

PAWEŁ PIEŃKOWSKI, MAREK PODLASIŃSKI, MARCIN STOLTMAN

## Wpływ zmian w lesistości na stopień fragmentacji lasów Pojezierza Ińskiego w XX wieku

Impact of the forest cover changes on the degree of fragmentation of the Ińsko Lakeland forests in the 20<sup>th</sup> century

### ABSTRACT

Pieńkowski P., Podlasiński M., Stoltman M. 2020. Wpływ zmian w lesistości na stopień fragmentacji lasów Pojezierza Ińskiego w XX wieku. Sylwan 164 (1): 41-48. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018128>.

The aim of this work was to present changes in the fragmentation of forest area characterised by a two-fold increase in forest cover during the last century. The Forest Area Density (FAD) indicator was utilised in order to determine the forest fragmentation for the raster analysis of numeric maps. Its calculation was made using GuidosToolbox software. The research covered 1862 km<sup>2</sup> of a predominantly post-glacial area of the Ińsko Lakeland, located in the north-western part of Poland. At the end of the 19<sup>th</sup> century, forests occupied 273.0 km<sup>2</sup> of this area, while at the beginning of the 21<sup>st</sup> century their area coverage increased to 612.5 km<sup>2</sup>. The observed increase in the forest cover was associated with changes in forest fragmentation, which was analysed using the FAD. When comparing the two surveyed periods on the synthetic result maps obtained by utilising the FAD method, visible changes can be seen in individual forest categories, which indicate a decrease in the fragmentation of forest areas. The use of fragmentation measures is justified because according to the data found in the literature, the recently observed increase in forest coverage in many areas of Europe does not always determine the decrease in their fragmentation. This verifies the legitimacy of using the FAD indicator in the context of ecological and economic assessments.

### KEY WORDS

forest cover, landscape metric, habitat fragmentation, historical maps

### ADDRESSES

Paweł Pieńkowski <sup>(1)</sup> – e-mail: [pawel.pienkowski@zut.edu.pl](mailto:pawel.pienkowski@zut.edu.pl)

Marek Podlasiński <sup>(2)</sup> – e-mail: [marek.podlasinski@zut.edu.pl](mailto:marek.podlasinski@zut.edu.pl)

Marcin Stoltman <sup>(1)</sup> – e-mail: [marcin.stoltman@zut.edu.pl](mailto:marcin.stoltman@zut.edu.pl)

<sup>(1)</sup> Pracownia Ekologii i Ochrony Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin

<sup>(2)</sup> Pracownia Gleboznawstwa i Chemii Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin

## Wstęp

Od lat 60. XX wieku obserwuje się w Europie postępujący wzrost zalesienia [Landscapes... 2017]. Przyrost powierzchni lasów notowany jest również na terenie Polski [Zając i in. 2014], a jego tempo zależy od regionu kraju [Ciesielska, Ciesielski 2017]. Proces ten, wynikający głównie z zalesienia słabszych gleb, użytkowanych uprzednio jako grunty orne, powiązany jest ze zmianami

struktury przestrzennej krajobrazu, w tym zwiększeniem łączności fragmentów lasów i powstaniem nowych odizolowanych płatów leśnych [Estreguil i in. 2012]. Zmiany te, niewątpliwie korzystne ze względów przyrodniczych [Żarska i in. 2016], wymuszają poszukiwanie metod, które umożliwiłyby obiektywną ocenę przebiegu tego zjawiska [Wang i in. 2014; Vogt 2018], z uwzględnieniem wypracowanych wcześniej założeń w zakresie preferencji wybranych gatunków roślin i zwierząt związanych z siedliskami lasów [Quine, Watts 2009; Vieira i in. 2009; Fuentes-Montemayor i in. 2013; Carrara i in. 2015; Fardila i in. 2017; de Montis i in. 2017]. Ocena struktury przestrzennej lasów ma również znaczenie w aspekcie zagrożeń pożarowych, gdyż liczba ognisk pożarów w lasach zależy w dużej mierze od rozmiarów i rozmieszczenia płatów leśnych [Cochrane, Laurance 2002; Armenteras i in. 2013].

Wiele stosowanych obecnie metod opisujących strukturę przestrzenną lasów uwzględnia zjawisko fragmentacji, które definiuje się jako proces prowadzący do zmniejszania się powierzchni lasów i wzrostu izolacji nowo powstałych płatów [Fahring 2003; Fisher, Lindenmayer 2007]. Definicja ta podkreśla aspekt czasowy tego zjawiska [Nita, Myga 2012], jednak stosowane powszechnie miary krajobrazu (w tym miary fragmentacji) opisują zwykle stopień fragmentacji w określonym czasie [Singh, Pandey 2014]. W przeciwieństwie do przedstawionego w pracy wskaźnika powierzchni leśnej (Forest Area Density – FAD) większość stosowanych miar nie ilustruje zaistniałych zmian w przestrzeni i nie kwantyfikuje powierzchni pod względem zawartości powierzchni leśnej.

Dlatego do oceny fragmentacji lasów Komisja Europejska proponuje wykorzystanie tzw. wskaźnika powierzchni leśnej [Vogt 2018], który w szerszym zakresie ocenia przebieg fragmentacji, uwzględniając m.in. zawartość płatów w pięciu skalach obserwacji. Jego wyliczenie, a następnie prezentację wyników w postaci map i odpowiednich zestawień umożliwia jeden z modułów darmowego oprogramowania GuidosToolbox [Vogt, Riitters 2017]. Według autorów oprogramowania prezentowany wskaźnik można zastosować w odniesieniu do mniejszych obszarów leśnych, jak i dla lasów w skali całego kontynentu [Riitters i in. 2002].

Celem pracy była prezentacja możliwości wykorzystania wskaźnika powierzchni leśnej do analizy zmian lesistości na wybranym obszarze Pojezierza Ińskiego.

## **Materiał i metody**

Powierzchnię lasów badanego obszaru w końcu XIX wieku oszacowano na podstawie niemieckich map topograficznych Messtischblätter 1:25 000, natomiast przy ustaleniu aktualnej powierzchni lasów posłużono się bazą danych obiektów topograficznych BDOT10k oraz ortofotomapą z roku 2017 pozyskaną ze strony <http://geoportal.gov.pl>. Przed rasteryzacją danych wektorowych w bazie obiektów topograficznych połączono ze sobą poligony rozdzielone fragmentacją liniową (np. ciekami i drogami leśnymi), a także usunięto najmniejsze płaty zadrzewień (<0,5 ha), których nie uwzględniano na niemieckich mapach topograficznych.

Ocenę fragmentacji powierzchni lasów wykonano za pomocą wskaźnika powierzchni leśnej – FAD, wyliczonego w programie Guidos, przy zastosowaniu metody „okna ruchomego”. W programie przyjęto arbitralnie pięć wielkości okien o następującej sekwencji komórek rastra: 7×7, 13×13, 27×27, 81×81 i 243×243, co przy przyjętym w pracy rozmiarze komórki rastra (30×30 m) odpowiada w przybliżeniu następującym wielkościom okna: 4,4 ha, 15,2 ha, 65,6 ha, 590,5 ha i 5314,4 ha. Taki dobór parametrów wielkości okien jest według autorów programu optymalny do oceny fragmentacji lasów [Riitters i in. 2002; Riitters, Wickham 2012].

Zastosowany w pracy wskaźnik powierzchni leśnej FAD, według którego wyznacza się klasy fragmentacji, oblicza się dla każdej komórki rastra znajdującej się w centralnej części okna ruchomego. Wskaźnik ten wyraża procentowy udział komórek rastra reprezentujących obszary leśne

w odniesieniu do wszystkich komórek znajdujących się w obrębie okna ruchomego. Podział na poszczególne klasy wyznaczone na podstawie wskaźnika FAD dla jednej z pięciu wielkości okna przedstawiono w tabeli 1. Rezultatem zastosowania pięciu wielkości okien jest zestaw map przedstawiających fragmentację obszarów leśnych z podziałem na sześć klas fragmentacji.

Sumaryczna mapa wynikowa uwzględnia obliczenia uzyskane przy zastosowaniu pięciu wielkości okien ruchomych i ma tę samą rozdzielczość. Zakres wartości komórek rastra oscyluje od 5 (gdy na wszystkich pięciu mapach wartość atrybutu rastra mieści się klasie fragmentacji I) do 30 (gdy na wszystkich pięciu mapach wartość atrybutu rastra odpowiada klasie VI). Sposób wyliczenia wskaźnika powierzchni leśnej dla sumarycznej mapy wynikowej przedstawiono w tabeli 2.

Do prezentacji przemian poszczególnych kategorii płatów pomiędzy końcem XIX i początkiem XXI wieku wykorzystano moduł „Change” programu Gidos, który umożliwia porównanie wcześniej wykonanych map sumarycznych, a także stworzenie tabel krzyżowych, obrazujących wzajemne przemiany w obrębie poszczególnych klas fragmentacji płatów.

Ponadto w programie Fragstat wyliczono wybrane wskaźniki z kategorii powierzchni, kształtu i skupienia płatów wykorzystywane do określenia struktury fragmentacji lasów. Obliczono średnią powierzchnię płatów (AREA\_MN), średni stopień rozwinięcia płatów (CIRCLE\_MN) oraz wskaźnik najbliższego sąsiedztwa (ENN\_MN).

## Wyniki i dyskusja

W XX wieku na obszarze 1862 km<sup>2</sup>, obejmującym głównie polodowcowy rejon Pojezierza Ińskiego i niewielki fragment Równiny Drawskiej (ryc. 1), zaobserwowano znaczny wzrost lesistości. Pod

**Tabela 1.**

Forma występowania płatów leśnych (klas fragmentacji) w zależności od wskaźnika powierzchni leśnej (FAD [%]) dla jednej z pięciu wielkości okna ruchomego [Vogt 2018]

Form of incidence of forest patches (fragmentation classes) depending on forest area density for one of the selected moving window sizes [after Vogt 2018]

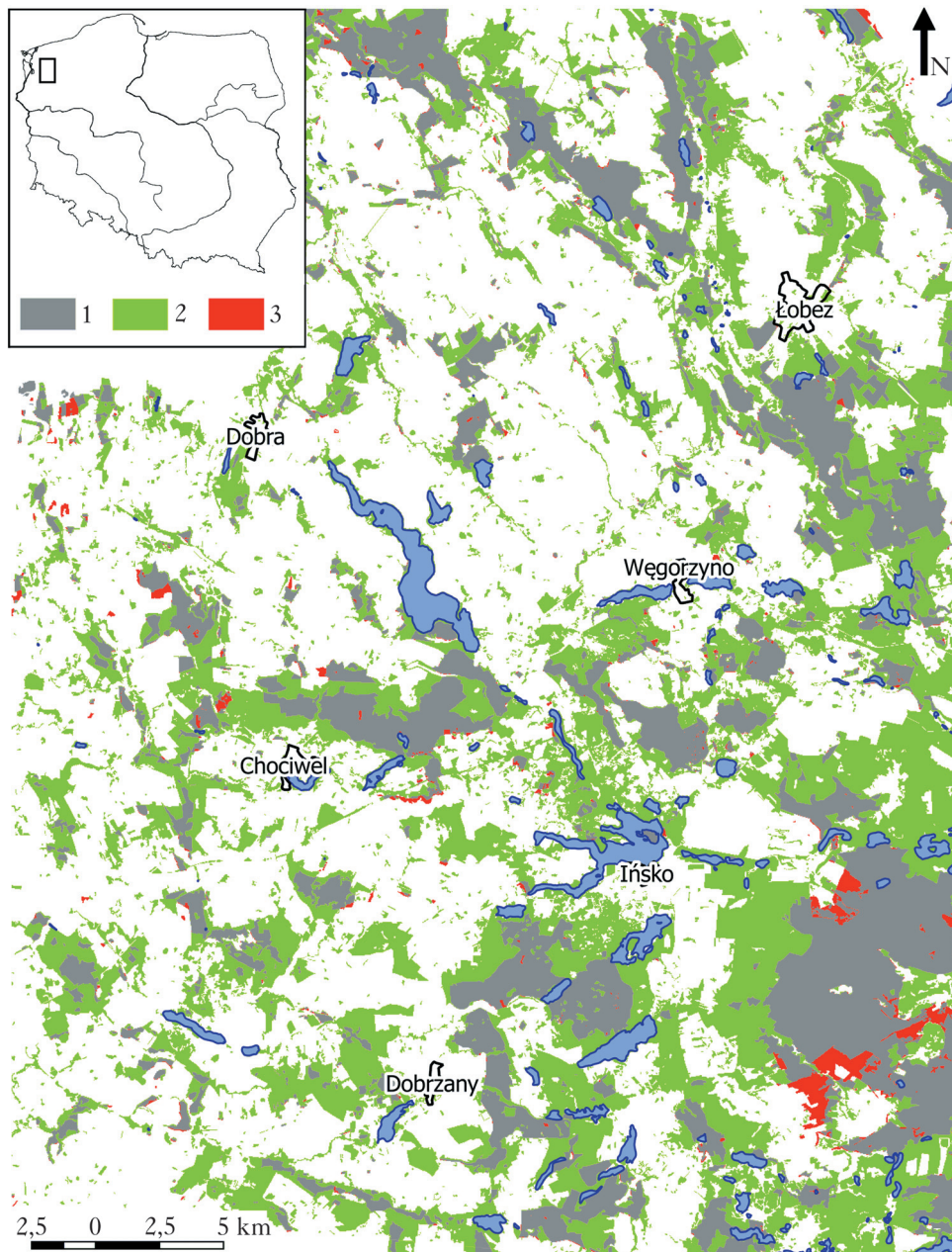
Atrybut komórek rastra Pixel value	Klasa fragmentacji Fragmentation class	FAD
1	I	<10
2	II	10-40
3	III	40-60
4	IV	60-90
5	V	90-100
6	VI	100

**Tabela 2.**

Schemat klasyfikacji płatów leśnych pod względem stopnia ich fragmentacji na sumarycznej mapie wynikowej

Classification of forest patches, in terms of their fragmentation on summary map

Suma atrybutów komórek rastra Baseline sum	Sumaryczna klasa fragmentacji Summary fragmentation class
5-9	I
10-14	II
15-19	III
20-24	IV
25-29	V
30	VI



Ryc. 1.

Zmiany powierzchni leśnej na obszarze badań między końcem XIX i początkiem XXI wieku

Changes in the forest areas in the analysed territory between the end of the 19<sup>th</sup> and the beginning of the 21<sup>st</sup> century

1 – bez zmian, 2 – przyrost, 3 – ubytek  
1 – no change, 2 – increase, 3 – decrease

koniec XIX wieku lasy zajmowały 273,0 km<sup>2</sup>, natomiast na początku wieku XXI ich areal wzrósł do 692,5 km<sup>2</sup>. Przyrost lesistości nastąpił głównie po II wojnie światowej, co było wynikiem zalesiania obszarów rolniczo nieprzydatnych [Pieńkowski, Podlasiński 2002; Kunz 2012]. Dalszy wzrost lesistości nastąpił po upadku PGR i spowodowany był przede wszystkim zaniechaniem działalności rolniczej oraz samorzutną sukcesją leśną [Śmigiełski i in. 2017]. Ponowny wzrost zalesień rozpoczął się po wejściu Polski do UE, na co miały wpływ m.in. dopłaty w ramach Programów Rozwoju Obszarów Wiejskich [Kurowska, Kryszk 2017]. W odniesieniu do badanego obszaru zalesienia dotyczyły głównie rejonu położonego pomiędzy miejscowościami Chociwel, Węgorzyno, Ińsko i Dobrzany, gdzie zaobserwowano wyraźny proces łączenia się mniejszych płatów w większe kompleksy leśne (ryc. 1). Obszar ten pokrywa się w dużej części z Ińskim Parkiem Krajobrazowym. W badanym okresie odnotowano również nieliczne ubytki powierzchni leśnej, głównie w południowo-wschodniej części obszaru, gdzie część terenu przejęto na poligony wojskowe.

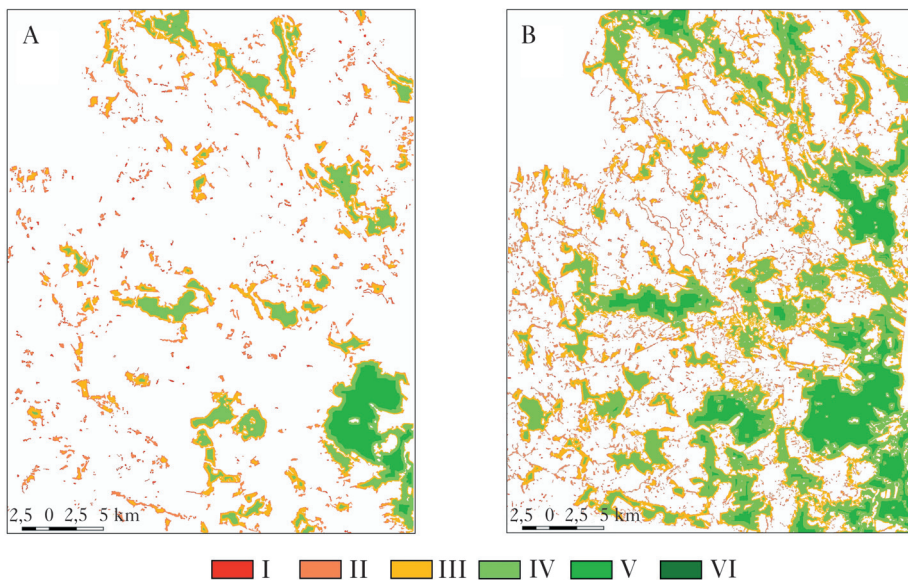
Pomimo dużych zmian lesistości pomiędzy analizowanymi latami dwa pierwsze wskaźniki nieznacznie różnią się od siebie. Zbliżona wartość średniej powierzchni płatów i kształtu płatów w obu okresach jest wynikiem równoległe przebiegających procesów komasacji większych płatów leśnych i powstaniem nowych niewielkich obiektów. Natomiast wartości wskaźnika najbliższego sąsiedztwa informującego o zmniejszeniu średniej odległości pomiędzy płatami są odmienne, co jest wynikiem powstania dużej liczby małych płatów leśnych. Wprawdzie wskaźniki te znajdują zastosowanie przy analizie fragmentacji powierzchni leśnej [Diaz-Varela i in. 2009], to jednak na podstawie trzech przytoczonych wskaźników (będących uśrednieniem wyników uzyskanych dla wszystkich płatów) trudno jednoznacznie wnioskować o mającej miejsce na danym obszarze fragmentacji bądź komasacji płatów. Nie można również określić ich przestrzennego rozmieszczenia i dokonać kwantyfikacji płatów pod kątem pofragmentowania.

Ocenę tych procesów może zoptymalizować zastosowanie wskaźnika powierzchni leśnej. Na sumarycznych mapach wynikowych, obrazujących klasy fragmentacji lasów Pojezierza Ińskiego w dwóch okresach, widać wyraźny przyrost udziału powierzchni leśnej zakwalifikowanej do klas IV i V, co jednoznacznie wskazuje na komasację większych płatów i spadek ich fragmentacji (ryc. 2). Równocześnie na całym obszarze badań obserwuje się powstanie izolowanych małych płatów leśnych. Tego typu mapy można również uzyskać dla każdej z pięciu wielkości okna ruchomego, co umożliwi lepsze dopasowanie uzyskanej mapy do konkretnego analizowanego zjawiska, np. preferencji danego gatunku względem wielkości arealu osobniczego lub możliwości migracyjnych.

Największe zmiany procentowego udziału klas fragmentacji dotyczą obserwacji w oknie ruchomym o wymiarach 243×243 komórek rastra, gdzie zauważa się znaczący spadek liczby płatów zakwalifikowanych do klas o największej fragmentacji (ryc. 3). Udział klasy I spadł z 13,7 do 0,1%, natomiast II – z 60,7 do 33,6%. Tym samym znacznie wzrósł udział klasy III oraz IV (łącznie z 25,6 do 66,5%).

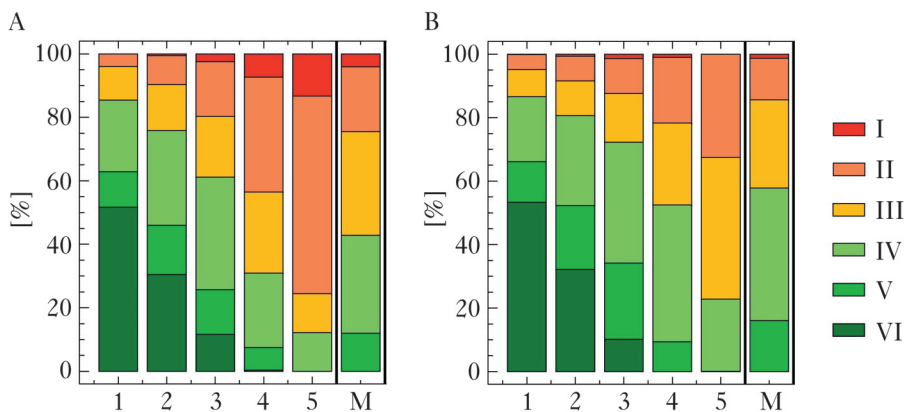
W XIX wieku spośród płatów leśnych największy udział stanowiła kategoria płatów III (4,78%), a płaty zakwalifikowane do klasy I zajmowały wówczas 0,60% (tab. 4). Na mapach z początku XXI wieku wzrósł znacznie areal lasów należący do klasy IV (z 4,52% w XIX wieku do 15,56% w XXI wieku), co wynikało z zalesienia 164,1 km<sup>2</sup> obszaru badań, jak również ze zmiany kwalifikacji istniejących już wcześniej płatów. Około 3,01% fragmentów lasów kwalifikowanych w końcu XIX wieku do klasy III i 1,10% obszarów z klasy II w wieku XXI znalazło się w klasie IV. Wraz z zalesieniem obszaru nastąpił również wyraźny wzrost udziału klasy V z 1,75% w XIX wieku do 5,95% w wieku XXI. Kategoria ta pojawiła się zarówno na obszarach nowo zalesionych





Ryc. 2.

Sumaryczne mapy wynikowe klas fragmentacji lasów (I-VI) w końcu XIX (A) i na początku XXI wieku (B)  
 Multiscale maps of forest fragmentation classes (I-VI) at the end of the 19<sup>th</sup> century (A) and at the beginning of the 21<sup>st</sup> century (B)



Ryc. 3.

Udział poszczególnych klas fragmentacji lasów (I-VI) w końcu XIX (A) i na początku XXI wieku (B) w różnych skalach obserwacji (1-5, M – sumaryczna mapa wynikowa)  
 Fraction of individual forest fragmentation classes (I-VI) at the end of the 19<sup>th</sup> century (A) and at the beginning of the 21<sup>st</sup> century (B) in various observation scales (1-5, M – multiscale map)

(1,82%), jak i na obszarach leśnych istniejących w wieku XIX, a kwalifikowanych w pierwszym z okresów do klasy IV (1,93%) i III (0,70%).

### Wnioski

✦ Na obszarze Pojezierza Ińskiego i niewielkim fragmencie Równiny Drawskiej w okresie od końca XIX do początku XXI wieku zaobserwowano ponad 2,5-krotny wzrost powierzchni lasów.

Tabela 3.

Wybrane wskaźniki fragmentacji charakteryzujące zmiany powierzchni leśnej pomiędzy końcem XIX a początkiem XXI wieku

Selected fragmentation metrics characterizing changes in forest area between the end of the 19<sup>th</sup> (XIX) and the beginning of the 21<sup>st</sup> (XXI) century

Kategoria wskaźników Category of metrics	Wskaźnik Metric	Jednostka Unit	Zakres wartości Range of value	XIX	XXI
Powierzchnia Area	AREA_MN	[ha]	0-+∞	31,20	29,46
Kształt Shape	CIRCLE_MN	–	0-1	0,60	0,58
Skupienie Aggregation	ENN_MN	[m]	0-+∞	221,56	121,35

Tabela 4.

Zmiany udziału [%] klas fragmentacji lasów (I-VI, N – obszary nieleśne) między końcem XIX i początkiem XXI wieku

Change in fraction [%] of forest fragmentation classes (I-VI, N – no forest areas) between the end of the 19<sup>th</sup> (XIX) and beginning of the 21<sup>st</sup> (XXI) century

		XXI							Σ
		N	I	II	III	IV	V	VI	
XIX	N	61,83	0,45	4,43	7,99	8,81	1,82	0,00	85,34
	I	0,10	0,01	0,19	0,20	0,09	0,00	0,00	0,60
	II	0,29	0,00	0,22	1,25	1,10	0,14	0,00	3,00
	III	0,27	0,00	0,02	0,78	3,01	0,70	0,00	4,78
	IV	0,23	0,00	0,00	0,10	2,26	1,93	0,00	4,52
	V	0,09	0,00	0,00	0,02	0,29	1,36	0,00	1,75
	VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Σ	62,81	0,47	4,87	10,34	15,56	5,95	0,00	100,00

✦ Wzrost lesistości wiązał się ze spadkiem fragmentacji powierzchni lasów, co przeanalizowano i potwierdzono, wykorzystując wskaźnik powierzchni leśnej FAD.

## Literatura

- Armenteras D., González T. M., Retana J. 2013. Forest fragmentation and edge influence on fire occurrence and intensity under different management types in Amazon forests. *Biological Conservation* 159: 73-79.
- Carrara E., Arroyo-Rodríguez V., Vega-Rivera J. H., Schondube J. E., de Freitas S. M., Fahrig L. 2015. Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation* 184: 117-126.
- Ciesielska K., Ciesielski M. 2017. Lesistość w Polsce w przekrojach terytorialnych. *Wiadomości Statystyczne* 5: 62-78.
- Cochrane M. A., Laurance W. F. 2002. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. *Journal of Tropical Ecology* 18 (3): 311-325.
- Diaz-Varela E. R., Marey-Perez M. F., Rigueiro-Rodríguez A., Álvarez-Álvarez P. 2009. Landscape metrics for characterization of forest landscapes in a sustainable management framework: Potential application and prevention of misuse. *Ann. For. Sci.* 66 (301): 1-10.
- Estreguil C., Caudullo G., de Rigo D., San Miguel J. 2012. Forest landscape in Europe: Pattern, fragmentation and connectivity, Executive report. European Commission EUR 25717. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- Fahrig E. 2003. Effect of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 34: 487-515.
- Fardila D., Kelly L. T., Moore J. L., McCarthy M. A. 2017. A systematic review reveals changes in where and how we have studied habitat loss and fragmentation over 20 years. *Biological Conservation* 212 A: 130-138.
- Fisher J., Lindenmayer D. B. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography* 16: 265-280.

- Fuentes-Montemayor E., Goulson D., Cavin L., Wallace J. M., Park K. J. 2013. Fragmented woodlands in agricultural landscapes: The influence of woodland character and landscape context on bats and their insect prey. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 172: 6-15.
- Kunz M. 2012. Zmiany lesistości Pomorza Zachodniego w ostatnich 400 latach. *Roczniki Geomatyki* 10 (4): 145-155.
- Kurowska K., Kryszk H. 2017. Oplacalność zalesień gruntów rolnych w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich. *Sylwan* 161 (12): 1035-1045. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2017014>.
- Landscapes in transition. An account of 25 years of land cover change in Europe. 2017. European Environment Agency.
- McGarigal K., Cushman S. A., Ene E. 2012. *Fragstats v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps*. University of Massachusetts, Amherst.
- Montis de A., Martín B., Ortega E., Ledda A., Serra V. 2017. Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: a comparative approach. *Land Use Policy* 64: 83-94.
- Nita J., Myga-Piątek U. 2012. Krajobrazowe skutki wzrostu powierzchni leśnych na Wyżynie Częstochowskiej. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* 26: 191-207.
- Pieńkowski P., Podlasiński M. 2002. Changes in forest cover of Szczecin lowland from the 16<sup>th</sup> to the end of the 20<sup>th</sup> century, in relation to soil cover. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 5 (2): #04.
- Quine C. P., Watts K. 2009. Successful de-fragmentation of woodland by planting in an agricultural landscape? An assessment based on landscape indicators. *Journal of Environmental Management* 90 (1): 251-259.
- Riitters K. H., Wickham J. D. 2012. Decline of forest interior conditions in the conterminous United States. *Scientific Reports* 653 (2): 1-4.
- Riitters K. H., Wickham J. D., O'Neill R. V., Jones K. B., Smith E. R., Coulston J. W., Wade T. G., Smith J. H. 2002. Fragmentation of continental United States forests. *Ecosystems* 5: 815-822.
- Singh S. K., Pandey A. C. 2014. *Remote Sensing Applications in Environmental Research*. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05906-8>.
- Śmigielski M., Pijanowski J. M., Gniadek J. 2017. Sukcesja leśna i zalesianie gruntów rolnych jako aktualne wyzwanie prac urzędzeniowo-rolnych. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiecetus* 16 (4): 51-63.
- Vieira M. V., Olifiers N., Delciellos A. C., Antunes V. Z., Bernardo L. R., Grelle C. E. V., Cerqueira R. 2009. Land use vs. fragment size and isolation as determinants of small mammal composition and richness in Atlantic Forest remnants. *Biological Conservation* 142: 1191-1200.
- Vogt P. 2018. Measuring forest area density to quantify forest fragmentation. European Commission, Directorate-General Joint Research Centre: 1-12.
- Vogt P., Riitters K. 2017. *GuidosToolbox: universal digital image object analysis*. *European Journal of Remote Sensing* 50: 352-361.
- Wang X., Blanchet F. G., Koper N. 2014. Measuring habitat fragmentation: An evaluation of landscape pattern metrics. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 634-646.
- Zajac S., Kaliszewski A., Młynarski W. 2014. Forests and forestry in Poland and other EU countries. *Folia Forestalia Polonica A* 56: 185-193.
- Żarska B., Fornal-Pieniak B., Zaraś-Januszkiewicz E. 2016. Areas designated for afforestation and areas excluded from afforestation – selected aspects related to the protection of the landscape in view of Poland experience. *Ecological Questions* 22: 17-22.