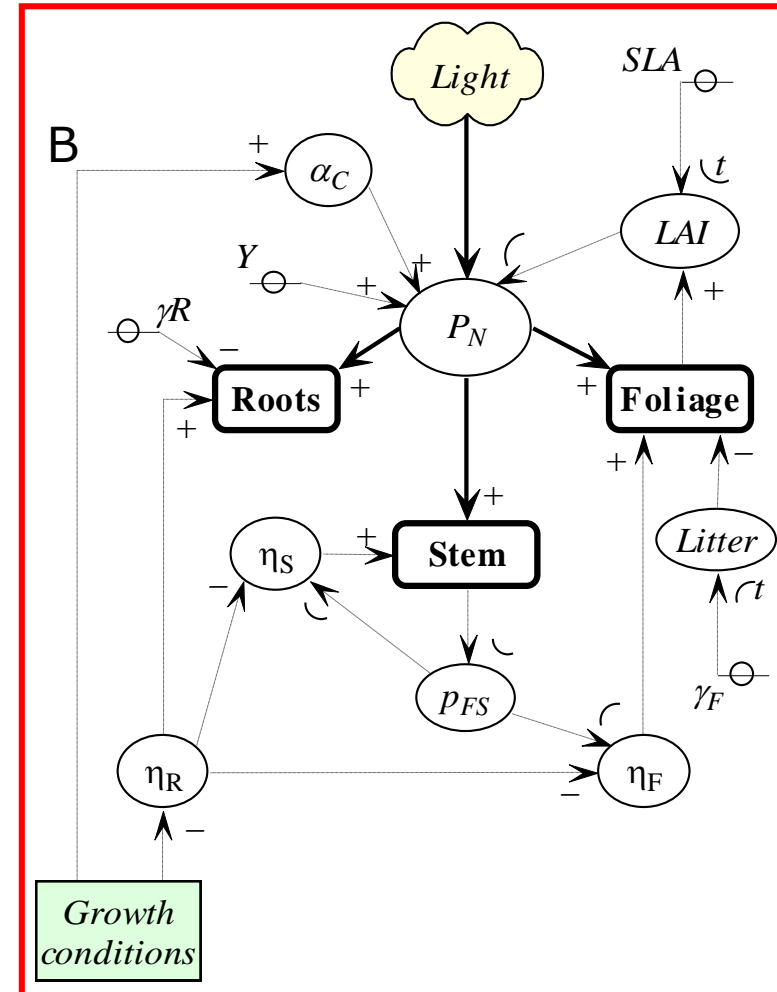
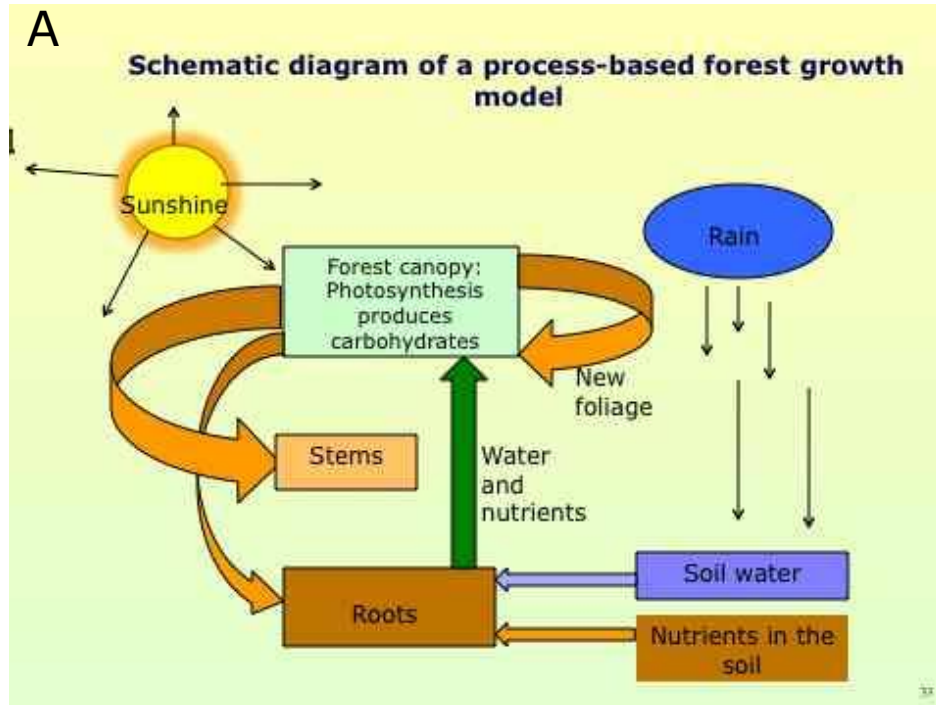
Zmiana wskaźnika bonitacji [m]



Błąd standardowy modelu [%]



Badania obecne i przyszłe: Procesy fizjologiczne warunkujące wzrost



Ryc. A – Schemat ogólny typowego modelu fizjologicznego,

B – schemat modelu 3 PG

Zmieniająca się kultura hodowli lasu

The changing culture of silviculture

Alexis Achim^{1,†,*}, Guillaume Moreau^{1,†}, Nicholas C. Coops^{2,†}, Jodi N. Axelson³, Julie Barrette⁴, Steve Bédard⁴, Kenneth E. Byrne^{2,5}, John Caspersen⁶, Adam R. Dick⁷, Loïc D'Orangeville⁸, Guillaume Drolet⁴, Bianca N.I. Eskelson², Cosmin N. Filipescu⁹, Maude Flamand-Hubert¹, Tristan R.H. Goodbody², Verena C. Griess¹⁰, Shannon M. Hagerman², Kevin Keys¹¹, Benoit Lafleur¹², Miguel Montoro Girona^{12,13}, Dave M. Morris¹⁴, Charles A. Nock¹⁵, Bradley D. Pinno¹⁵, Patricia Raymond⁴, Vincent Roy¹⁶, Robert Schneider¹⁷, Michel Soucy¹⁸, Bruce Stewart¹¹, Jean-Daniel Sylvain⁴, Anthony R. Taylor^{8,19}, Evelyne Thiffault¹, Nelson Thiffault¹⁶, Udaya Vepakomma²⁰ and Joanne C. White²¹

Zmieniający się klimat zmienia ekosystemy leśne w niespotykanym dotąd tempie. Równocześnie obserwujemy różnicowanie oczekiwań społecznych dotyczących szerszego, zrównoważonego wykorzystania zasobów leśnych, wykraczającego poza produkcję drewna. W rezultacie, nauka i sztuka hodowli lasu musi dostosować się do tych zmieniających się realiów.

Hodowcy lasu stopniowo przechodzą od stosowania empirycznie wyprowadzonych scenariuszy hodowli lasu do nowych zestawów podejść, metod i praktyk - procesu, który wymaga poszerzenia naszej koncepcji hodowli lasu jako dyscypliny naukowej. Proponujemy holistyczne spojrzenie na hodowlę lasu koncentrujące się wokół trzech kluczowych tematów: obserwacja, przewidywanie i adaptacja.

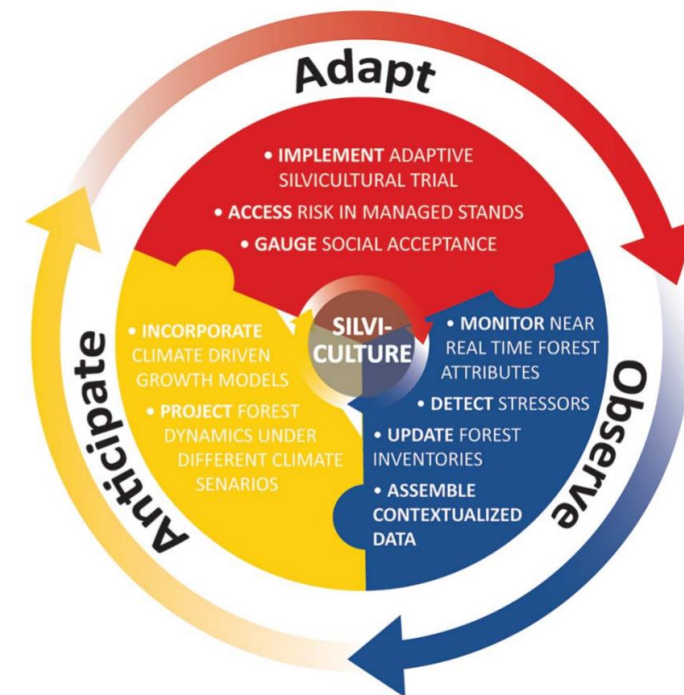


Figure 1 Our conception of silviculture as holistic scientific discipline is framed by three key themes: observe, anticipate and adapt.

Zmieniająca się kultura hodowli lasu

The changing culture of silviculture

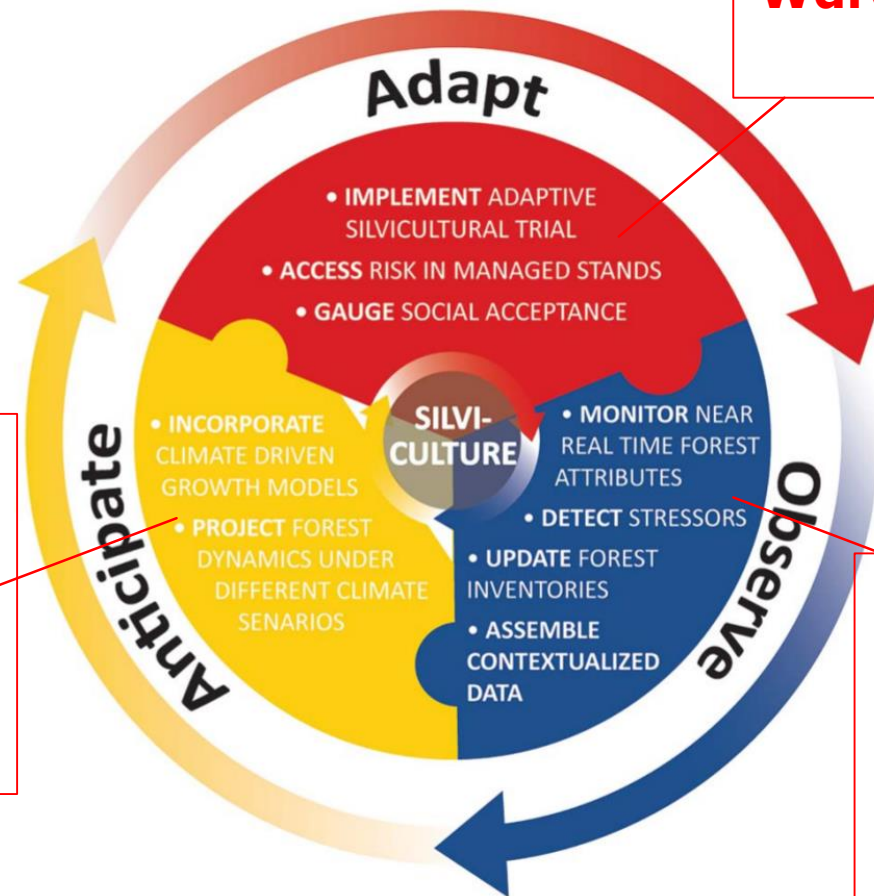
Alexis Achim^{1,4,*}, Guillaume Moreau^{1,1}, Nicholas C. Coops^{2,1}, Jodi N. Axelson³, Julie Barrette⁴, Steve Bédard⁴, Kenneth E. Byrne^{2,5}, John Caspersen⁶, Adam R. Dick⁷, Loïc D'Orangeville⁸, Guillaume Drolet⁴, Bianca N.I. Eskelson², Cosmin N. Filipescu⁹, Maude Flamand-Hubert¹, Tristan R.H. Goodbody², Verena C. Griess¹⁰, Shannon M. Hagerman², Kevin Keys¹¹, Benoit Lafleur¹², Miguel Montoro Girona^{12,13}, Dave M. Morris¹⁴, Charles A. Nock¹⁵, Bradley D. Pinno¹⁵, Patricia Raymond⁴, Vincent Roy¹⁶, Robert Schneider¹⁷, Michel Soucy¹⁸, Bruce Stewart¹¹, Jean-Daniel Sylvain⁴, Anthony R. Taylor^{8,19}, Evelyne Thiffault¹, Nelson Thiffault¹⁶, Udaya Vepakomma²⁰ and Joanne C. White²¹

Adaptacja

Wdrożenie adaptacyjnej hodowli lasu
Ocena akceptacji społecznej

Przewidywać

Włączenie modeli wzrostu zależnych od klimatu
Prognozowanie dynamiki lasu w różnych scenariuszach klimatycznych



Obserwować

Monitorowanie atrybutów lasu w czasie rzeczywistym
Wykrywanie czynników stresogennych
Aktualizacja inwentaryzacji lasów

Figure 1 Our conception of silviculture as holistic scientific discipline is framed by three key themes: observe, anticipate and adapt.

Działania organizacji pozarządowych w USA



[About](#) [News](#) [Join Us](#) [Issues](#) [Videos](#) [Action Center](#) [Support Our Work](#)

Forest mortality exceeds harvest for past 20 years and now exceeds net growth

 healthyforests  May 10, 2018  News

Forest mortality exceeded net growth on America's national forest timberlands in 2016, based on [data publicly available](#) from the U.S. Forest Service.

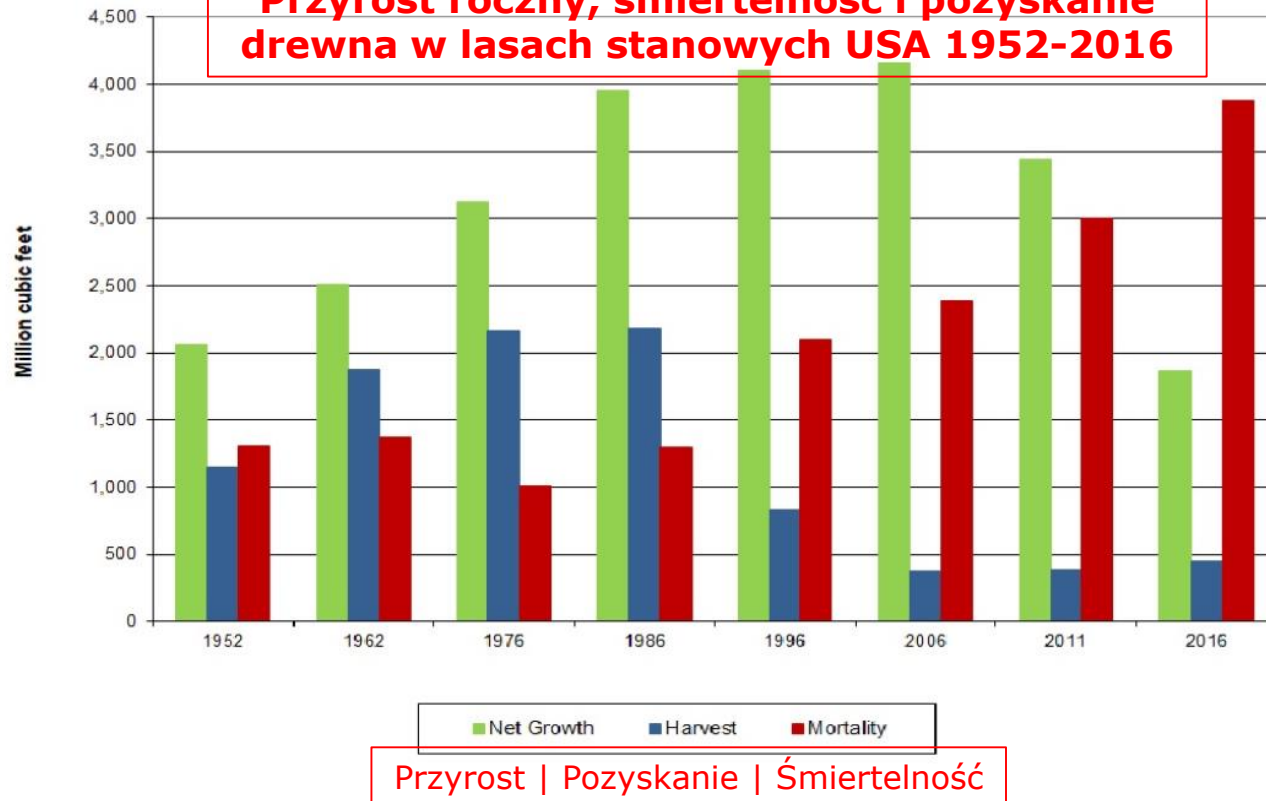
Forest growth was 48 percent of mortality, while timber harvests were just 11 percent of what is dying annually. Forest mortality continues to trend upward. Last year the agency estimated there were [6.3 billion dead standing trees](#) in just 11 Western states. What do these data mean? Far more trees are dying due to

Przyrost lasów wynosi 48 %
śmiertelności, podczas kiedy
pozyskanie zaledwie 11%.
Śmiertelność lasów nadal wykazuje
tendencję wzrostową.
**Tylko w 11 zachodnich stanach
oszacowano liczbę stojących
martwych drzew na 6.3 mld**

Źródło: <https://healthyforests.org/>

Annual Net Growth, Mortality, and Harvest on
National Forest Timberlands - 1952-2016

**Przyrost roczny, śmiertelność i pozyskanie
drewna w lasach stanowych USA 1952-2016**



Nasze lasy federalne nie są aktywnie zarządzane, czy to poprzez pozyskiwanie drewna, trzebieże i "prescribed fire". W rezultacie, nasze lasy umierają w zadziwiającym tempie. Obecnie mamy miliony akrów z gęstymi drzewostanami, które konkurują o światło i wodę, co czyni je bardziej podatnymi na zmieniające się warunki klimatyczne, suszę i gradacje owadów.

W związku ze wzrostem śmiertelności, nasze lasy stały się emitentami netto dwutlenku węgla. W Kalifornii, na przykład, badania sugerują, że gazy cieplarniane wypływają z lasów stanu szybciej niż są pobierane z powrotem.

Our federal forests are not being actively managed, whether through logging, thinning and prescribed fire. As a result, our forests are dying at an astonishing rate. And today we have millions of acres with dense stands of trees that compete for light and water, making them more vulnerable to changing climate conditions, drought and insect infestations.

And as forest mortality has increased, our forests have become net carbon emitters. In California, for example, research suggests that that greenhouse gases are billowing out of the state's forests **faster than they are being sucked back in.**

Forest management is a choice. We can continue to allow our forests to die and succumb to catastrophic wildfire, insects, and disease. Or, we can manage our forests to promote forest health, resiliency and carbon sequestration, while producing renewable and environmentally-friendly products that meet our daily needs and support thousands of American jobs.

Gospodarka leśna to wybór. Możemy nadal pozwalać naszym lasom umierać i ulegać katastrofalnym pożarom, gradacjom owadów i chorobom. Albo możemy zarządzać naszymi lasami tak, aby promować ich zdrowotność, odporność i sekwestrację dwutlenku węgla, jednocześnie wytwarzając odnawialne i przyjazne dla środowiska produkty, które zaspokajają nasze codzienne potrzeby i zapewniają tysiące amerykańskich miejsc pracy.

Najważniejsze wyzwania dla zarządzających lasami w zmieniających się warunkach klimatycznych i społecznych - podsumowanie

1. Zmiany klimatyczne i antropopresja w istotny sposób wpływają na lasy zwiększając produktywność siedlisk leśnych i przyspieszając dynamikę wzrostu drzew, co jednak wpływa na funkcjonowanie i stabilność ekosystemów leśnych;

- z jednej strony przyspieszony przyrost przyczyniał się do większego pochłaniania CO₂, produkcji drewna i biomasy;
- z drugiej strony zmiany produktywności i przyspieszony wzrost mogą mieć poważne negatywne konsekwencje, powodując skrócenie żywotności drzew oraz nierównowagę między dynamiką wzrostu i śmiertelnością, co jest aktualnie obserwowane.

2. Zarządzający lasami i przyrodą powinni uwzględniać skumulowany wpływ zmian klimatycznych i antropopresji na dla zapewnienia w przyszłości ciągłości świadczenia usług ekosystemowych pełnionych przez lasy:

- ochrony różnorodności biologicznej
- zaspokajania oczekiwań społeczeństwa, a w tym:
 - korzyści gospodarczych, w szczególności dostarczania surowca drzewnego i zapewnienia miejsc pracy
 - środowiskowych i społecznych,
 - oraz łagodzenia skutków zmian klimatu przez pochłanianie CO₂.

3. **Jednym z największych wyzwań dla zarządzających przyrodą są działania na rzecz edukacji ekologicznej społeczeństwa. Zrozumienie przez społeczeństwo zasadności prowadzonych działań jest warunkiem koniecznym do ich realizacji.**

Dziękuję za uwagę!



Widok z szybowiska w Bezmiechowej