

TOMASZ GAWĘDA, EWA BŁOŃSKA, STANISŁAW MAŁEK, SZYMON BIJAK, MICHAŁ ZASADA

Zastosowanie ITGL w ocenie gleb porolnych z naturalnym odnowieniem brzozy*

Application of ITGL in the assessment of post-agricultural soils with natural regeneration of silver birch

ABSTRACT

Gawęda T., Błońska E., Małek S., Bijak S., Zasada M. 2018. Zastosowanie ITGL w ocenie gleb porolnych z naturalnym odnowieniem brzozy. Sylwan 162 (5): 396-402.

The aim of the study was to apply the forest soil trophic index (ITGL) in the assessment of post-agricultural soil under naturally regenerated silver birch (*Betula pendula* Roth.) stands. The study was conducted in Mazowieckie region (central Poland) in 10 locations (tab. 1). In each location we established 4 study plots with naturally regenerated silver birch of different age. The age of the investigated stands ranged from 2 to 17 years. On each study plot samples from three upper soil horizons (0-5 cm, 5-15 cm and 15-50 cm) were collected for laboratory analysis. The following characteristics were determined in the soil samples: pH, organic carbon (C) and total nitrogen (N) content, particle size and the content of exchangeable base cations (Ca, Mg, Na and K). These soil characteristics were used for ITGL calculation. Chemical properties of soils under silver birch regeneration varied with regard to trees age, whereas physical attributes turned to be rather stable over the time (tab. 2). According to ITGL value investigated soils were classified as eutrophic. It is probably the effect of high base cations content, which is a result of systematic fertilization during the long term agricultural use. The insignificantly different ITGL values for the studied soils (tab. 3) indicated their similarity in terms of site productivity potential and soil-geological characteristics. The soil properties, especially the quality of soil organic matter described with C/N ratio, improved several years after the cessation of agricultural activity and spontaneous afforestation. The obtained results indicate that silver birch can be used in the stand composition on post-agricultural areas.

KEY WORDS

afforestation, soil properties, forest soil trophic index, *Betula pendula*

ADDRESSES

Tomasz Gawęda ⁽¹⁾ – e-mail: tgotomik@poczta.onet.pl
Ewa Błońska ⁽²⁾, Stanisław Małek ⁽³⁾, Szymon Bijak ⁽⁴⁾, Michał Zasada ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Nadleśnictwo Bielsko; ul. Kopytko 13, 43-382 Bielsko-Biała

⁽²⁾ Zakład Gleboznawstwa Leśnego, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

⁽³⁾ Zakład Ekologii Lasu i Rekultywacji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

⁽⁴⁾ Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

*Pracę wykonano w ramach realizacji grantu NCN N N305 400238 „Ekologiczne konsekwencje sukcesji wtórnej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) na gruntach porolnych”.

Wstęp

Trwały i zrównoważony rozwój zasobów leśnych jest związany z rozpoznaniem warunków siedliskowych danego kompleksu leśnego. Zagospodarowanie lasu w Polsce rozpoczyna się od identyfikacji siedlisk. Stabilne elementy siedliska (w tym przede wszystkim środowisko glebowe) wyznaczają jego potencjał produkcyjny i w głównej mierze decydują o jego waloryzacji. W dotychczas stosowanym systemie klasyfikacji siedlisk leśnych [Instrukcja... 2012] typy siedlisk leśnych rozpoznawano na podstawie typu i podtypu gleby, rodzaju skały macierzystej i uziarnienia gleby. Kolejnym elementem brany pod uwagę jest roślinność, ale zdarzają się sytuacje, kiedy skład gatunkowy drzewostanu nie odzwierciedla jakości siedliska, gdyż został antropogenicznie zmieniony (najczęściej zubożony). Czasem bonitacja wzrostowa gatunków nie odpowiada ich bonitacji potencjalnej, gdyż rozwój drzewostanu jest zakłócony przez różne czynniki, jak długotrwałe imisje przemysłowe, gradacje owadów i in. [Lasota, Błońska 2013]. W ostatnich latach pojawiły się próby numerycznej waloryzacji gleb, które sprowadzają dużą liczbę danych do prostych indeksów reprezentujących ich liczne właściwości [Doran, Parkin 1996; Schoenholtz i in. 2000; Brożek i in. 2007]. W praktyce gospodarstwa leśnego w ostatnim czasie znalazł zastosowanie siedliskowy indeks glebowy – SIG [Brożek i in. 2011; Instrukcja... 2012]. Wykorzystanie tego wskaźnika w leśnictwie umożliwia obiektywne diagnozowanie stanu gleby i klasyfikację siedlisk. W siedliskowym indeksie glebowym uwzględnia się właściwości określone w słupie gleby o przekroju 1 m^2 i głębokości 1,5 m. Indeks Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) jest co prawda starszą koncepcją liczbowego wskaźnika żyzności gleb leśnych [Brożek 2001], ale dzięki innej konstrukcji pozwala ocenić zasobność wybranych poziomów genetycznych, w których zostały oznaczone właściwości chemiczne. Zaletą ITGL jest obliczanie wskaźników w poszczególnych poziomach genetycznych i końcowe ważenie ich miąższością poziomów. W przypadku SIG dokonuje się analizy całego pedonu do głębokości 150 cm. Używane w ocenie jakości gleb wskaźniki SIG i ITGL uwzględniają nieco inne właściwości gleb, co pozwala na ich wykorzystanie w analizie różnych baz danych.

Dla leśników ważne jest określenie pełnego potencjału produkcyjnego przeznaczonych do zalesień gleb porolnych. Możliwe jest to w oparciu o rozpoznanie gleboznawcze uwzględniające właściwości gleb istotne dla gospodarki leśnej [Wanic, Błońska 2011]. Przy ocenie gleb porolnych należy pamiętać o cechach, które odróżniają je od gleb leśnych. Gleby porolne wykazują niższą kwasowość oraz niski stosunek węgla do azotu ($C/N < 12$), obecność wykształconej wskutek mechanicznej uprawy podeszwy płużnej – warstwy o zwiększonej gęstości objętościowej ($> 1,9 \text{ g/cm}^3$) – oraz sporą zawartość związków pokarmowych dla roślin jako pozostałość po systematycznym nawożeniu [Szujewski 1990; Tuszyński 1990; Marcinek, Komisarek 2004].

Celem niniejszych badań była ocena gleb porolnych z naturalnym odnowieniem brzoźowym z zastosowaniem Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL). Na podstawie uzyskanych wartości ITGL ustalono typ siedliskowy lasu, który jest podstawą doboru docelowego składu gatunkowego drzewostanu. Wykorzystując ITGL, oceniono żyzność wierzchniej warstwy gleby do głębokości 50 cm, obejmującej poziomy akumulacji próchnicy oraz poziomy wzbogacania, w których koncentruje się biomasa rozwijających się korzeni drzew. W pracy przeanalizowano zmienność właściwości gleb wykorzystanych do obliczenia ITGL w powiązaniu z wiekiem odnowień brzoźowych.

Materiał i metody

Próbki gleby zostały zebrane z 40 powierzchni badawczych w 10 lokalizacjach na terenie województwa mazowieckiego (tab. 1). Powierzchnie badawcze ze względu na wiek porastających je

Tabela 1.

Lokalizacja i zakres wieku brzezin (Wiek [lata]) na powierzchniach badawczych
Location and the range of silver birch age (Wiek [years]) on the research plots

	GPS	Wiek
Mińsk Mazowiecki	52°10' N, 21°40' E	3-19
Łochów 1	52°33' N, 22°02' E	4-17
Łochów 2	52°34' N, 20°01' E	4-16
Kozienice	51°24' N, 21°26' E	4-13
Dobieszyn 1	51°35' N, 21°10' E	2-13
Dobieszyn 2	51°33' N, 21°09' E	4-12
Siedlce	52°03' N, 21°56' E	4-10
Ostrołęka	53°03' N, 21°29' E	4-14
Kampinoski Park Narodowy 1	52°21' N, 20°43' E	3-12
Kampinoski Park Narodowy 2	52°19' N, 20°40' E	4-12

samosiewów brzoźowych zostały podzielone na cztery grupy: I – od 1 do 4 lat, II – od 5 do 8 lat, III – od 9 do 12 lat i IV – od 13 do 17 lat.

Na każdej powierzchni badawczej pobrano próbki gleby z trzech wierzchnich warstw o głębokości 0-5 cm, 5-15 cm i 15-50 cm. Próbkę tę po wysuszeniu do stanu powietrznie suchego przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W tak przygotowanym materiale oznaczono następujące właściwości fizykochemiczne [Ostrowska i in. 1991]: pH w H₂O metodą potencjometryczną, skład granulometryczny za pomocą dyfrakcji laserowej (Analysette 22, Fritsch, Idar-Oberstein, Niemcy), zawartość azotu i węgla organicznego przy użyciu aparatu LECO z wyliczeniem stosunku C/N oraz zawartość kationów zasadowych w 1M octanie amonu. Do oznaczenia ilości kationów zasadowych wykorzystano aparat Thermo Scientific iCAP 6000 ICP OES.

Do obliczenia Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL) według Brożka [2001] wykorzystano informacje o zawartości frakcji pyłu i części spławialnych, wartość pH, sumę zasadowych kationów wymiennych i wartość C/N odzwierciedlającą warunki i stopień rozkładu materii organicznej dla każdego z badanych poziomów glebowych. Każdą z tych cech opisano za pomocą wskaźnika liczbowego: wskaźnika zawartości frakcji pyłu ($I_{\text{pyłu}}$), części spławialnych (I_{CZS}), sumy zasad wymiennych (I_{kat}), wartości pH (I_{pH}) i stosunku C/N ($I_{\text{C/N}}$). Następnie obliczono średnią ważoną wymienionych wskaźników do głębokości 50 cm, gdzie wagą była miąższość poszczególnych poziomów. Wykorzystaną do obliczeń gęstość objętościową (D) oznaczono w cylindrach Kopeckiego.

Obliczono podstawowe statystyki, tj. średnią arytmetyczną oraz miary określające stopień zróżnicowania wyników (minimum i maksimum). Do oceny wpływu wieku odnowień brzoźowych na badane właściwości gleb użyto testu Kruskala-Wallisa. Analizę składowych głównych (PCA) wykorzystano do interpretacji zależności między badanymi zmiennymi. Analizy statystyczne wykonano w programie Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

Wyniki

Gleby badanych brzezin miały podobne uziarnienie, przeważały piaski słabogliniaste i piaski gliniaste, a najmniejszy udział miały części spławialne (tab. 2). Średnia zawartość pyłu wahała się od 11 do 16%, podczas gdy zawartość części spławialnych mieściła się w przedziale od 5 do 13%. W glebach odnowień I i II grupy wiekowej zanotowano wyższą średnią zawartość kationów zasadowych w porównaniu do gleb starszych brzezin (III i IV grupa wiekowa). Zależność ta dotyczy wszystkich badanych poziomów gleb. Średnia suma kationów w wierzchniej 50-centy-

metrowej warstwie gleb odnowień brzożowych I grupy powierzchni wynosiła 22,12 mg/100 g gleby, II grupy – 17,37 mg/100 g, III grupy – 8,93 mg/100 g, a IV grupy – 8,02 mg/100 g. Odnotowano również różnice w pH badanych gleb. W głąb profilu $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ wzrastało i mieściło się w zakresie od 4,29 do 5,17, co wynika z silniejszego zakwaszenia powierzchniowych poziomów glebowych. Jednocześnie występowała tendencja do obniżenia pH w glebach drzewostanów starszych. Podobna zależność dotyczy sumy zasadowych kationów wymiennych.

Nie zanotowano istotnych różnic w wartościach ITGL pomiędzy glebami drzewostanów zróżnicowanych wiekowo (tab. 3). Nie stwierdzono również istotnych różnic we wskaźniku zawartości frakcji pyłu ($I_{\text{pyłu}}$), części spławalnych (I_{CZS}), sumy kationów zasadowych (I_{kat}) oraz wskaźniku $I_{\text{C/N}}$ pomiędzy badanymi grupami powierzchni. Statystycznie istotne różnice obserwowano jedynie w przypadku wskaźnika wartości pH (I_{pH}) (tab. 3). Średni ITGL w glebach

Tabela 2.

Średni zapas pyłu (pył [%]) i części spławalnych (czs [%]), pH, stosunek C/N, zapas kationów zasadowych (kat [cmol(+)/dm³]) oraz gęstość objętościowa (D [g/cm³]) w wierzchnich poziomach badanych gleb w zależności od grupy wiekowej powierzchni (I-IV)

Average stock of silt (pył [%]) and clay (czs [%]) fractions, reaction (pH), C/N ratio, stock of base cations (kat [cmol(+)/dm³]) and bulk density (D [g/cm³]) in upper horizons of investigated soil depending on the age class (I-IV)

	Głębokość Depth	pył	czs	pH	C/N	kat	D
I	0-5	12	5	4,58	24,7	20,12	1,14
	5-15	11	7	4,67	13,9	21,14	1,23
	15-50	13	9	5,17	31,2	25,11	1,34
II	0-5	15	13	4,45	23,1	13,35	1,12
	5-15	16	12	4,75	16,1	18,38	1,18
	15-50	15	12	5,07	29,4	20,39	1,27
III	0-5	12	7	4,29	16,2	10,44	1,17
	5-15	11	6	4,39	20,1	10,23	1,23
	15-50	11	6	4,79	15,2	6,28	1,37
IV	0-5	13	9	4,65	17,6	8,59	1,13
	5-15	11	7	4,56	15,5	8,04	1,21
	15-50	12	7	4,92	24,6	7,44	1,33

Tabela 3.

Średnia (m) oraz zakres (min-max) wartości wskaźników wykorzystanych do obliczenia ITGL w grupach powierzchni (I-IV)

Mean (m) and range (min-max) of the indices used for ITGL calculation in group of plots (I-IV)

		$I_{\text{pyłu}}$	I_{czs}	I_{pH}	$I_{\text{C/N}}$	I_{kat}	ITGL
I	m	6,5a	4,8a	5,1ab	5,8a	7,9a	30,3a
	min-max	6-7	4-5	3-7	3-8	7-10	23,7-39,2
II	m	6,7a	5,8a	5,1a	5,9a	7,9a	31,9a
	min-max	6-9	4-9	3-7	3-9	7-10	24,1-40,6
III	m	6,4a	4,6a	4,3b	6,0a	7,7a	29,5a
	min-max	6-8	4-8	2-6	3-8	7-10	23,3-34,9
IV	m	6,6a	4,8a	4,9ab	6,2a	8,0a	30,1a
	min-max	6-9	4-9	3-8	3-10	7-10	23,4-38,9

Średnie w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p=0,05$

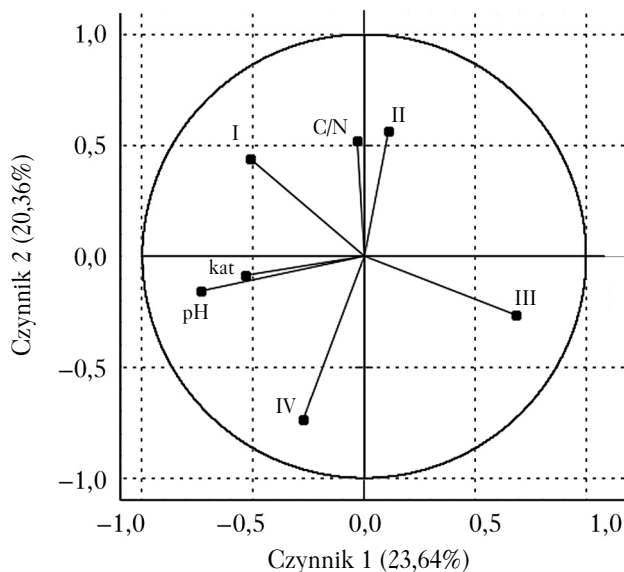
Means in the column indicated with the same letter do not differ significantly at $p=0,05$

poszczególnych grup powierzchni był zbliżony i wynosił od około 29,5 do 31,9, co kwalifikuje badane gleby do grupy gleb eutroficznych. W poszczególnych grupach powierzchni zanotowano zróżnicowanie wartości wskaźnika ITGL, który odpowiadał siedliskom LMśw oraz Lśw.

Wyodrębnione w analizie składowych głównych dwa czynniki sumarycznie wyjaśniają 44,0% wariacji analizowanych właściwości gleb (ryc.). Czynniki 1 wyjaśnia 23,64%, a czynnik 2 – 20,36% ich zmienności. W starszych klasach wieku ulega zmianie jakość glebowej materii organicznej, co jest potwierdzone niższym stosunkiem C/N. Gleby młodszych drzewostanów brzoźowych charakteryzują się wyższym stosunkiem C/N (>20), co świadczy o słabszej jakości glebowej materii organicznej. Stwierdzono również związek zawartości zasadowych kationów wymiennych w glebach z wiekiem drzewostanów brzoźowych. Pod młodszymi drzewostanami odnotowano więcej kationów zasadowych.

Dyskusja

Pomiar właściwości fizykochemicznych w glebach porolnych jest pierwszym etapem ich oceny. W niniejszej pracy wykorzystano do tego celu zaproponowany przez Brożka [2001] Indeks Trofizmu Gleb Leśnych (ITGL). Według ITGL badane gleby zostały w większości zaklasyfikowane do grupy gleb eutroficznych, utożsamianych z potencjalnym typem siedliskowym lasu świeżego (Lśw). Pozostała, mniejsza część powierzchni została zaklasyfikowana jako las mieszany świeży (LMśw). Wysoka ocena żyzności badanych gleb wynika głównie z dużej zawartości kationów zasadowych, co jest pozostałością po systematycznym nawożeniu gleb rolniczych, które przyczynia się do akumulacji składników pokarmowych w powierzchniowych poziomach gleb [Schrijver i in. 2012].



Ryc.

Projekcja właściwości gleb (pH, C/N i suma kationów zasadowych – kat) i grup powierzchni odnowień brzoźowych zróżnicowanych wiekowo (I – od 1 do 4 lat, II – od 5 do 8 lat, III – od 9 do 12 lat i IV – od 13 do 17 lat) na płaszczyznę czynnika pierwszego i drugiego w PCA

Projection of soil attributes (pH, C/N and sum of base cations – kat) and group of silver birch regeneration plots in different age (I – from 1 to 4 years, II – from 5 to 8 years, III – from 9 to 12 years and IV – from 13 to 17 years) on a plane of the first and second factors in PCA

Zbliżone wartości ITGL dla badanych gleb świadczą o ich podobieństwie pod względem potencjału siedliskowego. Z kolei różnice we właściwościach powierzchniowych poziomów akumulacji próchnicy wskazują na wpływ zróżnicowanych wiekowo odnowień brzozowych. Obniżenie pH w poziomach próchniczno-mineralnych wprost proporcjonalne do okresu oddziaływania odnowienia brzozowego można tłumaczyć zakwaszającym wpływem dostarczanej do gleby materii organicznej. Wpływ tej substancji na powolne zakwaszenie odzwierciedlony został w sumie zasadowych kationów wymiennych, która systematycznie obniża się wraz z czasem oddziaływania badanych brzezin na gleby. Brandtberg i in. [2000], Hansson i in. [2011] oraz Lindroos i in. [2011] stwierdzili zakwaszający wpływ brzozy na wierzchnie poziomy gleb, chociaż słabszy w porównaniu do świerka i sosny. Do podobnych wniosków doszli Hagen-Thorn i in. [2004] oraz Schua i in. [2015].

Uzyskane wyniki dowodzą, że wraz z okresem oddziaływania odnowień brzozowych uległa zmianie jakość glebowej materii organicznej. Wyższy stosunek C/N w poziomach próchnicznych gleb młodszych odnowień w porównaniu do gleb starszych drzewostanów wskazuje na obecność słabiej rozłożonej (surowej) glebowej materii organicznej. Przepuszczalnie w pierwszym okresie po zalesieniu gruntów porolnych kształtuje się równowaga mikrobiologiczna w poziomach próchnicznych tych gleb [Januszek, Błońska 2016]. Można wnioskować, że w pierwszym okresie brak odpowiedniej, właściwej dla środowiska leśnego mikroflory sprawia, że dostarczona do gleby materia organiczna rozkłada się wolniej. Gleby pod starszymi odnowieniami brzozowymi w III i IV grupie powierzchni charakteryzowały się korzystniejszymi warunkami do rozkładu glebowej materii organicznej. Świadczy to o tym, że w ciągu kilkunastu lat po zalesieniu poprawia się istotnie jakość mikroflory, co przekłada się bezpośrednio na tempo rozkładu glebowej materii organicznej. Uzyskane wartości stosunku C/N dla badanych odnowień brzozowych są porównywalne z wartościami podawanymi dla 40-letnich drzewostanów tego gatunku rosnących na glebach porolnych [Hagen-Thorn i in. 2004].

Prezentowane w niniejszej pracy oraz w dostępnej literaturze wyniki wskazują, że brzoza może być wykorzystywana w składzie gatunkowym upraw na gruntach porolnych. Gatunek ten ma korzystny wpływ na ilość mikroorganizmów glebowych oraz mikrobiologiczną biomasę węgla i azotu [Smolander, Kitunen 2011]. Brzoza uważana jest za gatunek pionierski, poprawiający właściwości gleb i przyspieszający przekształcanie gleb porolnych w gleby leśne [Kanerva, Smolander 2007]. Na ocenianych powierzchniach potencjalnym typem siedliskowym lasu był głównie Lśw, dla którego celem hodowlanym jest drzewostan liściasty z dominacją dębów. Według klasyfikacji florystycznej na takich siedliskach potencjalnym zespołem leśnym jest grąd subkontynentalny. W przyszłości drzewostany przedplonowe należy przebudowywać w kierunku składu gatunkowego właściwego dla celu hodowlanego.

Wnioski

- ✦ Zastosowana waloryzacja z użyciem ITGL pozwoliła ocenić najważniejsze komponenty badanych gleb porolnych pod różnowiekowymi drzewostanami brzozowymi z samosiewu oraz ustalić potencjalny typ siedliskowy lasu. Dominującym TSL był las świeży.
- ✦ Dobór odpowiedniej chronosekwencji powierzchni badawczych oraz analiza parametrów uwzględnionych w konstrukcji ITGL pozwoliły uchwycić zmiany zachodzące w glebach pod wpływem drzewostanów brzozowych zasiedlających tereny po długotrwałej uprawie rolniczej.
- ✦ Tendencje zmian we właściwościach poziomów próchnicznych pod drzewostanami brzozowymi w różnym wieku wskazują na ich korzystne oddziaływanie na środowisko glebowe.
- ✦ Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość wykorzystania brzozy jako gatunku pionierskiego przy zalesianiu gruntów porolnych.

Literatura

- Brandtberg P. O., Lundkvist H., Bengtsson J. 2000. Changes in forest-floor chemistry caused by a birch admixture in Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 130: 253-264.
- Brożek S. 2001. Indeks Trofizmu Gleb Leśnych. *Acta Agraria et Silvestria* 39: 17-33.
- Brożek S., Zwydak M., Lasota J., Różański W. 2011. Założenia metodyczne badań związków między glebą a zespołami roślinnymi w lasach. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 62 (4): 16-38.
- Brożek S., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Lasota J. 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylwan* 151 (2): 26-34.
- Doran J. W., Parkin T. B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. W: Doran J. W., Jones A. J. [red.]. *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication. 25-37.
- Hagen-Thorn A., Callesen I., Armolaitis K., Nihlgård B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management* 195: 373-384.
- Hansson K., Olsson B. A., Olsson M., Johansson U., Kleja D. B. 2011. Differences in soil properties in adjacent stands of Scots pine, Norway spruce and silver birch in SW Sweden. *Forest Ecology and Management* 262 (3): 522-530.
- Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych. 2012. CILP, Warszawa.
- Januszek K., Błońska E. 2016. Właściwości biologiczne gleb w lasach na gruntach porolnych, popastwiskowych oraz połąkowych. W: Zielony R. [red.]. *Siedliska leśne zmienione i zniekształcone*. CILP, Warszawa.
- Kanerva S., Smolander A. 2007. Microbial activities in forest floor layers under silver birch, Norway spruce and Scots pine. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 1459-1467.
- Lasota J., Błońska E. 2013. *Siedliskoznawstwo leśne na nizinach i wyżynach Polski*. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Lindroos A. J., Derome J., Derom K., Smolander A. 2011. The effect of Scots pine, Norway spruce and Silver birch on the chemical composition of stands throughfall and upper soil percolation water in northern Finland. *Boreal Environment Research* 16: 240-250.
- Marcinek J., Komisarek J. 2004. Antropogeniczne przekształcenia gleb Pojezierza Poznańskiego na skutek intensywnego użytkowania rolniczego. AR Poznań.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubińska Z. 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Schoenholtz S. H., van Miegroet H., Burger J. A. 2000. A review of physical and chemical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138: 335-356.
- Schrijver A. D., Vesterdal L., Hansen K., De Frenne P., Augusto L., Achat D. L., Staelens J., Baeten L., De Keersmaecker L., De Neve S., Verheyen K. 2012. Four decades of post-agricultural forest development have caused major redistributions of soil phosphorus fractions. *Oecologia* 169: 221-234.
- Schua K., Wende S., Wagner S., Feger K.-H. 2015. Soil Chemical and Microbial Properties in a Mixed Stand of Spruce and Birch in the Ore Mountains (Germany) – A Case Study. *Forests* 6: 1949-1965.
- Smolander A., Kitunen V. 2011. Comparison of tree species effects on microbial C and N transformations and dissolved organic matter properties in the organic layer of boreal forests. *Applied Soil Ecology* 49: 224-233.
- Szujewski A. 1990. Ekologiczne aspekty odtwarzania ekosystemów leśnych na gruntach porolnych. *Sylwan* 134 (3): 23-40.
- Tuszyński M. 1990. Właściwości gleb porolnych a gospodarka leśna. *Sylwan* 134 (3): 41-49.
- Wanic T., Błońska E. 2011. Zastosowanie metody SIG w ocenie przydatności terenów porolnych do hodowli lasu. *Roczniki Gleboznawcze* 62 (4): 173-181.