

Zróznicowanie flory roślin naczyniowych runa pod drzewostanami powstałymi w wyniku rekultywacji zwałowiska pokopalnianego

Andrzej M. Jagodziński, Marcin K. Dyderski, Anna K. Gdula, Mateusz Rawlik, Marek Kasprówicz

Abstrakt. W rekultywacji leśnej gruntów przemysłowych podstawowe znaczenie w kształtowaniu się fitocenozy ma dobór składu gatunkowego drzewostanów. Celem pracy było porównanie flory roślin naczyniowych runa pod drzewostanami pięciu głównych gatunków użytych w rekultywacji. Badaniem objęto teren zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego w Belchatowie. Prace prowadzono w litych drzewostanach sosny zwyczajnej, brzozy brodawkowatej, olszy czarnej, robinii akacjowej oraz dębu czerwonego. Założono 408 powierzchni badawczych (0,01 ha), na których wykonywano spisy florystyczne. Najwięcej gatunków stwierdzono pod drzewostanami sosnowymi oraz robinowymi, a najmniej – dębu czerwonego. We florze dominują gatunki rodzime (80%), a udział gatunków obcych wynosi od 13,6% pod drzewostanami sosnowymi do 25,8% pod drzewostanami robinowymi. Największy udział we florze miały hemikryptofity (106 gatunków), fanerofity (59) oraz terofity (40). Najliczniej występowały gatunki klas *Artemisietea* i *Molinio-Arrhenatheretea*, a także gatunki o nieokreślonej przynależności fitosocjologicznej. Pomiędzy badanymi grupami powierzchni stwierdzono statystycznie istotne różnice w średniej liczbie gatunków odnotowanych na powierzchni badawczej. Drzewostany gatunków wiążących azot (olszy czarnej oraz robinii) sprzyjają wkraczaniu większej liczby gatunków runa, jednak siedliska pod drzewostanami sosnowymi, na których średnia liczba gatunków była najmniejsza, z uwagi na szeroki zakres zmienności, w skali całego zwałowiska okazały się najbogatsze florystycznie. Uzyskane wyniki wskazują, że różne gatunki drzew wprowadzone na tereny rekultywowane kształtują nowe siedliska i sprzyjają zwiększaniu różnorodności florystycznej.

Słowa kluczowe: flora, zwałowisko, rekultywacja, zalesienia, tereny przemysłowe

Abstract. Differentiation of the flora of herbaceous layer under tree stands established for the reclamation of the lignite mine spoil heap. In the forest reclamation of the post-industrial areas, the most important issue is the choice of species composition of tree stands. The aim of this study was to compare flora of vascular plants in the herbaceous layer under stands of five main tree species used for reclamation. The study was conducted on the spoil heap of the Belchatów Lignite Mine (Central Poland), in pure stands of Scots

pine (*Pinus sylvestris*), common birch (*Betula pendula*), black alder (*Alnus glutinosa*), black locust (*Robinia pseudoacacia*) and northern red oak (*Quercus rubra*). In total, 408 experimental plots (0.01 ha) were established and floristic lists were determined. The highest total number of species was found under Scots pine and black locust stands, the lowest – under northern red oak stands. In the flora of the studied area, native species are dominating (80%) and the share of alien species ranges from 13.6% under Scots pine stands to 25.8% under black locust stands. The most frequent were hemicryptophytes (106 species), phanerophytes (59) and therophytes (40). The most frequent were species representing *Artemisietea* and *Molinio-Arrhenatheretea* classes and without belonging to any phytosociological class. We found statistically significant differences in the mean number of species in experimental plot among the studied stand groups. The stands of nitrogen-fixing species (black alder and black locust) facilitate the entering of more understory species, however habitats under Scots pine stands, where the mean number of species was the lowest, due to wide range of variety, in the scale of whole spoil heap had the highest number of species. These results proved that different species of trees, planted in reclaimed areas, create new habitats and increase the floristic diversity.

Keywords: flora, spoil heap, reclamation, afforestation, post-industrial lands

Wstęp

Jednym z wyzwań ekologii stosowanej jest planowanie rekultywacji terenów poprzemysłowych. Najczęstszym sposobem rekultywacji terenów pokopalnianych jest rekultywacja leśna, która może być prowadzona na dwa sposoby: poprzez zalesienie albo poprzez pozostawienie terenu do naturalnej sukcesji (Rostański 1997, Prach i in. 2001, 2007, 2011, 2013, Singh i in. 2002, Hodačová i Prach 2003, Prach 2003, Pietrzykowski i Krzaklewski 2007).

W przypadku rekultywacji w kierunku leśnym podstawowe znaczenie w kształtowaniu się fitocenozy ma dobór składu gatunkowego drzewostanów. Wpływ drzewostanów na siedlisko polega na modyfikacji warunków świetlnych, a także właściwości fizyko-chemicznych pobieranej, akumulowanej i zwracanej materii nieorganicznej oraz organicznej (Aber i in. 1990, Binkley i Valentine 1991, Binkley i Giardina 1998, Van Breemen i Finzi 1998, Augusto i in. 2003, Reich i in. 2005, Hobbie i in. 2006, 2007, 2010, Dauer i in. 2007).

Modyfikacja właściwości gleby (na przykład zawartości poszczególnych jonów, stosunku C:N, odczynu czy właściwości wodnych) pociągają za sobą zmiany w składzie gatunkowym roślin zielnych i mchów. Augusto i in. (2003), Barbier i in. (2008) oraz Wulf i Naaf (2009) potwierdzają wpływ gatunku w drzewostanie na bogactwo i różnorodność gatunkową warstw zielnego i mszystego runa oraz podszytu. Zmienność ta najlepiej jest wyjaśniana przez odczyn pH, dostępność azotu oraz stosunek C:N.

Celem pracy było porównanie flory roślin naczyniowych runa pod drzewostanami pięciu głównych gatunków użytych w rekultywacji zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego w Belchatowie: *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Quercus rubra* oraz *Robinia pseudoacacia*.

Teren badań

Badaniami objęto teren zalesionego zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego w Belchatowie („Góra Kamieński”), położonego w województwie łódzkim. Powstało ono w latach 1977-1993, przy czym najpierw zalesiono stok północny, następnie stoki wschodni i zachodni, a później stok południowy oraz wierzchoinę zwałowiska (Siciński i Sowa 1986; Goździk i in. 2010). „Góra Kamieński” stanowi najwyższe antropogeniczne wzniesienie na Niżu Środkowoeuropejskim (395 m n.p.m.; Jagodziński i Kałużka 2008; Goździk i in. 2010). Rekultywacja zwałowiska w kierunku leśnym rozpoczęta została w połowie lat 1980-tych. Głównymi gatunkami drzew wprowadzonymi na teren zwałowiska były: *Betula pendula* (ok. 25% powierzchni zwałowiska), *Pinus sylvestris* (20%), *Alnus* spp. (15%), *Robinia pseudoacacia* (12%) oraz *Quercus* spp., *Populus* spp., *Salix* spp., *Acer* spp., *Fraxinus* spp. i *Larix decidua* (Plan Urządzenia Lasu 1997; Jagodziński i in. 2014). Według wieloletnich danych (Łódź, 1971-2000) średnia roczna temperatura wynosiła tam 8,0°C, zaś średnia roczna suma opadów 571 mm, natomiast w latach 2001-2010 średnia roczna temperatura wynosiła 8,6°C, a suma opadów – 601 mm (Mały Rocznik Statystyczny 2013). Dotychczas jedynym opracowaniem geobotanicznym „Góry Kamieński” jest praca Sicińskiego i Sowy (1986), opisująca florę naczyniową zwałowiska.

Metody

Prace prowadzono w litych drzewostanach sosny zwyczajnej, brzozy brodawkowatej, olszy czarnej, robinii akacjowej oraz dębu czerwonego, w wieku od 12 do 28 lat. Spisy florystyczne runa pod badanymi drzewostanami wykonano w lipcu 2013 roku, na 408 powierzchniach badawczych w kształcie kwadratu o wymiarach 10 x 10 m (ryc. 1). Dla poszczególnych powierzchni zestawiono listy florystyczne oraz obliczono średnią liczbę gatunków w ramach poszczególnych typów drzewostanów. Średnią liczbę gatunków w spisach florystycznych porównano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) oraz testu Tukeya. Analiza flory obejmowała następujące aspekty: przynależność gatunków do klas fitosocjologicznych (za Ratyńską i in. 2011), do grup historyczno-geograficznych – w przypadku gatunków rodzimych za Ratyńską i in. (2011), a w przypadku gatunków obcych za Tokarską-Guzik i in. (2012), formy życiowe Raunkiaera (za bazą BioFlor <http://www2.ufz.de/bioflor>) oraz przynależność do grupy gatunków wskaźnikowych starych lasów (wg listy Dzwonko i Loster 2001). Analizy statystyczne przeprowadzono w programie R (R Core Team 2013).



Ryc 1. Lokalizacja powierzchni badawczych na zwalisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego w Belchatowie

Fig 1. Locality of the experimental plots on spoil heap of the Belchatów Lignite Mine

Wyniki

W runie badanych drzewostanów stwierdzono łącznie 230 gatunków roślin naczyniowych. Najwięcej gatunków odnotowano pod drzewostanami sosnowymi (161) oraz robinio-
wymi (136), a najmniej pod dębem czerwonym (72) (tab. 1). Pod drzewostanami olszowymi stwierdzono 101 gatunków, a pod brzozowymi – 133 gatunki roślin naczyniowych. Spośród

230 gatunków występujących pod badanymi drzewostanami, 38 odnotowano na powierzchniach badawczych założonych we wszystkich pięciu typach drzewostanów, z czego osiem (*Calamagrostis epigejos*, *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra*, *Padus serotina*, *Quercus robur*, *Q. rubra*, *Sorbus aucuparia* oraz *Taraxacum officinale*) osiągnęło frekwencję powyżej 10% w listach zbiorczych przygotowanych dla każdego z pięciu typów drzewostanów.

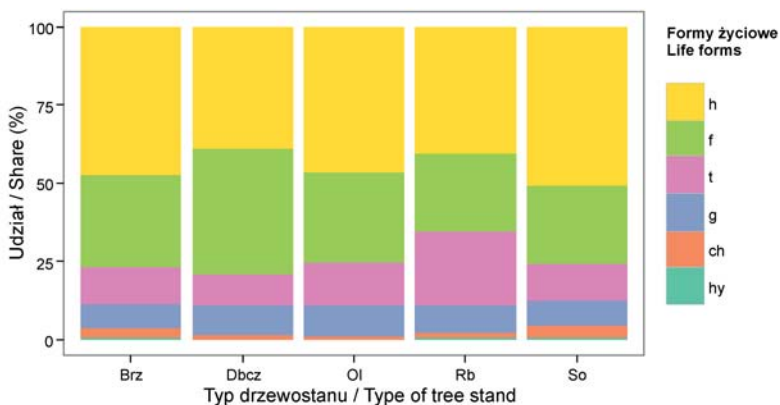
Tab. 1. Porównanie średniej liczby gatunków na powierzchniach badawczych w runie pod drzewostanami na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się od siebie w sposób istotny statystycznie na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji oraz testu Tukeya

Table 1. Comparison of mean species number on experimental plots established in herbaceous layer under tree stands on spoil heap of the Bełchatów Lignite Mine. Values marked with the same letter are not statistically significantly different based on one-way analysis of variance and Tukey's HSD test

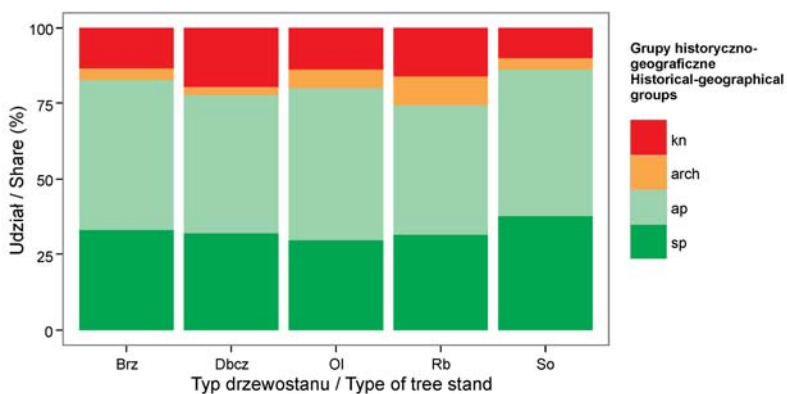
Gatunek / Species	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Quercus rubra</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	
Liczba powierzchni / Number of plots	36	110	169	18	75	
Łączna liczba gatunków / Number of species	101	133	161	72	136	
Liczba gatunków w zdjęciu / Species richness in a relevé	Średnia / Mean	10,22	9,70	9,19	10,11	10,99
	±SE	0,55	0,37	0,31	1,35	0,45
Istotność różnic: / Significance of differences F=2,789; p=0,0262	ab	ab	b	ab	a	

We florze runa pod badanymi drzewostanami największy udział miały hemikryptofity (106 gatunków; 46,1%), następnie fanerofity (59 gatunków; 25,65%) oraz terofity (40 gatunków; 17,4%). Udział geofitów wyniósł 6,95% (16 gatunków), zaś chamefitów – 3% (7 gatunków). Stwierdzono także obecność dwóch gatunków hydrofitów (0,9% flory). Udział hemikryptofitów w runie wahał się od 38,9% pod dębem czerwonym do 50,9% pod sosną zwyczajną, a fanerofitów od 24,8% pod drzewostanami sosnowymi do 40,3% pod drzewostanami dębu czerwonego. Udział terofitów był wyraźnie wyższy pod drzewostanami robinowymi (23,5%) w porównaniu do pozostałych drzewostanów (od 9,7% pod dębem czerwonym do 13,9% pod drzewostanami olszy czarnej) (ryc. 2). Udział geofitów wynosił od 7,5% pod drzewostanami brzożowymi do 9,9% pod drzewostanami olszy czarnej.

We florze runa badanych drzewostanów stwierdzono przewagę gatunków rodzimych (184, w tym 104 gatunki apofitów – 45,2% i 80 spontaneofitów – 34,8%) nad obcymi (46, w tym 33 kenofity – 14,4% i 13 archeofitów – 5,6%). Udział gatunków rodzimych w runie wahał się od 74,3% pod robiną do 86,3% pod sosną; wśród nich przeważały apofity, stanowiące od 42,6% do 50,5% gatunków znajdujących pod drzewostanem określonego gatunku (ryc. 3). Największym udziałem gatunków obcych (25,7%) cechowało się runo pod drzewostanami robinowymi, w których zanotowano również największy udział archeofitów (9,6%), co wyróżnia je na tle pozostałych drzewostanów (od 2,8% pod dębem czerwonym do 5,9% pod olszą czarną). Największym udziałem kenofitów charakteryzowało się runo pod drzewostanami dębu czerwonego (19,4%) i robinii (16,2%).

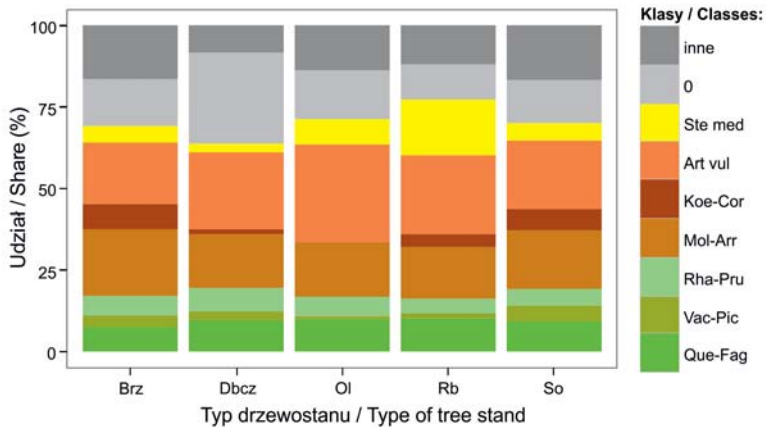


Ryc. 2. Udział form życiowych we florze runa pod badanymi drzewostanami. Skróty: Brz – *Betula pendula*, Dbcz – *Quercus rubra*, Ol – *Alnus glutinosa*, Rb – *Robinia pseudoacacia*, So – *Pinus sylvestris*, h – hemikryptofity, f – fanerofity, t – terofity, g – geofity, ch – chamefity, hy – hydrofity
Fig. 2. The share of life forms in herbaceous layer of tree stands on spoil heaps of the Belchatów Lignite Mine. Abbreviations: Brz – *Betula pendula*, Dbcz – *Quercus rubra*, Ol – *Alnus glutinosa*, Rb – *Robinia pseudoacacia*, So – *Pinus sylvestris*, h – hemikryptofytes, f – phanerophytes, t – therophytes, g – geophytes, ch – chamaephytes, hy – hydrophytes



Ryc. 3. Udział grup historyczno-geograficznych we florze runa pod badanymi drzewostanami. Skróty: sp – spontaneofity, ap – apofity, arch – archeofity, kn – kenofity
Fig. 3. The share of historical-geographical groups in herb layer under tree stands studied on spoil heaps of the Belchatów Lignite Mine. Abbreviations: sp – spontaneophytes, ap – apophytes, arch – archeophytes, kn – kenophytes

We florze runa pod badanymi drzewostanami najliczniej reprezentowane były klasy *Artemisieta vulgaris* (44 gatunki; 19,1%), *Molinio-Arrhenatheretea* (40; 17,4%) oraz gatunki o nieokreślonej przynależności fitosocjologicznej (31; 13,5%). Występowały także gatunki klas *Stellarietea mediae* (24; 10,4%), *Quercu-Fagetea* (21; 9,1%), *Rhamno-Prunetea* (13; 5,6%), *Koelerio-Corynephoretea* (12; 5,2%), *Festuco-Brometea* (10; 4,3%), *Vaccinio-Piceetea* (8; 3,8%), *Trifolio-Geranietea* (7; 3%), *Epilobieteae angustifoliae* (5; 2,2%), *Alnetea glutinosae*, *Calluno-Ulicetea* oraz *Phragmitetea* (po 4; 1,7%), *Quercetea roboris-petraeae* (2; 0,9%) oraz *Salicetea purpureae* (1; 0,4%). Pod wszystkimi badanymi drzewostanami z wyjątkiem brzozowych oraz dębu czerwonego największy udział miały gatunki klasy *Artemisieta vulgaris* (od 21,1% pod drzewostanami sosny zwyczajnej do 29,7% pod drzewostanami olszy czarnej), przy czym udział gatunków rzędu *Convolvuletalia sepium* był wyższy niż rzędu *Ondopordetalia acanthii*. W runie drzewostanów brzozowych największy udział miały gatunki klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (20,3%), a dębu czerwonego – gatunki o szerszej skali fitocenozy (27,8%) (ryc. 4). Większość gatunków budujących runo pod badanymi drzewostanami należało do wymienionych syntaksonów, stanowiąc od 40,6% składu gatunkowego runa pod drzewostanami brzozowymi do 61,1% po drzewostanami dębu czerwonego. Udział gatunków leśnych klasy *Quercu-Fagetea* największy był w runie pod drzewostanami robinowymi (10,3%) i olszy czarnej (9,9%), a najmniejszy pod brzozowymi (7,5%). Udział gatunków borowych klasy *Vaccinio-Piceetea* był niewielki i wahał



Ryc. 4. Udział najliczniej reprezentowanych klas fitosocjologicznych we florze runa pod badanymi drzewostanami. Skrót: Que-Fag – *Quercu-Fagetea*, Vac-Pic – *Vaccinio-Piceetea*, Rha-Pru – *Rhamno-Prunetea*, Mol-Arr – *Molinio-Arrhenatheretea*, Koe-Cor – *Koelerio-Corynephoretea*, Art vul – *Artemisieta vulgaris*, Ste med – *Stellarietea mediae*, 0 – brak przynależności do którejkolwiek klasy, inne – pozostałe klasy

Fig. 4. The share of the most represented phytosociological classes in herbaceous layer of tree stands on spoil heaps of the Belchatów Lignite Mine. Abbreviations: Que-Fag – Quercu-Fagetea, Vac-Pic – Vaccinio-Piceetea, Rha-Pru – Rhamno-Prunetea, Mol-Arr – Molinio-Arrhenatheretea, Koe-Cor – Koelerio-Corynephoretea, Art vul – Artemisieta vulgaris, Ste med – Stellarietea mediae, 0 – species without belonging to any class, inne – other classes

się od 1% pod drzewostanami olszowymi do 5% pod drzewostanami sosnowymi. Flora runa pod drzewostanami robinowymi, zawierająca 16,9% gatunków klasy *Stellarietea mediae*, wyróżniała się od pozostałych grup drzewostanów, w których udział tych roślin wynosił od 2,8% pod drzewostanami dębu czerwonego do 7,9% pod drzewostanami olszy czarnej.

Łącznie we florze runa badanych drzewostanów odnotowano 20 gatunków wskaźnikowych starych lasów wg listy Dzwonko i Loster (2001), z czego najwięcej – 16 – pod drzewostanami sosny zwyczajnej, 11 pod olszą czarną, po 9 pod robiną i brzozą oraz 6 – pod dębem czerwonym.

Pomiędzy powierzchniami założonymi pod drzewostanami różnych gatunków stwierdzono statystycznie istotne ($p < 0,05$) różnice w średniej liczbie gatunków na powierzchni badawczej – największe wartości odnotowano w płatach pod robiną akacjową (od 5 do 25; średnio $12,66 \pm 0,44$), a najmniejsze pod sosną zwyczajną (od 3 do 22; średnio $10,61 \pm 1,02$) (tab. 1). Średnia liczba gatunków notowanych na powierzchniach badawczych pod robiną akacjową różniła się statystycznie istotnie od średniej liczby gatunków pod sosną, natomiast średnia liczba gatunków na powierzchniach badawczych pod olszą czarną, brzozą brodawkowatą oraz dębem czerwonym nie różniła się w sposób istotny statystycznie zarówno od średniej liczby gatunków na powierzchniach pod sosną zwyczajną, jak i od średniej liczby gatunków pod robiną akacjową.

Dyskusja

Liczba gatunków stwierdzonych na badanym terenie (230) jest zbliżona do liczby gatunków notowanych na innych zwałowiskach pokopalnianych. Na przykład na zwałowisku Pątnów-Józwin odnotowano 254 gatunki (Balcerkiewicz i in. 1984), zaś na zwałowiskach „Bielszowice” I i II – odpowiednio 160 i 167 gatunków (Woryna i Rostański 2003). Na rekultywowanych zwałowiskach kopalni Thores i Victoria znaleziono łącznie 228 gatunków roślin naczyniowych (Klimko i in. 2004). Wynika z tego, że badany obiekt pod względem bogactwa gatunkowego nie odbiega od innych, podobnych obiektów.

Spektrum form życiowych roślin występujących pod badanymi drzewostanami świadczy o postępie sukcesji. Udział terofitów zwykle nie przekracza 13%, a tylko pod drzewostanami robinowymi wynosi 23,5%, co jest wartością mniejszą w porównaniu z florami siedlisk antropogenicznych (śmietniska, grunty porolne i przemysłowe, w tym zwałowiska po górnictwie węgla brunatnego) w Czechach (32%; Prach i Pyšek 1999), obiektami przemysłowymi Górnego Śląska (ok. 30%; Rostański 2000) czy zwałowiskiem Pątnów-Józwin (35,8%; Balcerkiewicz i in. 1984). Stosunkowo duży udział terofitów w drzewostanach robinowych może wynikać z wpływu tego gatunku na siedlisko poprzez opad szybko rozkładalnej, bogatej w azot ścioly, co stwarza warunki podobne do siedlisk ruderalnych, które sprzyjają występowaniu ruderalnych terofitów klas *Artemisietea* oraz *Stellarietea mediae* (Ratyńska i in. 2011).

W dużym stopniu na bogactwo florystyczne wpływa wysoki udział fanerofitów (średnio w 29,6%), związany z jednej strony z dużą liczbą gatunków drzewiastych wprowadzonych na zwałowisko (Siciński i Sowa 1986), a z drugiej – ze zdolności do opanowywania nowych siedlisk dzięki ornitochorii (Bartkowiak 1970), która była dominującym sposobem dyspersji większości gatunków drzewiastych występujących na zwałowisku, zarówno wprowadzonych w ramach rekultywacji, jak i wkraczających spontanicznie. Zjawisko zwiększania bogactwa dendroflory na terenach podlegających silnej antropopresji, związanego przede wszystkim z pojawianiem się dużej liczby gatunków obcych, głównie ozdobnych (Richard-

son i Rejmánek 2011) jest podawane na przykład z terenów zurbanizowanych (Knapp i in. 2010; Kowarik i in. 2013, Dyderski i in. 2014), co widoczne jest także na zwałowisku, gdzie poziom antropopresji jest również wysoki.

Pod badanymi drzewostanami, podobnie jak na innych zwałowiskach (Balcerkiewicz i in. 1984, Cabała i Sypień 1987, Rostański 1997, 2000, Cohn i in. 2001, Woryna i Rostański 2003, Klimko i in. 2004, Prach i in. 2011, 2013), stwierdzono przewagę gatunków rodzimych nad obcymi. Mimo niewielkiej frekwencji, niektóre gatunki kenofitów występowały bardzo często (w tym dwa spośród pięciu gatunków tworzących badane drzewostany), co prawdopodobnie jest efektem dużej inicjalnej puli diaspor, która powstała w czasie zalesiania zwałowiska. Prach i Pyšek (1999) oraz Prach i in. (2011, 2013) stwierdzili, że w warunkach obiektów pozostawionych do spontanicznej sukcesji gatunki obce nie osiągają ani wysokiej frekwencji ani wysokich liczebności. Rzadkim przypadkiem inwazji kenofitów stwierdzonym na kilkunastu badanych w Czechach zwałowiskach pozostawionych do spontanicznej sukcesji był obiekt położony w pobliżu zwałowiska zalesionego robinią (Prach i in. 2011). Świadczy to o tym, że wprowadzanie w ramach rekultywacji obcych gatunków generuje silne źródło diaspor gatunków inwazyjnych, dlatego w rekultywacji powinno się preferować gatunki rodzime.

Pod badanymi drzewostanami największy udział mają gatunki łąk i użytków zielonych klasy *Molinio-Arrhenatheretea*, gatunki nitrofilnych okrajków i siedlisk ruderalnych klasy *Artemisietea*, a także te o nieokreślonej pozycji syntaksonomicznej. Pod wszystkimi drzewostanami, poza brzozowymi, udział gatunków klasy *Artemisietea* jest wyższy niż gatunków klasy *Molinio-Arrhenatheretea*. W ramach klasy *Artemisietea* przeważają gatunki rzędu *Convolvuletalia*, osiągające optimum na okrajkach lasów i wnikające do ich runa. Rośliny takie mają duży udział w runie pod drzewostanami silnie przekształconymi, na przykład poprzez nasadzenia gatunków nieodpowiadających siedlisku (Brzeg i Krotoska 1984), pod drzewostanami na gruntach przemysłowych (Woźniak i in. 2003), czy w lasach miejskich (Ratyńska i in. 2001, Dyderski i Jagodziński 2014).

Spśród stwierdzonych pod badanymi drzewostanami gatunków starych lasów (wg listy Dzwonko i Loster 2001), rola wskaźnikowa części z nich budzi wątpliwości. Są to gatunki występujące na zwałowisku licznie, pod różnymi drzewostanami. Należą do nich żołądź trójnerwowa *Moehringia trinervia*, który wystąpił pod 19% drzewostanów robiniovych oraz był notowany na pozostałych powierzchniach, a także storczyk kruszczyk szerokolistny *Epipactis helleborine*, który występował pod drzewostanami wszystkich badanych gatunków, często osiągając dużą liczebność. Gatunek ten był podawany także z innych zwałowisk pokopalnianych, między innymi z Wałbrzycha (Klimko i in. 2004) i Nadleśnictwa Turek (Lewandowska 2012).

Drzewostany gatunków wiążących azot sprzyjają wkraczaniu większej liczby gatunków runa, co przekłada się na wysoką liczbę gatunków na powierzchniach badawczych. Siedliska pod drzewostanami sosnowymi cechowały się najniższą średnią liczbą gatunków stwierdzonych na powierzchniach badawczych. Pomimo to, z uwagi na szeroki zakres zmienności zajmowanych siedlisk i największy udział powierzchniowy drzewostanów sosnowych na zwałowisku, w skali całego zwałowiska w drzewostanach sosnowych zanotowano najwięcej gatunków. Sosna zwyczajna jest wprowadzana i utrzymuje się na siedliskach o bardzo szerokim zakresie warunków wilgotnościowych i troficznych, umożliwiając rozwój wielu gatunków roślin (Zerbe i Wirth 2006). Występujące tam gatunki reprezentują szerokie spektrum wymagań troficznych i wilgotnościowych.

Pomiędzy florą runa pod drzewostanami badanych gatunków występują różnice w udziale grup historyczno-geograficznych, klas fitosocjologicznych, form życiowych oraz liczbie gatunków wskaźnikowych starych lasów. Świadczy to o tym, że w wyniku nasadzeń różnych gatunków drzew powstają różne siedliska, co przyczynia się do zwiększenia różnorodności gatunkowej badanych układów. W runie badanych fitocenoz występują także gatunki leśne oraz związane dynamicznie ze zbiorowiskami leśnymi – okrajkowe, oszyjkowe i porębowe. Wraz z obecnością gatunków wskaźnikowych starych lasów świadczy to o podobieństwie badanych układów do runa zbiorowisk leśnych, co pokazuje skuteczność zastosowanych zabiegów rekultywacyjnych.

Podsumowanie

- W runie pod drzewostanami powstałymi w wyniku rekultywacji zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie stwierdzono występowanie 230 gatunków roślin naczyniowych.
- W ramach pojedynczego poletka najwięcej gatunków stwierdzono pod drzewostanami gatunków wiążących azot – olszy czarnej i robinii akacjowej, zaś najmniej – pod drzewostanami sosny zwyczajnej.
- W skali całego zwałowiska najwięcej gatunków zanotowano pod drzewostanami sosnowymi, które występują najczęściej i zostały wprowadzone na siedliska o zróżnicowanych warunkach troficznych i wilgotnościowych.
- We florze runa pod badanymi drzewostanami dominowały hemikryptofity, a następnie fanerofity. Dużym udziałem terofitów wyróżniało się runo pod drzewostanami robinii akacjowej.
- We florze runa pod badanymi drzewostanami dominowały gatunki rodzime. W runie pod drzewostanami dębu czerwonego i robinii stwierdzono większy udział gatunków obcych, natomiast największy udział gatunków rodzimych stwierdzono w runie drzewostanów sosnowych.
- We florze runa pod badanymi drzewostanami największy udział miały gatunki klas *Artemisietea vulgaris* i *Molinio-Arrhenatheretea* oraz o nieokreślonej przynależności fitosocjologicznej. Drzewostany robinii akacjowej wyróżniały się większym udziałem gatunków klasy *Stellarietea mediae*.
- Mniejszy niż na niezalesionych zwałowiskach udział terofitów we florze oraz obecność 20 gatunków wskaźnikowych starych lasów dowodzą postępującej naturalizacji runa oraz upodabniania się do runa leśnego. Świadczy to o powodzeniu zabiegów rekultywacyjnych.

Podziękowania

Praca powstała w ramach projektu pt. „Środowiskowo-genetyczne uwarunkowania produktywności ekosystemów leśnych na gruntach leśnych i poprzemysłowych” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie (2011-2015). Dziękujemy Recenzentom za wnikliwe uwagi, które zostały uwzględnione w ostatecznej wersji pracy.

Literatura

- Aber J.D., Melillo J. M., McClaugherty Ch.A. 1990. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany* 68: 2201-2208.
- Augusto L., Dupouey J.-L., Ranger J. 2003. Effects of tree species on understory vegetation and environmental conditions in temperate forests. *Annals of Forest Science* 60: 823-831.
- Balcerkiewicz S., Brzeg A., Pawlak G. 1984. Rośliny naczyniowe zwałowiska zewnętrznego Pątnów-Józwin. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Ser. B – Botanika* 35: 35-52.
- Barbier S., Gosselin F., Balandier P. 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved – A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 254: 1-15.
- Bartkowiak S. 1970. Ornitochoria rodzimych i obcych gatunków drzew i krzewów. *Arboretum Kórnickie* 15: 237-261.
- Binkley D., Giardina Ch. 1998. Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42: 89-106.
- Binkley D., Valentine D. 1991. Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management* 40: 13-25.
- Brzeg A., Krotoska T. 1984. Zbiorowisko *Pinus-Geranium robertianum* – forma zniekształcenia grądu. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Ser. B – Botanika* 35: 53-66.
- Cabała S., Sypień B. 1987. Rozwój szaty roślinnej na wybranych zwałowiskach kopalń węgla kamiennego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *Archiwum Ochrony Środowiska* 3-4: 169-184.
- Cohn E.V.J., Rostański A., Tokarska-Guzik B., Trueman I.C., Woźniak G. 2001. The flora and vegetation of an old solvay process tip in Jaworzno (Upper Silesia, Poland). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 70 (1): 47-60.
- Dauer J.M., Chorover J., Chadwick O.A., Oleksyn J., Tjoelker M.G., Hobbie S.E., Reich P.B., Eissenstat D.M. 2007. Controls over leaf and litter calcium concentrations among temperate trees. *Biogeochemistry* 86: 175-187.
- Dyderski M.K., Jagodziński A.M. 2014. Synantropizacja zbiorowisk łągowych ze związku *Salicion albae* w południowej części Poznania. *Acta Botanica Silesiaca* 10: 41-69.
- Dyderski M.K., Gdula A.K., Wrońska-Pilarek D. 2014. Rośliny naczyniowe nowo utworzonych użytków ekologicznych „Bogdanka I” i „Bogdanka II” w Poznaniu. *Nauka Przyroda Technologie* 8 (4): #44.
- Dzwonko Z., Loster S. 2001. Wskaźnikowe gatunki roślin starych lasów i ich znaczenie dla ochrony przyrody i kartografii roślinności. *Prace Geograficzne* 178: 119-132.
- Goździk J., Jończyk W., Niżnik A.M. 2010. Kopalnia węgla brunatnego „Bełchatów” i elektrownia „Bełchatów” – zmiany środowiska geograficznego spowodowane ich działalnością. W: *Obszary metropolitalne we współczesnym środowisku geograficznym*, 58. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego, t. 2, Łódź, 8-12 września 2010. Ss. 397-422.
- Hobbie S.E., Ogdahl M., Chorover J., Chadwick O.A., Oleksyn J., Zytковиak R., Reich P.B. 2007. Tree species effects on soil organic matter dynamics: the role of soil cation composition. *Ecosystems* 10: 999-1018.

- Hobbie S.E., Oleksyn J., Eissenstat D.M., Reich P.B. 2010. Fine root decomposition rates do not mirror those of leaf litter among temperate tree species. *Oecologia* 162: 505-513.
- Hobbie S.E., Reich P.B., Oleksyn J., Ogdahl M., Zytковиак R., Hale C., Karolewski P. 2006. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. *Ecology* 87 (9): 2288-2297.
- Hodačová D., Prach K. 2003. Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation versus spontaneous revegetation. *Restoration Ecology* 11 (3): 385-391.
- Jagodziński A.M., Kałucka I. 2008. Age-related changes in leaf area index of young Scots pine stands. *Dendrobiology* 59: 57-65.
- Jagodziński A.M., Kałucka I., Horodecki P., Oleksyn J. 2014. Aboveground biomass allocation and accumulation in a chronosequence of young *Pinus sylvestris* stands growing on a lignite mine spoil heap. *Dendrobiology* 72: 139-150.
- Klimko M., Czarna A., Bałuka B. 2004. Flora naczyniowa siedlisk przemysłowych miasta Wałbrzycha. *Acta Botanica Silesiaca* 1: 7-22.
- Knapp S., Kühn I., Stolle J., Klotz S. 2010. Changes in the functional composition of a Central European urban flora over three centuries. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12: 235-244.
- Kowarik I., von der Lippe M., Cierjacks A. 2013. Prevalence of alien versus native species of woody plants in Berlin differs between habitats and at different scales. *Preslia* 85: 113-132.
- Lewandowska D. 2012. Tereny pokopalniane w Nadleśnictwie Turek. W: Sesja naukowa „Bioróżnorodność terenów pokopalnianych rejonu konińskiego”. Referaty i komunikaty. Muzeum Okręgowe w Koninie, Konin, 20 listopada 2012. Ss. 15-24.
- Mały Rocznik Statystyczny. 2013. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2007. An assessment of energy efficiency in reclamation to forest. *Ecological Engineering* 30: 341-348.
- Plan Urządzenia Lasu wg stanu na 01.01.1997. Nadleśnictwo Bełchatów, RDLP Łódź. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, oddział w Lublinie (manuscript).
- Prach K. 2003. Spontaneous succession in Central-European man-made habitats: What information can be used in restoration practice? *Applied Vegetation Science* 6: 125-129.
- Prach K., Bejček V., Bogusch P., Dvořáková H., Frouz J., Hendrychová M., Kabrna M., Koutecká V., Lepšová A., Mudrák O., Polášek Z., Příkryl I., Řehouňková K., Tropek R., Volf O., Zavad V. 2011. Spoil heaps. W: Řehouňková K., Řehounek J., Prach K. (red.). Near-natural restoration vs. technical reclamation of mining sites in the Czech Republic. University of South Bohemia in České Budějovice. Ss. 17-34.
- Prach K., Lencová K., Řehouňková K., Dvořáková H., Jírová A., Konvalinková P., Mudrák O., Novák J., Trnková R. 2013. Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across seres. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 7680-7685.
- Prach K., Pyšek P. 1999. How do species dominating in succession differ from others? *Journal of Vegetation Science* 10: 383-392.
- Prach K., Pyšek P., Bastl M. 2001. Spontaneous vegetation succession in human-disturbed habitats: A pattern across seres. *Applied Vegetation Science* 4: 83-88.
- Prach K., Pyšek P., Jarošík V. 2007. Climate and pH as determinants of vegetation succession in Central European man-made habitats. *Journal of Vegetation Science* 18: 701-710.

- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<http://www.R-project.org>; dostęp: 12.10.2014).
- Ratyńska H. 2001. Roślinność Poznańskiego Przełomu Warty i jej antropogeniczne przemiany. Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz. Ss. 466.
- Ratyńska H., Wojterska M., Brzeg A., Kołacz M. 2011. Multimedialna encyklopedia zbiorowisk roślinnych Polski. NFOŚiGW, UKW, IETI.
- Reich P.B., Oleksyn J., Modrzyński J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G. 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters* 8: 811-818.
- Richardson D.M., Rejmánek M. 2011. Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. *Diversity and Distributions* 17: 788-809.
- Rostański A. 1997. Flora spontaniczna hałd Górnego Śląska. *Archiwum Ochrony Środowiska* 23 (3-4): 159-165.
- Rostański A. 2000. Podsumowanie badań flory terenów przemysłowych na Górnym Śląsku (1989-1999). *Acta Botanica Silesiana* 35 (52): 131-154.
- Siciński J.T., Sowa R. 1986. Rośliny naczyniowe zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. *Acta Universitatis Lodzianis, Folia Botanica* 4: 139-169.
- Singh A.N., Raghubanshi A. S., Singh J.S. 2002. Plantations as a tool for mine spoil restoration. *Current Science* 82 (12): 1436-1441.
- Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz. 2012. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa. Ss. 196.
- Van Breemen N., Finzi A.C. 1998. Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications. *Biogeochemistry* 42: 1-19.
- Woryna G., Rostański A. 2003. Flora naczyniowa wybranych zwałów pogórnich miasta Ruda Śląska. *Archiwum Ochrony Środowiska* 29 (2): 77-91.
- Woźniak G., Pasierbiński A., Rostański A. 2003. The diversity of spontaneous woodland vegetation on coals mine heaps of Upper-Silesian industrial region. *Archiwum Ochrony Środowiska* 29 (2): 93-105.
- Wulf M., Naaf T. 2009. Herb layer response to broadleaf tree species with different leaf litter quality and canopy structure in temperate forests. *Journal of Vegetation Science* 20: 517-526.
- Zerbe S., Wirth P. 2006. Non-indigenous plant species and their ecological range in Central European pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Annals of Forest Science* 63: 189-203.

**Andrzej M. Jagodziński^{1,2}, Marcin K. Dyderski², Anna K. Gdula²,
Mateusz Rawlik³, Marek Kasprowicz³**

¹Polska Akademia Nauk, Instytut Dendrologii

²Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,

Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu

³Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,

Zakład Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska

amj@man.poznan.pl