

PAWEŁ PIEŃKOWSKI

Ocena fragmentacji lasów Pomorza Zachodniego pomiędzy XV a XX wiekiem

Evaluation of the forest cover fragmentation in Western Pomerania between the 15th and 20th century

ABSTRACT

Pieńkowski P. 2015. Ocena fragmentacji lasów Pomorza Zachodniego pomiędzy XV a XX wiekiem. Sylwan 159 (7): 610-616.

The paper analyzes the changes of forest fragmentation in the Western Pomerania region (NW Poland). The analysis was carried out basing on maps from 16th and 18th century as well as 1930s, when the forest cover in the studied area was the lowest. The historical area of forests was assessed on the basis on Hartnack utilization maps. The analysis of numerical maps was carried out in the GUIDOS program, which enables to evaluate the fragmentation of the forests through Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) that describes the geometry of patches and their interconnectivity. The program calculated the forest areas classified for the seven categories according to their functions in the landscape (MSPA classes). In the 15th century the forests coverage was around 52.5%. There was a significant loss of forest area between the 16th and 18th century, and in the 18th century they occupied 24.7% of the researched area. Because of the economic changes in the country that took place after the World War II, the forest area in Pomerania increased to 33.7%. It was found that changes in the forest area in the examined period resulted in a decrease in the area classified as forest interior (CORE) and an increase in the boundary area (EDGE). Taking into account the equidistant of 1 km², the area occupied by the core patches dropped in the analysed period from 59.9% to 35.6%. At the same time the spatial isolation of many patches increased, which was reflected in an increase in the area classified as 'islands' (ISLET). Their share in relation to the entire forest area increased from 4.4% to 23.6%. This could be particularly seen in the area of Pyrzycko-Stargardzka Plain and Choszczno Lakeland, where in the 1930s the so-called forest islands constituted the entire forest area of these mesoregions. The MSPA analysis enabled to specify forest patches classes, which can be useful for landscape characterization, including the patch and corridor model. The fragmentation of forests can be objectively assessed using GUIDOS and it can make the output results obtained in GIS programs complete.

KEY WORDS

forest fragmentation, land use changes, landscape metrics

ADDRESSES

Paweł Pieńkowski – e-mail: p.pienkowski@zut.edu.pl

Katedra Ekologii, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny; ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin

Wstęp

Zjawisko fragmentacji pokrycia terenu uważa się za kluczowe dla zrozumienia przemian krajobrazu [Urban i in. 1987; Coulson i in. 1999], a poznanie jego kierunków i dynamiki jest jednym z elementów zarządzania ekosystemami leśnymi [Günay i in. 2008]. Od historycznych czasów przyczynami wylesień i związanej z nimi fragmentacji były zarówno czynniki naturalne (pożary i zmiany klimatu) [Sahney i in. 2010], jak i antropogeniczne, polegające głównie na przejmowaniu terenów leśnych pod uprawy rolne [Burgess, Sharpe 1981; Lausch, Herzog 2002]. Na Pomorzu Zachodnim wraz z rozwojem rolnictwa i rozszerzającym się osadnictwem następował przyrost areалу ziemi uprawnej i kurczenie się oraz fragmentacja powierzchni leśnych. Z pierwotnego, dość monotonnego krajobrazu wytworzył się urozmaicony krajobraz kulturowy, w którym obok pól, łąk i pastwisk pozostały skupienia naturalnej roślinności leśnej [Kornaś 1972]. Zmiany w intensywności użytkowania tego obszaru zależały przede wszystkim od rodzaju gleby i ukształtowania terenu, co widać najwyraźniej w odniesieniu do lasów, których największe kompleksy pozostały w krajobrazie postglacjalnym na piaszczystych równinach terasowych, sandrach i morenach czołowych [Pieńkowski, Podlasiński 2002]. Pomiędzy XIV a XVI wiekiem lasy zajmowały około 66% byłego województwa szczecińskiego. Okres pomiędzy XVI a XVIII wiekiem charakteryzował się znacznym ubytkiem lasów. Na obszarze przedstawionym w pracy zajmowały one tylko 24,7%. Po II wojnie światowej, na skutek zamian gospodarczych w kraju, na Pobrzeżu Szczecińskim nastąpił wzrost powierzchni leśnych i obecnie na badanym obszarze lesistość wynosi 33,7%.

Ocenę procesu podziału siedlisk umożliwiającą coraz częściej stosowane techniki teledetekcyjne, programy GIS i wyspecjalizowane programy komputerowe [Roseberry, Hao 1995]. Narzędzia te znalazły szerokie zastosowanie przy analizie fragmentacji powierzchni leśnych [Ripple i in. 1991; Spies i in. 1994; Shinneman 1996; Fuller 2001; Roy i in. 2002; Jha i in. 2005]. W pracy przeprowadzono ocenę fragmentacji lasów, uwzględniając geometrię płatów i ich wzajemną łączność. Analizę zmian lesistości przeprowadzono na mapach z XV wieku, z XVIII wieku i z pierwszej połowy XX wieku. Stan z XX wieku dotyczy lat 30., kiedy lesistość na obszarze Pomorza Zachodniego była najniższa.

Materiał i metody

Powierzchnie lasów w poszczególnych okresach historycznych oszacowano na podstawie map użytkowania Hartnacka [1934] wykonanych w skali 1:1 500 000. Mapy te opracowano m.in. na podstawie map Lubinusa z 1618, Zierholda z 1789 i Engelharda z 1811 roku, natomiast użytkowanie w 1930 roku w oparciu o mapę Rzeszy Niemieckiej w skali 1:100 000. Analizę lesistości przeprowadzono dla fragmentu pruskiej Prowincji Pomorze (niem. Provinz Pommern), który w obecnych granicach woj. zachodniopomorskiego obejmuje 17 760 km². Podział obszaru na mezo-regiony oparto na regionalizacji fizyczno-geograficznej Polski [Kondracki 2000]. Analogowe materiały kartograficzne zarejestrowano w programie ArcInfo w układzie WGS 84, a następnie wykonano digitalizację konturów lasów.

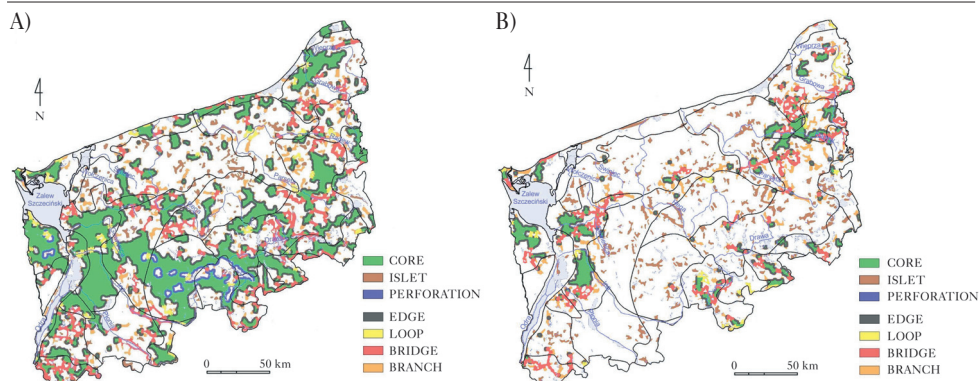
Ocenę fragmentacji powierzchni lasów w poszczególnych okresach przeprowadzono w programie GUIDOS (<http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos/>) [Soille, Vogt 2009; Vogt 2009]. W programie tym wykonano analizę fragmentacji, ukierunkowaną na opis geometrii płatów i ich wzajemnej łączności (Morphological Spatial Pattern Analysis; MSPA). GUIDOS służy do analizy danych rastrowych o różnym stopniu szczegółowości i wykorzystywany był również do oceny zalesienia na poziomie kontynentalnym. Ze względu na niski stopień szczegółowości

wykorzystanych map Hartnacka ustalono przy obliczeniach wielkość rastra na 100×100 m i przyjęto ekwidystantę o rozmiarze 1000 m. W programie wyliczono powierzchnię lasów zakwalifikowanych do siedmiu kategorii ze względu na ich funkcje pełnione w krajobrazie. Obliczono powierzchnię: wnętrza płatów (CORE), wewnętrznych stref buforowych przeprowadzonych od zewnętrznych granic płata (EDGE), stref buforowych prowadzonych od wewnętrznych granic płata w obrębie bezleśnych gniazd wewnątrz płata (PERFORATION), płatów nieposiadających wnętrza przy zadanej ekwidystancie (ISLET), połączeń pomiędzy płatami (BRIDGE), połączeń wewnątrz bezleśnych gniazd i „zatok” w obrębie płatów (LOOP) oraz odgałęzień płatów (BRANCH).

Wyniki i dyskusja

Na wybranym obszarze, według map Hartnacka, łączna powierzchnia lasów w XV wieku wynosiła 9060 km² (52,5% obszaru). Zwarte kompleksy leśne występowały w rejonie obniżen i równin akumulacji wodnej, zwłaszcza w obrębie Równiny Wkrzańskiej i Goleniowskiej. Nieco mniejszy odsetek stanowiły lasy na młodoglacjalnych pojeziernych wysoczyznach pagórkowatych, obejmujących m.in. Pojezierze Ińskie, Drawskie i Bytowskie. Do XV wieku wylesieniu uległ obszar Zastoiska Pyrzyckiego wchodzącego w skład Równiny Pyrzycko-Stargardzkiej, a także obszary młodoglacjalnych wysoczyzn morenowych, w tym Równina Gryficka, Białogardzka i Nowogardzka. Okres pomiędzy XV a XVIII wiekiem charakteryzował się znacznym ubytkiem lasów – ich powierzchnia obniżyła się wówczas do 24,0%. W latach 30. XX wieku powierzchnia lasów na Pomorzu była najniższa (również w porównaniu z okresem obecnym) i w obrębie badanego obszaru wynosiła zaledwie 22,9%.

Zróznicowanie płatów leśnych w zależności od ich potencjalnych funkcji pełnionych w krajobrazie dla dwóch skrajnych okresów przedstawiono na rycinie 1. Na mapach, oprócz widocznego ubytku powierzchni leśnej, uwidoczniają się również zmiany udziału poszczególnych kategorii płatów. Ich zestawienie przy uwzględnieniu dwóch dodatkowych ekwidystant przedstawiono w tabeli 1. Można zauważyć, że spadek lesistości powodował znaczne obniżenie udziału powierzchni zakwalifikowanej jako wnętrza (CORE) i wzrost powierzchni brzegowych (EDGE). Przy uwzględnieniu ekwidystanty 1 km² powierzchnia zajmowana przez wnętrza płatów spadła z 38,0% (XV wiek) do 14,1% (XX wiek). W XX wieku najwyższym udziałem wnętrza płatów (CORE) charakteryzowały się te mezoregiony, gdzie zachowały się większe, zwarte płaty leśne. Miało to miejsce zwłaszcza w obrębie Równiny Wkrzańskiej (40,7%) i Goleniowskiej (32,1%).



Ryc. 1.

Obszary pokryte lasem w XV (A) i XX (B) wieku z uwzględnieniem klas MSPA
Forest cover in the 15th (A) and 20th (B) century considering the MSPA classes

Tabela 1.

Zmiana udziału [%] powierzchni płatów leśnych o różnej funkcji pełnionej w krajobrazie w XV, XVIII i XX wieku w zależności od zastosowanego bufora

Change in the aerial share [%] of the forest patches of various function in the landscape in 15th, 18th and 20th century in relation to the applied buffer

Bufor Buffer	Okres Time	CORE	EDGE	ISLET	BRANCH	BRIDGE	LOOP	PERFORATION
100 m	XV	90,1	8,2	0,0	0,1	0,1	0,1	1,5
	XVIII	84,5	14,5	0,0	0,3	0,2	0,2	0,7
	XX	82,4	16,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,9
500 m	XV	59,9	27,1	0,8	4,1	4,1	0,9	3,1
	XVIII	41,8	36,9	2,1	10,6	7,3	0,9	0,5
	XX	35,6	39,2	5,4	10,8	8,0	0,8	0,3
1000 m	XV	38,0	28,1	4,4	10,1	13,6	3,4	2,4
	XVIII	20,4	28,4	18,8	17,8	11,5	3,1	0,0
	XX	14,1	20,0	23,6	17,0	19,8	3,5	0,0

Postępujący spadek lesistości i związana z nim fragmentacja doprowadziły do izolacji przestrzennej wielu płatów i zwiększenia się udziału powierzchni zakwalifikowanych do kategorii „wysp” (ISLET). Ich udział w odniesieniu do całej powierzchni zajmowanej przez lasy wzrósł z 4,4% w XV wieku do 23,6% w pierwszej połowie XX wieku. Proces ten miał miejsce zwłaszcza na obszarze Równiny Pyrzycko-Stargardzkiej i Pojezierza Choszczeńskiego, gdzie wyspy leśne obejmowały w latach 30. XX wieku całość powierzchni leśnej tych mezoregionów (tab. 2). Stosunkowo wysokim udziałem wysp leśnych charakteryzowały się również obszary Wybrzeża Trzebiatowskiego, Pojezierza Ińskiego i Wysoczyzny Łobeskiej. W tych ostatnich mezoregionach powierzchnie lasów zakwalifikowane jako wnętrze (CORE) i brzeg (EDGE) stanowiły znikomą odsetek lasów. Na Wybrzeżu Słowińskim wnętrza płatów (CORE) stanowiły zaledwie 0,3%, a brzegi płatów (EDGE) – 4,4%.

W pierwszej połowie XX wieku znacząco wzrósł udział powierzchni leśnych należących do kategorii płatów (BRIDGE). Ich udział w pierwszej połowie XX wieku w obrębie całego obszaru badań wynosił 19,8%. Najwyższy udział tych płatów (61,6%) wystąpił we fragmencie Pojezierza Myśliborskiego, gdzie układ lasów związany był z łobowym kształtem form wynikających z deglacji lodowca [Pieńkowski 2008].

Program GUIDOS umożliwia również wyznaczenie dużych, jednorodnych płatów leśnych oraz obliczenie odległości między nimi. Ocenę znaczenia wyodrębnionych w programie połączeń pomiędzy płatami można przeprowadzić, wyliczając ponadto wyrażony w procentach tzw. wskaźnik wagi połączeń (ang. Components Connectors Importance). Chociaż uzyskane wyniki zależą od skali oraz dokładności użytych map, to znajdują one jednak zastosowanie przy porównywaniu różnych obszarów na jednorodnych materiałach kartograficznych, a także w ocenie czasowej dynamiki fragmentacji, co obszernie zaprezentowano w odniesieniu do lasów Europy [Estreguil i in. 2013] i USA [Wickham i in. 2010].

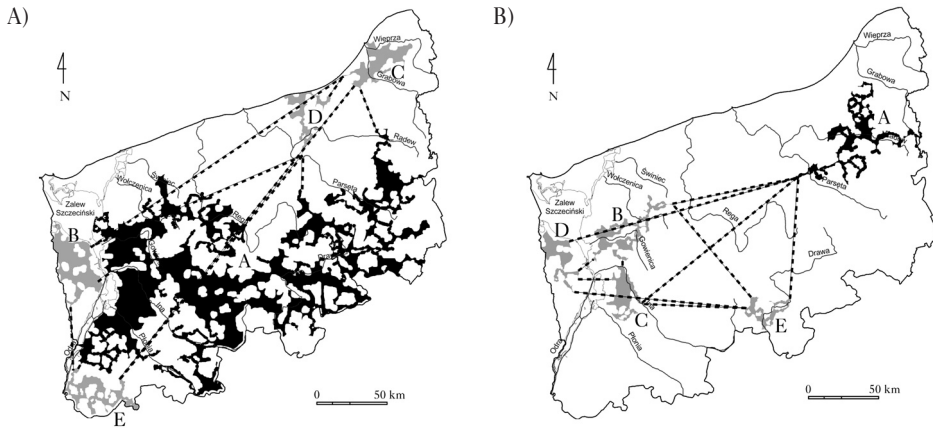
Wyniki analiz przeprowadzonych na mapach numerycznych z trzech okresów potwierdzają postępujący proces fragmentacji lasów, w tym przerwanie połączeń pomiędzy dużymi ich kompleksami. W XV wieku największy kompleks leśny o powierzchni 3719,6 km² (ryc. 2) obejmował młodogłacjalne pojezierne wysoczyzny pagórkowate wraz z dolinami akumulacji wodnej należącymi do Równiny Goleniowskiej, natomiast w XX wieku największy z wyliczonych płatów (A) znajdował się we wschodniej części obszaru i zajmował powierzchnię 321,8 km².

Tabela 2.

Zmiana udziału [%] powierzchni płatów leśnych o różnej funkcji pełnionej w krajobrazie w XV, XVIII i XX wieku w poszczególnych mezoregionach

Change in the aerial share [%] of the forest patches of various function in the landscape in 15th, 18th and 20th century in relation to the applied buffer

Mezoregion Mesoregion Kondracki [2000]	Okres Time	CORE	EDGE	ISLET	BRANCH	BRIDGE	LOOP	PERFORATION
Wybrzeże Trzebiatowskie	XV	26,2	34,5	7,9	13,3	8,7	9,5	0,0
Trzebiatowskie Coast	XVIII	5,3	20,5	63,1	11,1	0,0	0,0	0,0
(313.22)	XX	0,7	13,3	79,4	3,1	3,5	0,0	0,0
Równina Wkrzańska	XV	58,1	19,4	0,0	3,6	0,8	9,4	8,8
Wkrzańska Plain	XVIII	42,6	26,9	0,0	5,9	16,7	8,0	0,0
(313.23)	XX	40,7	34,0	0,3	4,1	13,0	7,8	0,0
Równina Goleniowska	XV	69,0	18,7	1,4	2,1	5,9	2,9	0,0
Goleniów Plain	XVIII	49,2	33,3	3,7	8,3	2,5	3,0	0,0
(313.25)	XX	32,1	25,2	2,6	12,8	25,7	1,5	0,0
Równina Wełtyńska	XV	25,2	33,5	1,1	8,2	31,3	0,8	0,0
Wełtyń Plain	XVIII	3,0	20,4	16,1	18,5	32,1	9,9	0,0
(313.28)	XX	0,7	18,8	36,8	23,5	16,1	4,0	0,0
Równina Pyrzycko- -Stargardzka	XV	16,9	33,2	4,1	15,1	30,4	0,3	0,0
Przyrzyce-Stargard	XVIII	0,7	24,9	34,0	40,4	0,0	0,0	0,0
Plain (313.31)	XX	0,0	0,0	99,2	0,8	0,0	0,0	0,0
Równina Nowogardzka	XV	45,2	24,9	4,9	10,1	11,1	2,6	1,3
Nowogard Plain	XVIII	15,2	30,8	24,7	20,4	8,8	0,1	0,0
(313.32)	XX	2,3	15,9	57,0	24,3	0,5	0,0	0,0
Równina Gryficka	XV	15,1	33,6	21,2	20,2	9,2	0,8	0,0
Gryfice Plain	XVIII	1,5	17,9	46,9	32,7	1,1	0,0	0,0
(313.33)	XX	3,1	16,8	43,7	26,0	10,2	0,3	0,0
Wybrzeże Słowińskie	XV	46,7	27,2	0,0	9,5	11,6	5,0	0,0
Słowińskie Coast	XVIII	12,3	19,2	44,5	3,7	4,0	16,3	0,0
(313.41)	XX	0,3	4,4	41,7	27,4	6,5	19,7	0,0
Pojezierze Mysliborskie	XV	22,3	22,0	5,2	3,5	46,9	0,0	0,0
Myslibórz Lakeland	XVIII	9,0	10,4	6,0	4,8	67,3	2,4	0,0
(314.41)	XX	2,6	7,0	6,0	22,8	61,6	0,0	0,0
Pojezierze Choszczeńskie	XV	35,3	37,1	0,0	7,8	10,4	9,3	0,0
Choszczno Lakeland	XVIII	10,3	19,3	2,9	41,0	0,0	26,5	0,0
(314.42)	XX	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pojezierze Ińskie	XV	61,1	17,0	0,7	3,3	3,8	2,6	11,5
Ińsko Lakeland	XVIII	17,2	32,0	34,4	16,4	0,0	0,0	0,0
(314.43)	XX	0,5	6,5	79,2	7,9	6,0	0,0	0,0
Wysoczyzna Łobeska	XV	27,9	35,5	7,6	13,4	15,6	0,0	0,0
Łobez Height	XVIII	18,8	25,6	35,0	11,2	4,3	5,1	0,0
(314.44)	XX	0,5	5,2	69,8	15,3	3,4	5,9	0,0
Równina Drawska	XV	35,1	20,7	1,1	8,1	13,6	1,7	19,6
Drawsko Plain	XVIII	13,9	41,2	8,2	17,5	14,3	4,9	0,0
(314.65)	XX	18,0	20,5	6,2	12,1	26,6	16,6	0,0



Ryc. 2.

Największe (czarny) i pozostałe (szary) płyty leśne w XV (A) i XX (B) wieku wraz z najkrótszymi łączącymi je odcinkami (linia przerywana)

The largest (black) and other (grey) patches of forest in the 15th (A) and 20th (B) century along with connecting paths (dashed line)

Podsumowanie

Na badanym obszarze Pomorza Zachodniego nastąpił znaczny spadek lesistości – z 51% w XV wieku do 22% w latach 30. XX wieku. Zmniejszenie się powierzchni lasów związane było z fragmentacją płatów leśnych, których przestrzenną ocenę umożliwiła analiza MSPA, określająca m.in. geometrię płatów, ich wzajemną łączność, a także przypisująca płatom leśnym potencjalne funkcje pełnione w krajobrazie. Stwierdzono, że zmiany powierzchni leśnej w badanych latach spowodowały spadek udziału powierzchni zakwalifikowanej jako wnętrze lasu (CORE) i wzrost jego powierzchni brzegowych (EDGE). Przy uwzględnieniu ekwidystanty 1 km² powierzchnia zajmowana przez wnętrza płatów spadła z 59,9% (XV wiek) do 35,6% (XX wiek). Równocześnie zwiększyła się izolacja przestrzenna wielu płatów, co miało odbicie we wzroście udziału powierzchni zakwalifikowanych do kategorii „wysp” (ISLET). Ich udział w odniesieniu do całej powierzchni zajmowanej przez lasy wzrósł z 4,4% w XV wieku do 23,6% w pierwszej połowie XX wieku. Proces ten miał miejsce zwłaszcza na obszarze Równiny Pyrzycko-Stargardzkiej i Pojezierza Choszczeńskiego, gdzie wyspy leśne stanowiły w latach 30. XX wieku całość powierzchni leśnej tych mezoregionów. Fragmentacja lasów wiązała się również z przerwaniem połączeń pomiędzy dużymi kompleksami leśnymi.

Zaprezentowana analiza MSPA umożliwiła wydzielenie klas płatów leśnych, co może być pomocne przy waloryzacji krajobrazu i optymalizacji działań mających na celu poprawę struktury przestrzennej lasu. Dzięki programowi GUIDOS można zobiektywizować ocenę fragmentacji i uzupełnić wyniki uzyskane w programach GIS.

Literatura

- Burgess R., Sharpe D. 1981. Forest Island Dynamics in Man-Dominated Landscapes. Springer Verlag, New York.
- Coulson R., Saarenmaa H., Daugherty W., Rykiel E., Saunders M., Fitzgerald J. 1999. A knowledge system environment for ecosystem management. W: Klopatek J., Gardner R. [red.]. Landscape Ecological Analysis – Issues and Applications. Springer, New York.
- Estreguil C., Caudullo G., de Rigo D., San Miguel J. 2013. Forest Landscape: Pattern, Fragmentation and Connectivity. JRC Scientific and Policy Reports. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- Fuller O. 2001. Forest fragmentation in Loudoun County, Virginia, USA evaluated with multitemporal Landsat imagery. *Landscape Ecology* 16: 627-642.
- Günay C., Sivrikaya F., Keleş S. 2008. Forest cover change and fragmentation using Landsat data in Maçka State Forest Enterprise in Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 137: 51-66.
- Hartnack W. 1934. *Wirtschafts- und verkehrsgeographischer Atlas von Pommern*. Witt W. [red.]. Ostsee-Druck und -Verlag A.G. Stettin.
- Jha C., Goparaju L., Tripathi A., Gharai B., Raghubanshi A., Singh J. 2005. Forest fragmentation and its impact on species diversity: an analysis using remote sensing and GIS. *Biodiversity and Conservation* 14: 1681-1698.
- Kondracki J. 2000. *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kornaś J. 1972. Wpływ człowieka i jego gospodarki na szatę roślinną Polski. W: Zarzycki K., Szafer W. [red.]. *Szata roślinna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lausch A., Herzog F. 2002. Applicability of landscape metrics for landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators* 2: 3-15.
- Pieńkowski P. 2008. Distribution of small, water-filled depressions as a component of the analysis of icesheet retreat dynamics in young glacial areas. *Landform Analysis* 6: 43-48.
- Pieńkowski P., Podlasiński M. 2002. Changes in forest cover of Szczecin Lowland from the 16th to the end of the 20th century, in relation to soil cover. *EJPAU* 5 (2).
- Ripple W., Bradshaw G., Spies T. 1991. Measuring forest landscape patterns in the Cascade Range of Oregon, USA. *Biological Conservation* 57: 73-88.
- Roseberry J., Hao Q. 1995. *HAMS: Habitat Analysis and Modelling System (Version 1.0) – User's Guide and Reference Manual*. Cooperative Wildlife Research Laboratory: Southern Illinois. University at Carbondale, Illinois.
- Roy P., Dutt C., Joshi P. 2002. Tropical forest resource assessment and monitoring. *Tropical Ecology* 43: 21-37.
- Sahney S., Benton M., Falcon-Lang H. 2010. Rainforest collapse triggered Carboniferous tetrapod diversification in Euramerica. *Geology* 38: 1079-1082.
- Shinneman D. 1996. An analysis of range of natural variability, roads, and timber harvesting in a Black Hills ponderosa pine forest landscape. M. A. Thesis, Univ. of Wyoming, Laramie.
- Soille P., Vogt P. 2009. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters* 30: 456-459.
- Spies T., Ripple W., Bradshaw G. 1994. Dynamics and pattern of a managed coniferous forest landscape in Oregon. *Ecological Applications* 4: 555-568.
- Urban D., O'Neill R., Shugart H. 1987. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience* 37: 119-127.
- Vogt P. 2009. *MSPA-Guidos: Innovative Methods In Landscape Pattern Analysis*. W: Metzger J. P. [red.]. Conference proceedings of the 2009 Latin American IALE conference. Sao Paulo, Brazil.
- Wickham J., Riitters K., Wade T., Vogt P. 2010. A national assessment of green infrastructure and change for the conterminous United States using morphological image processing. *Landscape and Urban Planning* 94: 186-195.