

Sukcesja wtórna drzew w krajobrazie wydymowym stałej powierzchni badawczej Glinki w świetle analizy GIS

Secondary succession of trees in the dune landscape of the “Glinki” long-term research area – analysis with GIS

Piotr Sewerniak*, Łukasz Mendyk

*Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Gleboznawstwa i Kształtowania Krajobrazu, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

Tel. +48 56 6112551, e-mail: sewern@umk.pl

Abstract. The aim of the study was to present the main characteristics of the “Glinki” research area together with results of the first measurements on tree number, density, distribution and species composition carried out in 2011. The research was conducted in a free-of-forest management part of the Toruń military area which is located in one of the biggest inland dune fields of Europe. The “Glinki” research area was established in 2011 and consists of two plots (together 26.3 ha), which are in close proximity to each other. After the last fire in 1991, secondary succession has been the main factor shaping vegetation on both plots. For every plot, the location of all trees of at least 1 m height (560 in plot I and 292 in plot II) was determined. These measurements were subjected to spatial analysis in ArcGIS 9.3 with special emphasis on the exposure of the dune slopes. The main tree species on both plots were Scots pine, *Pinus sylvestris*, and birch, *Betula pendula*, (82 % and 17 % of all trees respectively). Tree density 20 years after the last fire was very low (32 trees/ha), which mainly resulted from the lack of a sufficient source of seeds in the close vicinity of the plots during the first years after the fire. We also found that tree distribution was related to the main direction of seed inflow and land relief. Tree density was much higher on dune slopes with a northern exposure when compared to other slope exposures, which resulted from different site conditions on the different slopes.

Keywords: relief, slope aspect, Podzols, military area, spatial analysis.

1. Wstęp

W badaniach nad funkcjonowaniem ekosystemów leśnych, w tym także nad przebiegiem sukcesji zespołów roślinnych, szczególną wartość mają prace długoterminowe, prowadzone na stałych powierzchniach badawczych (Faliński 2001; Falińska 2003). Długoterminowe badania na stałych powierzchniach są jednak nieliczne, a część z tych, które były zamierzone na dekady, zostały zaniechane po kilku lub kilkunastu latach (Faliński 2001). Prawdopodobnie wynikało to m.in. ze słabego udokumentowania stanu wyjściowego badanych powierzchni (np. nieprecyzyjnego określenia ich granic), co uniemożliwiało kontynuację pomiarów przez kolejne pokolenia badaczy.

Optymalnymi obiektami do prowadzenia długookresowych badań naturalnych procesów ekologicznych w ekosystemach leśnych są powierzchnie wyłączone z gospodarki leśnej. Z tego względu badania tego typu prowadzone są często na obszarach ściśle chronionych (Linder 1998; Bernadzki

et al. 1998) lub na powierzchniach wyłączonych z intensywnych działań gospodarczych, na których miały miejsce klęski naturalne (Hibbs 1983; Rykowski 2012). Cennymi obiektami do długoterminowych badań sukcesji lasu są także wylesione w przeszłości do celów militarnych tereny poligonów wojskowych. Szczególnie dużą wartość przedstawiają obiekty opuszczone przez wojsko, a także peryferyjne części pól roboczych czynnych poligonów, które czasami są całkowicie wyłączone z bezpośredniego oddziaływania wojska, a ponadto nie prowadzi się na nich gospodarki leśnej.

Zarastanie pola roboczego toruńskiego poligonu jest od wielu lat obserwowane przez leśników, żołnierzy, a także naukowców (Chojnacka et al. 2010), jednak dotychczas nie podjęto szerszych badań mających na celu szczegółowe rozpoznanie i dokumentowanie przebiegu tego procesu. Podobna sytuacja dotyczy innych poligonów w Polsce, co sprawia, że wysoki potencjał tych obiektów do badań naturalnych procesów ekologicznych jest niemal zupełnie niewykorzystywany.

Wpłynęło: 21.06.2014 r., zrecenzowano: 16.09.2014 r., zaakceptowano: 9.10.2014 r.

Celem założenia stałej powierzchni Glinki na terenie toruńskiego poligonu artyleryjskiego było rozpoczęcie długoterminowych badań sukcesji lasu w warunkach ubogich siedlisk śródlądowych pól wydmowych. Celem niniejszej pracy jest natomiast przedstawienie głównych charakterystyk założonej powierzchni (historia terenu, lokalizacja, położenie granic) oraz wyników (liczba, zagęszczenie, skład gatunkowy oraz rozmieszczenie drzew) pierwszego etapu badań przeprowadzonego w 2011 r. W analizie rozmieszczenia drzew szczególną uwagę poświęcono wpływowi ekspozycji stoków wydm, gdyż czynnik ten odgrywa ważną rolę w kształtowaniu fitocenozy pola roboczego toruńskiego poligonu (Jankowski 2010; Sewerniak et al. 2013).

2. Obiekt badań i charakterystyka założonej powierzchni

Badania przeprowadzono na terenie toruńskiego poligonu artyleryjskiego położonego we wschodniej części Puszczy Bydgoskiej, na terenie obrębu Otłoczyn Nadleśnictwa Gniewkowo. Poligon ten położony jest na jednym z największych pól wydm śródlądowych w Europie. Jest to jedyny wielkopowierzchniowy obiekt militarny w Polsce położony w krajobrazie o dużym nagromadzeniu form eolicznych. Obecność licznych wydm sprawia, że obszar ten cechuje się urozmaiconą rzeźbą terenu, co predysponowało go do strzałań artyleryjskich. Teren badań cechuje się występowaniem niewielkich opadów atmosferycznych ze średnią wieloletnią 522,5 mm (Wójcik, Marciniak 2006).

Toruński poligon jest jednym z największych czynnych poligonów w Polsce, jego powierzchnia wynosi około 12,4 tys. ha (Wasilewski 2004). Teren poligonu dzieli się na dwie strefy funkcjonalne. Jego centralną część, o powierzchni około 6 tys. ha, stanowi tzw. pole robocze, na którym koncentrują się działania wojska. Strefa ta była w przeszłości etapami wylesiana w celu odsłonięcia terenu do celów militarnych. Obecnie na polu roboczym dominują wrzosowiska oraz zbiorowiska trawiaste,

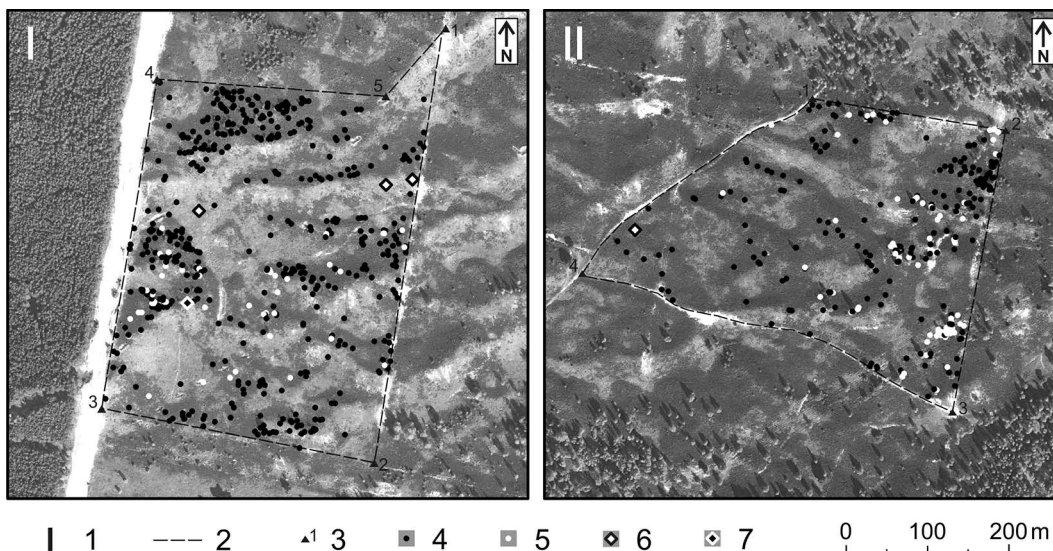
które zarastane są głównie przez sosnę zwyczajną (*Pinus sylvestris*) i brzozę brodawkowatą (*Betula pendula*). Miejscami występują także drzewostany sosnowe i brzożowe naturalnego pochodzenia, w których prowadzona jest, przeważnie ekstenzywna, gospodarka leśna. Drugą funkcjonalną strefę poligonu stanowi obszar porośnięty przez produkcyjne bory sosnowe, w których prowadzi się standardową gospodarkę leśną. Strefa ta tworzy zewnętrzny pas buforowy dla działań militarnych prowadzonych na polu roboczym poligonu.

Powierzchnię badawczą Glinki założono w zachodniej części pola roboczego poligonu. Tworzą ją dwa oddalone od siebie o około 1 km poletka badawcze, których powierzchnie, adres leśny oraz współrzędne GPS charakterystycznych punktów granicznych (w układzie WGS 84) przedstawiono w tabeli 1. W celu łatwiejszego odnalezienia granic założonych poletek w przyszłości, w ich wytyczeniu wykorzystano czytelne obiekty terenowe (pas przeciwpożarowy, linie oddziałowe i drogi gruntowe, ryc. 1).

Tabela 1. Powierzchnia oraz dane dotyczące lokalizacji poletek badawczych

Table 1. Area and data concerning location of the investigated plots

Nr poletka Plot no.	Powierzchnia Area [ha]	Oddział Forest compartment	Położenie punktów granicznych Coordinates of border points
I	14,87	206a	N52 56.121, E18 34.128 N52 55.833, E18 34.052 N52 55.867, E18 33.752 N52 56.086, E18 33.811 N52 56.076, E18 34.063
II	11,43	278a, 279a	N52 55.398, E18 34.066 N52 55.377, E18 34.281 N52 55.192, E18 34.224 N52 55.282, E18 33.819



Rycina 1. Lokalizacja poletek badawczych na zdjęciu lotniczym wraz z rozmieszczeniem drzew. Oznaczenia: 1 – nr poletka badawczego, 2 – granice poletek, 3 – punkt graniczny (por. tab. 1), 4 – sosna, 5 – brzoza, 6 – grusza, 7 – osika.

Figure 1. Location of the investigated plots shown in aerial photos together with distribution of trees. Explanations: 1 – plot number, 2 – borders of the plots, 3 – the boundary points described in the Table 1, 4 – Scots pine, 5 – silver birch, 6 – European pear, 7 – European aspen.

Oba badane poletka położone są na terenie silnie zwydmionym, cechującym się pagórkowatą rzeźbą terenu. W południowej części poletka I występuje niewielki fragment IX terasy Wisły (Weckwerth 2010) o wysokości 70 m n.p.m, co stanowi najniższą rzędną badanej powierzchni. Najwyższym punktem poletka I (98 m n.p.m.) jest kulminacja wydmy znajdującej się w jego północno-wschodniej części. Poletko II w całości położone jest w obrębie kilku połączonych ze sobą wydm. Wysokość tego poletka wynosi 73–88 m n.p.m. Na obu poletkach dominują gleby bielcowe, które są często w różnym stopniu zerodowane na skutek uruchomionych po wylesieniu procesów niszczących (głównie deflacji). Na bardziej podatnych na te procesy stokach południowych rozwianie stropu gleb bielcowych jest na tyle głębokie, że obecnie są one klasyfikowane jako arenosole (Jankowski 2010; Sewerniak et al. 2013). Na powierzchni Glinki, w formie niewielkich konturów, występują także śródwymowe gleby wzbogacone w żelazo (Jankowski 2001, 2014), gleby przekształcone antropogenicznie, a na fragmencie terasy rzecznej poletka I także gleby rdzawe.

Część pola roboczego, w której założono powierzchnię Glinki, została wylesiona do celów militarnych (z pozostawieniem niewielkich kęp drzewostanów sosnowych, miejscami z udziałem brzozy) w latach 50. XX wieku. Na powierzchni kilkuset hektarów roślinność odnawiająca się w drodze naturalnej sukcesji uległa spaleniowi podczas pożaru latem 1989 r. Ostatnim pożarem, który miał miejsce na obu analizowanych poletkach, był pożar z lata 1991 r., kiedy spłonęły głównie trawy kolonizujące otwartą przestrzeń. Po obu pożarach, na wyznaczonej do badań powierzchni przeżyły jedynie pojedyncze drzewa. W celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia kolejnego pożaru powierzchnię Glinki zlokalizowano w peryferyjnej w stosunku do działań wojska części pola roboczego poligonu. Założona powierzchnia, po ustaleniach z Nadleśnictwem Gniewkowo oraz komendą poligonu, ma obecnie status oficjalnej stałej powierzchni badawczej Katedry Gleboznawstwa i Kształtowania Krajobrazu UMK w Toruniu.

3. Metody badań

Badania terenowe, obejmujące wyznaczenie granic poletek oraz lokalizację drzew, wykonano jesienią 2011 r. Pomiarami objęto wszystkie drzewa występujące na obu poletkach, których wysokość wynosiła przynajmniej 1,0 m. Położenie drzew określono wykorzystując odbiornik GPS Garmin eTrex Vista HCx.

Analizy GIS, obliczenia powierzchni oraz prace kartograficzne wykonano za pomocą oprogramowania ArcGIS 9.3. Pierwszym etapem była digitalizacja warstw z mapy topograficznej w skali 1:10 000. Uzyskane w ten sposób wektorowe dane wysokościowe poddane zostały interpolacji za pomocą metody naturalnego sąsiedztwa (wykorzystano narzędzie Spatial Analyst Tools). Tak otrzymany numeryczny model terenu w postaci rastrowej był podstawą dalszych analiz. Wyznaczono obszary stoków o wystawie północnej (przyjęta wartość azymutu dla wystawy: 315°–45°), wschodniej

(45°–135°), południowej (135°–225°) i zachodniej (225°–315°). Określone w ten sposób obszary (4 klasy wynikowe odpowiadające poszczególnym wystawom stoków dla każdego poletka) porównano z bazą danych zawierającą informacje o pozycji GPS drzew. Uzyskano w ten sposób informacje o liczbie i zagęszczeniu drzew występujących w ramach wyznaczonych ekspozycji stoku. W analizie uwzględniono nachylenie terenu większe niż 5°. Stoki spełniające przyjęte kryterium nachylenia zostały określone w programie ArcGIS 9.3. z wykorzystaniem narzędzia 3D Analyst Tools.

4. Wyniki

Liczba, zagęszczenie i skład gatunkowy drzew

Na badanej powierzchni stwierdzono występowanie 852 drzew (560 na poletku I i 292 na poletku II) o wysokości 1 m lub wyższej, wśród których zdecydowanie przeważała sosna zwyczajna (700 szt.) i brzoza brodawkowata (147 szt.). Oprócz tych gatunków odnotowano jedynie 5 innych drzew (4 okazy gruszy pospolitej oraz 1 topoli osiki). Na obu poletkach wystąpiła znaczna przewaga sosny nad brzozą, jednak była ona wyraźnie większa na poletku I niż II (odpowiednio 9 i 2 razy więcej sosen niż brzoź, tab. 2).

Tabela 2. Liczba i zagęszczenie drzew

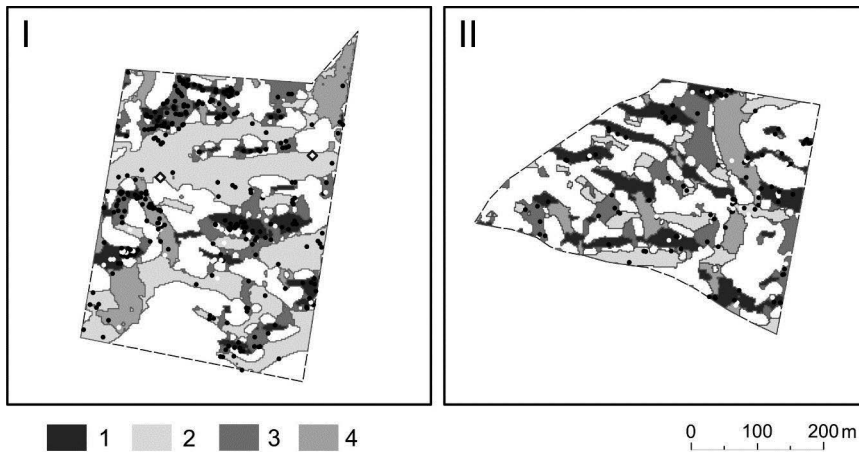
Table 2. Number of trees and tree density

Nr poletka Plot no.	Liczba drzew [szt.] Number of trees [pcs.]			Zagęszczenie [szt./ha] Tree density [pcs./ha]		
	Σ	sosna pine	brzoza birch	Σ	sosna pine	brzoza birch
I	560	503	53	38	34	4
II	292	197	94	25	17	8
I + II	852	700	147	32	27	6

Zagęszczenie drzew stwierdzone na powierzchni Glinki po dwudziestu latach od ostatniego pożaru było niewielkie. Łącznie dla całej powierzchni wyniosło ono 32 drzewa na hektarze. Wartość tego parametru na poletku I była wyraźnie wyższa niż na poletku II (odpowiednio 38 i 25 drzew/ha), co wynikało głównie z różnicy w zagęszczeniu sosen. Odwrotnie kształtowało się zagęszczenie brzoź, które na poletku II było dwukrotnie większe niż na poletku I (tab. 2). Ze względu na relatywnie niewielką liczebność brzoź nie wpłynęło to jednak znacząco na różnicę zagęszczenia wszystkich drzew na obu poletkach.

Rozmieszczenie drzew na tle rzeźby terenu

Rozmieszczenie drzew na powierzchni Glinki, z uwzględnieniem ich gatunku, przedstawiono na rycinie 1. Stwierdzono wyraźne różnice w koncentracji drzew w zależności od wystawy stoku (ryc. 2). Na obu poletkach stoki północne, w porównaniu ze wszystkimi innymi wystawami, cechowały się największą liczbą drzew, a także największym ich zagęszczeniem (tab. 3).



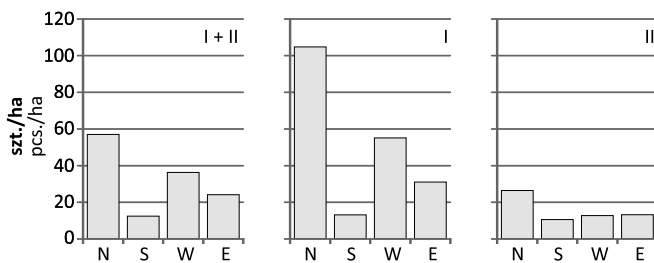
Rycina 2. Rozmieszczenie stoków wydm z zaznaczonymi występującymi na nich drzewami. Oznaczenia: 1 – stoki północne, 2 – stoki południowe, 3 – stoki zachodnie, 4 – stoki wschodnie; pozostałe oznaczenia jak na ryc. 1.

Figure 2. Location of dune slopes with position of trees occurring on the slopes. Explanations: 1 – northern slopes, 2 – southern slopes, 3 – western slopes, 4 – eastern slopes; other denotes as in the fig. 1.

Tabela 3. Łączna powierzchnia stoków o różnej wystawie oraz zagęszczenie występujących na nich drzew

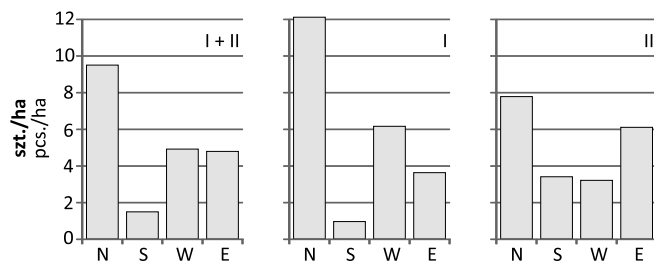
Table 3. Total area of slopes of different aspect and tree density in relation to slope aspect

Nr poletka Plot no.	Łączna powierzchnia stoków [ha] o wystawie Summary slope area [ha] of aspect				Drzewa ogółem [szt./ha] Number of trees of all species per 1 ha			
	N	S	W	E	N	S	W	E
I	1,23	4,64	1,61	1,38	117,3	13,2	61,3	34,7
II	1,92	1,19	1,25	1,30	33,8	13,4	16,8	19,7
I + II	3,16	5,83	2,86	2,69	66,5	13,4	41,9	27,9



Rycina 3. Zagęszczenie sosen na stokach o różnej wystawie (cyfry rzymskie oznaczają nr poletka)

Figure 3. Density of pine in relation to slope aspect (Roman numerals indicate no. of a plot)



Rycina 4. Zagęszczenie brzoź na stokach o różnej wystawie (cyfry rzymskie oznaczają nr poletka)

Figure 4. Density of birch in relation to slope aspect (Roman numerals indicate no. of a plot)

Różnice w zagęszczeniu drzew w zależności od ekspozycji stoku były bardzo wyraźne w przypadku obu dominujących gatunków drzew występujących na powierzchni Glinki (ryc. 3 i 4). Pod względem tego parametru szczególnie silnie różniły się dwie kontrastowe wystawy pod względem usłonecznienia: północna i południowa, jednak warto zwrócić uwagę, że różnice zagęszczenia obu gatunków między tymi ekspozycjami były większe na poletku I niż na poletku II. Zagęszczenie sosen na poletku I było niemal dziewięciokrotnie większe na stokach północnych niż na południowych (odpowiednio 105,2 i 12,3 szt./ha), a brzoź aż trzynastokrotnie (12,1 i 0,9 szt./ha). W przypadku poletka II różnice zagęszczenia były znacznie mniejsze: zagęszczenie sosen na stokach północnych było 2,6 razy większe niż na stokach południowych (26,0 i 10,0 szt./ha), a zagęszczenie brzoź – 2,3 razy (7,8 i 3,4 szt./ha). Znacznie mniejsze były różnice w zagęszczeniu sosen i brzoź między ekspozycją zachodnią i wschodnią, przy czym na poletku I większe zagęszczenie drzew zostało stwierdzone na stokach zachodnich, a na poletku II – na wschodnich (ryc. 3, 4). Na fragmencie terasy rzecznej występującej na poletku I zagęszczenie drzew wyniosło 25 drzew/ha.

5. Dyskusja

Nawiązując do terminologii zaproponowanej przez Falińskiego (1986) powierzchnia Glinki reprezentowała w 2011 r. optymalne stadium sukcesji wtórnej rekreacyjnej w serii borowej. Dominująca rola sosny i brzozy w rekolonizacji tej powierzchni przez drzewa po pożarze nie jest zaskoczeniem, gdyż są to gatunki pionierskie, których odnawianie się w warunkach naturalnych często wiązane jest z występowaniem zaburzeń (Brzeziecki 2000). Roślinnością potencjalną ubogich siedlisk pól wydmowych Puszczy Bydgoskiej jest głównie kontynentalny bór sosnowy świeży *Peucedano-Pinetum* (Chojnacka et al. 2010; Gugnacka-Fiedor, Adamska 2010), można się więc spodziewać, że przewaga sosny nad brzozą, w miarę zbliżania się do terminalnego stadium sukcesji, ulegnie na badanych poletkach zwiększeniu. Ze względu na niski trofizm siedlisk można zakładać, że różno-

rodność gatunkowa wkraczających na powierzchnię Glinki drzew będzie w przyszłości mniejsza niż na powierzchniach założonych w warunkach siedlisk żyzniejszych (Hibbs 1983; Bernadzki et al. 1998). Relatywnie największa jest szansa na pojawienie się gatunków grądowych w południowej części poletka I, na fragmentach gleb rdzawych, cechujących się większym trofizmem. Z uwagi jednak na położenie powierzchni Glinki w dużym oddaleniu od mogących stanowić źródło propagul drzewostanów z gatunkami grądowymi oraz na wysoki stan jeleni na terenie poligonu (ok. 35–40 szt./1000 ha) szansa ewolucji drzewostanu na glebie rdzawej w okresie najbliższych kilku dekad w kierunku grądu jest tylko teoretyczna.

Powierzchnia Glinki, w okresie od wystąpienia ostatniego pożaru do wykonania pomiarów (20 lat), cechowała się niewielkim zagęszczeniem drzew. Było ono znacznie mniejsze niż w innych samosiewach powstałych na powierzchniach, na których wystąpiło zaburzenie (Dobrowolska 2007, 2008; Sewerniak 2010). Można to tłumaczyć wysokim stanem jeleni na toruńskim poligonie, szybkim opanowaniem rozległej powierzchni pożarzyska przez trawy i wrzos, stanowiące konkurencję dla siewek drzew, a przede wszystkim przez brak w pobliżu powierzchni Glinki w latach bezpośrednio po pożarze obfitych źródeł propagul drzew. Poletko I znajduje się co prawda w bezpośrednim sąsiedztwie, położonego na zachód od niego, gospodarczego drzewostanu sosnowego (ryc. 1), jednak w roku wystąpienia pożaru miał on 21 lat. Ponieważ sosna, rosnąc w zwarcu, zaczyna obradzać nasiona w wieku 30–40 lat (Obmiński 1970), drzewostan ten dopiero po osiągnięciu tego wieku może mieć duże znaczenie dla powstawania samosiewów na poletku I. W rozsiewaniu nasion większą rolę odegrała starsza o 8 lat monokultura sosnowa (oddz. 207a) rosnąca na północny-zachód od poletka I, co odzwierciedla się w relatywnie dużym zagęszczeniu drzew właśnie w tej jego części (ryc. 1). Kierunek dyspersji nasion wpłynął także na rozmieszczenie drzew na poletku II. Relatywnie wysokie nagromadzenie drzew w jego wschodniej części (ryc. 1) wynika z faktu, że w pobliżu wschodniej granicy poletka przeżyły pożar drzewa (głównie brzozy), które miały wówczas około 25 lat. Tłumaczy to również mniejszą przewagę sosen nad brzożami na poletku II niż na poletku I (tab. 2). Odmienny w przypadku obu poletek dominujący kierunek dopływu nasion może tłumaczyć także przeciwstawne zagęszczenie zarówno sosen, jak i brzoż dla stoków zachodnich i wschodnich na obu badanych poletkach (na poletku I większe dla obu gatunków na stokach zachodnich, a na poletku II na wschodnich, ryc. 3, 4).

Obok kierunku dopływu nasion, ważnym czynnikiem wpływającym na rozmieszczenie drzew na powierzchni Glinki jest ekspozycja stoku. Wpływ tego czynnika na cechy fitocenozy był obserwowany również w lasach gospodarczych Puszczy Bydgoskiej (Sewerniak et al. 2011; 2012), na wydmach nadmorskich (Piotrowska 1988), a także w obszarach zbudowanych z innego materiału niż piasek eoliczny (Cantlon 1953; Różański, Szwaagrzyk 1987;

Socha 2008). Mikrorelief był wskazywany także jako czynnik wpływający na przebieg sukcesji lasu na podmokłych łąkach (Falińska 2003). Biorąc pod uwagę, że warunki siedliskowe odgrywają kluczową rolę dla procesów ekologicznych decydujących o organizacji przestrzennej roślinności (Faliński 2001) oraz, że ze względu na różnice ilości energii słonecznej na stokach o różnej wystawie powstają tam odmienne mikroklimaty (Cantlon 1953; Sewerniak et al. 2011), przyczyn uwarunkowanej reliefem zmienności zagęszczenia drzew należy szukać w zróżnicowaniu cech siedliskowych. Większe zagęszczenie drzew na stokach północnych niż południowych (tab. 3, ryc. 3 i 4) można tłumaczyć korzystniejszymi warunkami glebowymi (wilgotnościowymi i troficznymi) występującymi na cienistych stokach wydm toruńskiego poligonu w porównaniu z wystawą południową (Sewerniak et al. 2011, 2013). O bardzo istotnym wpływie rzeźby terenu na rozmieszczenie drzew świadczy także znacznie wyraźniejsza różnica ich zagęszczenia między stokami północnymi i południowymi na poletku I niż na poletku II (tab. 3, ryc. 3, 4). Poletko I cechuje się amplitudą wysokości aż o 13 m wyższą niż poletko II, co sprzyja występowaniu silniej wyrażonych w terenie stoków i w związku z tym wyraźniejszemu zaznaczaniu się różnic w warunkach siedliskowych na kontrastowych ekspozycjach.

Czynnikiem wpływającym na rozmieszczenie drzew na badanej powierzchni jest także charakter roślinności runa, jednak ma on charakter pośredni, gdyż jest także uwarunkowany rzeźbą terenu. Na wydmach pola roboczego poligonu obserwuje się regularny, uwarunkowany reliefem, układ roślinności, który zaznacza się także na powierzchni Glinki. Stoki północne porośnięte są najczęściej przez wrzos zwyczajny (*Calluna vulgaris*), a południowe przez trawy (Jankowski 2010; Sewerniak et al. 2013) – głównie szczytlicę siwą (*Corynephorus canescens*), kostrzewę owczą (*Festuca ovina*) i trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigejos*), które stanowią silną konkurencję dla siewek drzew. Wpływ roślinności runa na rozmieszczenie młodych drzew zaobserwował też Czurzycki (2004), który w warunkach polan górskich stwierdził znacznie liczniejsze występowanie siewek świerka w borówczyskach niż w płatach śmiałka darniowego. Autor ten nie stwierdził natomiast zależności między liczebnością siewek a ekspozycją stoków.

6. Podsumowanie

Stała powierzchnia badawcza Glinki reprezentowała w 2011 r. optymalne stadium sukcesji wtórnej rekreatywnej w serii borowej. Zagęszczenie drzew po dwudziestu latach od ostatniego pożaru było niewielkie (32 drzewa/ha) z wyraźną dominacją sosny zwyczajnej (82% wszystkich drzew) oraz z relatywnie wysokim udziałem brzozy brodawkowatej (17%). Występujące na badanej powierzchni inne gatunki drzew (grusza pospolita i topola osika) reprezentowane były łącznie zaledwie przez kilka osobników.

Uzyskane wyniki badań sugerują, że kluczowymi czynnikami decydującymi o rozmieszczeniu drzew na badanej powierzchni były kierunek dopływu nasion oraz rzeźba terenu. Na obu badanych poletkach powierzchni Glinki największe zagęszczenie spontanicznie pojawiających się po pożarze drzew (zarówno sosen, jak i brzoź) stwierdzono na stokach o ekspozycji północnej. Sugeruje to, że w przypadku wydm śródlądowych Europy środkowej wystawa ta stwarza najkorzystniejsze warunki do sukcesji wtórnej lasu. Najmniej korzystne są one natomiast na stokach południowych wydm, czego potwierdzeniem było najmniejsze zagęszczenie drzew na tej ekspozycji stoków.

Zróznicowanie zagęszczenia drzew w zależności od wystawy stoku wiązać należy przede wszystkim z różnicami warunków siedliskowych, a także z różnicami w charakterze roślinności runa na stokach o różnej wystawie. Szczegółowe rozpoznanie tych zależności wymaga dalszych badań.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Autorzy serdecznie dziękują Nadleśniczemu Nadleśnictwa Gniewkowo Panu inż. Stanisławowi Słomińskiemu, a także Komendantowi Centrum Szkolenia Artylerii i Uzbrojenia im. gen. J. Bema w Toruniu Panu płk mgr Aureliuszowi Chyleńskiemu za wyrażenie zgody na założenie stałej powierzchni badawczej na terenie toruńskiego poligonu.

Badania zostały sfinansowane z funduszy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (projekt badawczy nr N N305 304840).

Literatura

Bernadzki E., Bolibok L., Brzeziecki B., Zajączkowski J., Żybur H. 1998. Rozwój drzewostanów naturalnych Białowieskiego Parku Narodowego w okresie od 1936 do 1996. Warszawa, Fundacja Rozwój SGGW. s. 271. ISBN 83-87660-35-3.

Brzeziecki B. 2000. Strategie życiowe gatunków drzew leśnych. *Sylwan* 8: 5–14.

Cantlon J.E. 1953. Vegetation and microclimates on north and south slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs* 3: 241–270.

Chojnacka J., Cyzman W., Nienartowicz A., Deptuła M. 2010. Variability of the structure and directions in the development of heaths and psammophilous grasslands within the artillery range near the city of Toruń. *Ecological Questions* 12: 87–125. DOI: 10.2478/v10090-010-0006-z.

Ciurzycki 2004. Wpływ wybranych czynników środowiskowych na dynamikę wkraczania świerka pospolitego na górnoregłowe polany popasterskie w Tatrach Polskich. *Sylwan* 9: 20–28.

Dobrowolska D. 2007. Odnowienie naturalne lasu w drzewostanach uszkodzonych przez wiatr na terenie północno-wschodniej Polski. *Leśne Prace Badawcze* 68(2): 45–60.

Dobrowolska D. 2008. Odnowienie naturalne na powierzchniach uszkodzonych przez pożar w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. *Leśne Prace Badawcze* 69(3): 255–264.

Falińska K. 2003. Alternative pathways of succession: species turnover patterns in meadows abandoned for 30 years. *Phytocoenosis* 15: 1–104.

Faliński J.B. 1986. Sukcesja roślinności na nieużytkach porolnych jako przejaw dynamiki ekosystemu wyzwolonego spod długotrwałej presji antropogenicznej. *Wiadomości Botaniczne* 30(1): 25–50.

Faliński J.B. 2001. Przewodnik do długoterminowych badań ekologicznych. Warszawa, PWN, s. 672. ISBN 83-01-13239-6.

Gugnacka-Fiedor W., Adamska E. 2010. The preservation state of the flora and vegetation of the artillery range near the city of Toruń. *Ecological Questions* 12: 75–86. DOI: 10.2478/v10090-010-0005-0.

Hibbs D.E. 1983. Forty years of forest succession in central New England. *Ecology* 64(6): 1394–1401.

Jankowski M. 2001. Warunki występowania, właściwości i geneza gleb śródwymowych wzbogaconych w żelazo. *Roczniki Gleboznawcze* 52: 49–63.

Jankowski M. 2010. Some aspects of site conditions of heathlands in the Toruń Basin. *Ecological Questions*, 12: 149–156. DOI: 10.2478/v10090-010-0008-x.

Jankowski M. 2014. The evidence of lateral podzolization in sandy soils of northern Poland. *Catena* 112: 139–147. DOI: 10.1016/j.catena.2013.03.013.

Linder P. 1998. Structural changes in two virgin boreal forest stands in central Sweden over 72 years. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 451–461. DOI: 10.1080/02827589809383006.

Obmiński Z. 1970. Zarys ekologii. w: Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. (red. S. Białobok). Warszawa-Poznań, PWN, 152–231.

Piotrowska 1988. The dynamics of the dune vegetation on the Polish Baltic coast. *Vegetatio* 77: 169–175.

Różański W., Szwagrzyk J. 1987. Wzniesienie, wystawa i nachylenie jako czynniki kształtujące rozmieszczenie zbiorowisk roślinnych na Pogórzu Wielickim i w przyległej części Beskidów. *Sylwan* 7: 59–69.

Rykowski K. 2012. Huragan w lasach: klęska czy zakłócenie rozwoju? Nadleśnictwo Pisz, 4 lipca 2002 roku: studium przypadku. Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 192. ISBN 978-83-62830-08-4.

Sewerniak P. 2010. Analiza wpływu pożaru na wybrane cechy fitocenozy boru sosnowego w aspekcie hodowli lasu. w: Środowiskowe skutki pożaru lasu (red. P. Sewerniak, S.S. Gonet). Wrocław, Polskie Tow. Subst. Humusowych: 83–107. ISBN 978-83-919331-2-1.

Sewerniak P., Bednarek R., Szymańska 2011. Ekspozycja stoków wydm w Kotlinie Toruńskiej a wybrane elementy ekosystemu boru sosnowego – wstępne wyniki badań. *Leśne Prace Badawcze* 72(1): 37–46. DOI: 10.2478/v10111-011-0005-x.

Sewerniak P., Gonet S.S., Quaium M. 2012. Wpływ przygotowania gleby frezem leśnym na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej w warunkach ubogich siedlisk Puszczy Bydgoskiej. *Sylwan* 11: 871–880.

Sewerniak P., Jankowski M., Dąbrowski M. 2013. Impact of mesorelief on ecopedological conditions on inland dunes in subboreal zone (studies from northern Poland). *International Soil Science*

- Conference „Soils in Space and Time”, Ulm 29.09-04.10.2013. Book of Abstracts, 329–330.
- Socha J. 2008. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathian, Poland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 203–213. DOI: 10.1080/02827580802037901.
- Wasilewski S. 2004. Zarys historii toruńskiego poligonu artyleryjskiego. Toruń, Centrum Szkolenia Artylerii i Uzbrojenia im. gen. J. Bema, s. 47.
- Weckwerth P. 2010. Evolution of the Toruń Basin in the Late Weichselian. *Landform Analysis* 14: 57–84.
- Wójcik G., Marciniak K. 2006. Klimat. w: Toruń i jego okolice. Monografia przyrodnicza. (red. L. Andrzejewski, P. Weckwerth, Sz. Burak). Toruń, Wyd. UMK: 99–128. ISBN 83-231-2024-2.

Wkład autorów

P.S. – koncepcja badań, wykonanie prac terenowych, interpretacja wyników, przegląd literatury, przygotowanie maszynopisu; Ł.M. – zestawienie danych, analiza przestrzenna wyników badań w środowisku GIS.

Secondary succession of trees in the dune landscape of the ‘Glinki’ long-term research area – analysis with GIS

Piotr Sewerniak*, Łukasz Mendyk

*Nicolaus Copernicus University in Toruń, Faculty of Earth Sciences, Department of Soil Science and Landscape Management, ul. Lwowska 1, 87–100 Toruń, Poland

Tel. +48 56 6112551, e-mail: sewern@umk.pl

Abstract. The aim of the study was to present the main characteristics of the ‘Glinki’ research area together with results of the first measurements on tree number, density, distribution and species composition carried out in 2011. The research was conducted in a free-of-forest management part of the Toruń military area which is located in one of the biggest inland dune fields of Europe. The ‘Glinki’ research area was established in 2011 and consists of two plots (together 26.3 ha), which are in close proximity to each other. After the last fire in 1991, secondary succession has been the main factor shaping vegetation on both plots. For every plot, the location of all trees of at least 1 m height (560 in plot I and 292 in plot II) was determined. These measurements were subjected to spatial analysis in ArcGIS 9.3 with special emphasis on the exposure of the dune slopes. The main tree species on both plots were Scots pine, *Pinus sylvestris*, and birch, *Betula pendula*, (82 % and 17 % of all trees respectively). Tree density 20 years after the last fire was very low (32 trees/ha), which mainly resulted from the lack of a sufficient source of seeds in the close vicinity of the plots during the first years after the fire. We also found that tree distribution was related to the main direction of seed inflow and land relief. Tree density was much higher on dune slopes with a northern exposure when compared to other slope exposures, which resulted from different site conditions on the different slopes.

Keywords: relief, slope aspect, Podzols, military area, spatial analysis

1. Introduction

Long-term research conducted on permanent plots is particularly valuable when it comes to the study on functioning of forest ecosystems and on the course of plant community succession (Faliński 2001; Falińska 2003). There is however only little long-term research on permanent plots. Some of the ones that were intended to last for decades were suspended after a few or dozen or so years (Faliński 2001). Most likely, this fact resulted from poor documentation of the examined plots’ initial condition (e.g. imprecise border definition), which made it impossible to continue measurements for the following generations of researchers.

Areas excluded from forest management are optimum objects for running long-term research of natural ecological processes in forest ecosystems. Due to this fact, research of the above-mentioned type is being held on strictly protected areas (Linder 1998; Bernadzki et al. 1998) or on areas excluded from

intensive utilisation on which natural disasters occurred (Hibbs 1983; Rykowski 2012). Military training grounds deforested in the past for military purposes are also valuable objects for long-term research on forest succession. Especially valuable are objects abandoned by the army and also peripheral parts of the exercise site of active military training grounds, which sometimes are entirely excluded from the direct influence of the army and no forest husbandry is run there.

The overgrowth at the exercise site of the Toruń training ground has been observed for many years now by foresters, soldiers and scientists (Chojnacka et al. 2010). No wider research has been conducted however in order to recognise and document the course of this process. A similar situation appears in many training grounds in Poland, which results in the high potential of those objects for the research of natural ecological processes being almost entirely unused.

The aim of establishing the ‘Glinki’ permanent research area in the Toruń artillery training ground was to initiate long-

Received: 21.06.2014, reviewed: 16.09.2014, accepted: 9.10.2014.

term research on forest succession in conditions of poor sites of inland dunes. The aim of the following study is to present the main characteristics of an established area (history of the area, localisation, border location) and results (number of trees, tree density, species composition of trees and tree distribution) of the first inventory conducted in 2011. In the analysis of tree distribution, special attention was paid to the influence of dune slope aspects because this factor was found to be very important for the natural development and formation of phytocoenosis at the exercise site of the Toruń training ground (Jankowski 2010; Sewerniak et al. 2013).

2. Research object and characteristics of the established area

The research was conducted on the area of the Toruń artillery training ground located in the eastern part of Bydgoszcz Primeval Forest, within the Ołtoczyn circle of the Gniewkowo Forest inspectorate. This training ground is located on one of the biggest fields of inland dunes in Europe. It is the only large-area military ground in Poland located in a landscape with a large accumulation of aeolian forms. As a result of the presence of numerous dunes, this area is characterised by a diversified relief, which makes it suitable for artillery shooting. The area of research is characterised by low precipitation with a long-term average 522.5 mm (Wójcik, Marciniak 2006).

The Toruń military ground is one of the biggest active training grounds in Poland. Its area amounts to around 12.4 thousand ha (Wasilewski 2004). The area of the training ground is divided into two functional zones. Its central part, with an area around 6 thousand ha, constitutes the so-called exercise site on which army actions are being held. This zone has been deforested in the past in order to expose the area for military

purposes. At present, the exercise site is covered by heathlands and grassy areas in which Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Silver Birch (*Betula pendula*) encroach by natural succession. In some places, pine and birch forest stands of natural origin can be also found, in which extensive forest management is run. The second functional zone of the training ground is the area overgrown by productive pine forest stands in which forest management is run by standard methods used in Polish forestry. This area constitutes the external buffer belt for military actions run in the inner, exercise site of the training ground.

The ‘Glinki’ research area was established in the western part of the training ground’s exercise site. This area consists of two plots placed around 1 km from each other. Their areas, forest addresses and GPS coordinates of characteristic border points (in WGS system) are shown in Table 1. In order to find plots easily in the future, definite field objects (fire lanes, compartment lines and dirt roads; see Fig. 1) were preferred as borders of the plots.

Table 1. Area and data concerning location of the investigated plots

Plot no.	Area [ha]	Forest compartment	Coordinates of border points
I	14.87	206a	N52 56.121, E18 34.128
			N52 55.833, E18 34.052
			N52 55.867, E18 33.752
			N52 56.086, E18 33.811
II	11.43	278a, 279a	N52 55.398, E18 34.066
			N52 55.377, E18 34.281
			N52 55.192, E18 34.224
			N52 55.282, E18 33.819

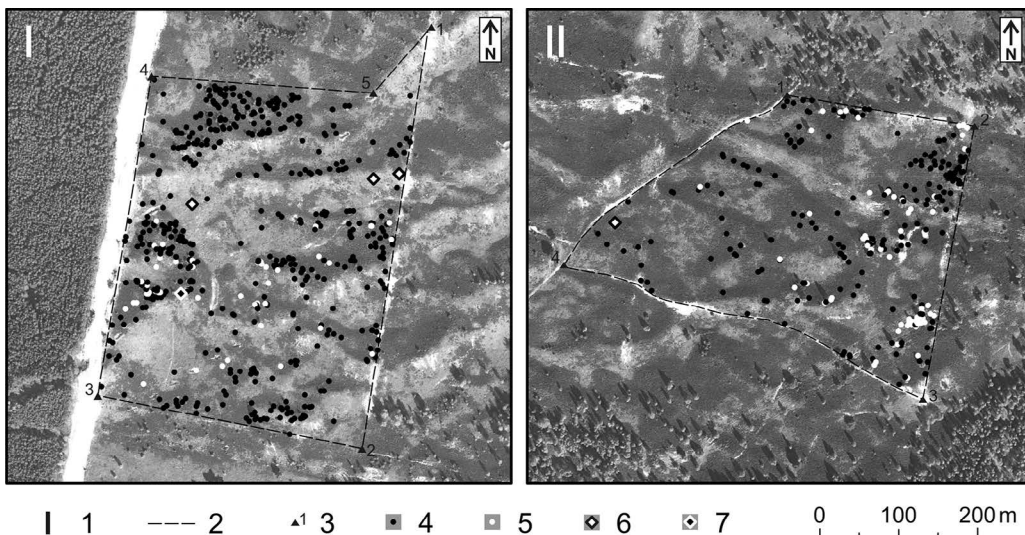


Figure 1. Location of the investigated plots shown in aerial photos together with distribution of trees. Explanations: 1 – plot number, 2 – borders of the plots, 3 – the boundary points described in the Table 1, 4 – Scots pine, 5 – silver birch, 6 – European pear, 7 – European aspen

Both the examined plots are located on areas with many dunes characterised by a hilly landform. A small fragment of Vistula's IX terrace occurs in the southern part of plot no. I (Weckwerth 2010) at an altitude 70 m above sea level [amsl], which constitutes the lowest ordinate of the examined area. The highest point of plot no. I (98 m amsl) is the culmination of the dune located in its northeastern part. Plot no. II is located within several dunes joined together. The altitude of this plot is 73–88 m amsl. In the soil cover, Podzols dominate on both plots, which are often eroded to different depths because of destructive processes (mainly deflation) being activated after deforestation. On southern slopes, which are more susceptible to those processes, the wind blowing at the Podzols' upper part is intensive enough that they can be classified as Arenosols (Jankowski 2010; Sewerniak et al. 2013). On the 'Glinki' research area, in the form of small contours, intra-dune soils enriched in iron (Jankowski 2001, 2014), anthropogenically transformed soils and rusty soils on one fragment of the river terrace on plot no. I also occur.

A part of the exercise site on which the 'Glinki' research area was established, was deforested for military purposes (small tree groups of pines were left with a small quantity of birch in places) in the 50s of the 20th century. In the summer of 1989, on an area of several hundred hectares flora regenerating through natural succession was burnt. The last fire that took place on both analysed plots was the fire in the summer of 1991 when mainly grasses colonising open space were burnt. After both fires, only single trees survived on the area designed for research. In order to reduce the risk of another fire, the 'Glinki' research area was localised in a part of the training ground's exercise site placed peripheral to present-day military actions. The established area, after arrangements with the Gniewkowo Forest inspectorate and headquarters of the training ground, has the status of an official permanent research area of Department of Soil Science and Landscape Management of Nicolaus Copernicus University in Toruń.

3. Research methods

Field work, which included designing plot borders and determination of tree locations, was performed in the autumn of 2011. On both plots, all trees that were higher than 1.0 m were measured. Tree location was defined with the use of GPS receiver Garmin eTrex Vista HCx.

Geographic Information System (GIS) analysis, area calculation and cartographic work were carried out with the use of ArcGIS 9.3 software. The first stage of this work was to digitalise contour lines from a topographic map in a 1:10 000 scale. The altitude vector data obtained in such a way underwent interpolation with the use of the 'natural neighbor' method (Spatial Analyst tools were used). Digital Terrain Model obtained in such a way became the basis for further analysis. Areas of slopes were designed for the following aspects: north-

ern (adopted azimuth value for the aspect: 315°–45°), eastern (45°–135°), southern (135°–225°) and western (225°–315°). Areas defined in that way (four result classes corresponding to individual slope aspects for each plot) were compared with the database, which consists of information about the GPS position of trees. In this manner, information about the number and density of trees growing within a specified slope aspect was obtained. In the analysis, terrain inclination higher than 5° was included. Slopes meeting the criterion of inclination were defined in ArcGIS 9.3 with the use of 3D Analyst tools.

4. Results

Number, density and species composition of trees

The presence of 852 trees (560 on plot no. I and 292 on plot no. II) of height 1 m or higher was stated on the examined area. Scots pine (700 trees) and Silver birch (147 trees) distinctly dominated among those trees. Besides those species noted were only five other trees (four European pears and one Common aspen). Pine dominated birch on both plots but it was more visible on plot no. I rather than on plot no. II (respectively, nine and two times more pines than birches; see Table 2).

Table 2. Number of trees and tree density

Plot no.	Number of trees			Tree density [pcs./ha]		
	Σ	pine	birch	Σ	pine	birch
I	560	503	53	38	34	4
II	292	197	94	25	17	8
I + II	852	700	147	32	27	6

Tree density stated on the 'Glinki' research area after 20 years after the last fire was low. It was 32 trees per hectare for the whole area. The value of this parameter on plot no. I was higher than on plot no. II (respectively, 38 and 25 trees/ha), which resulted from the difference in pine densities. Birch density developed inversely. It was two times higher on plot no. II than on plot no. I (Table 2). Due to the relatively small number of birch trees, this fact did not influence significantly the difference of all tree densities on both plots.

Distribution of trees in relation to relief

Tree distribution by species on the 'Glinki' research area is presented on Fig. 1. Significant differences in tree concentrations dependent on the slope aspect were stated (Fig. 2). Northern slopes on both plots, in comparison to all remaining aspects, were characterised by the largest number of trees and also the highest density (Table 3).

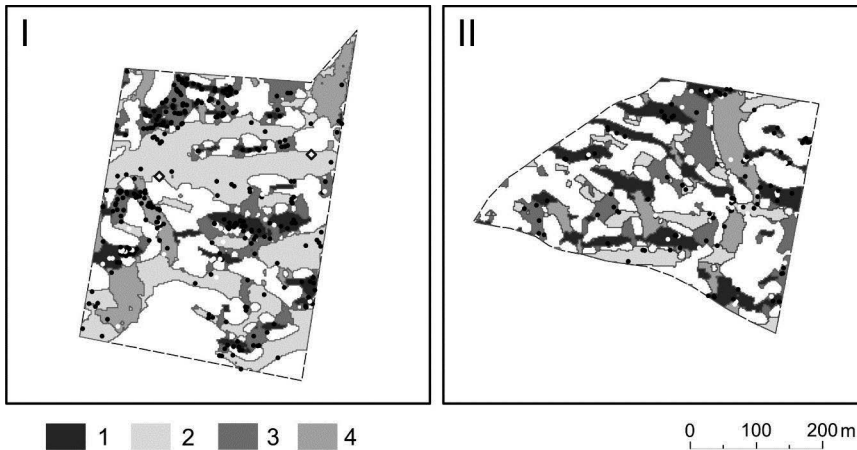


Figure 2. Location of dune slopes with position of trees occurring on the slopes. Explanations: 1 – northern slopes, 2 – southern slopes, 3 – western slopes, 4 – eastern slopes; other denotes as in the Fig. 1.

Table 3. Total area of slopes of different aspect and tree density in relation to slope aspect

Plot no.	Summary slope area [ha] of aspect				Number of trees of all species per 1 ha			
	N	S	W	E	N	S	W	E
I	1.23	4.64	1.61	1.38	117.3	13.2	61.3	34.7
II	1.92	1.19	1.25	1.30	33.8	13.4	16.8	19.7
I + II	3.16	5.83	2.86	2.69	66.5	13.4	41.9	27.9

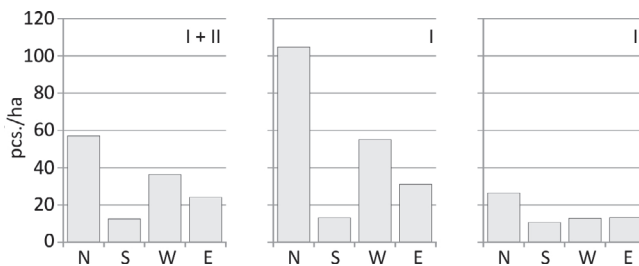


Figure 3. Density of pine in relation to slope aspect (Roman numerals indicate no. of a plot)

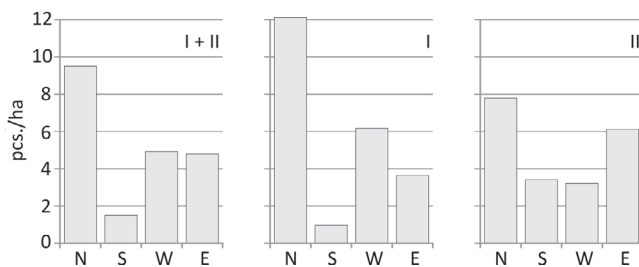


Figure 4. Density of birch in relation to slope aspect (Roman numerals indicate no. of a plot)

Differences in tree density in relation to slope aspects were very clear in the case of both dominant tree species on the ‘Glinki’ research area which was especially relevant to two contrasting in terms of insolation aspects (northern and southern; Figs 3 and 4). It is worth noting however that differences in densities of both species between those aspects were higher on plot no. I than on plot no. II. Pine density on plot no. I was almost 9 times higher on northern than on southern slopes (respectively, 105.2 and 12.3 trees/ha) and birch density was even 13 times higher (12.1 and 0.9 trees/ha). In the case of plot no. II, density differences were much smaller. Pine density on northern slopes was 2.6 times higher than on southern slopes (26.0 and 10.0 trees/ha) and density of birches was 2.3 times higher (7.8 and 3.4 trees/ha). Differences in pine and birch densities between western and eastern aspects were much smaller. On plot no. I, a higher density of trees was stated on western slopes and on plot no. II it was stated on eastern slopes (Figs 3 and 4). On the fragment of the river terrace on plot no. I, the tree density was 25 trees per hectare.

5. Discussion

In reference to the terminology proposed by Faliński (1986), back in 2011, the ‘Glinki’ research area represented an optimum stage of re-creative secondary succession in coniferous forest series. The dominant role of pine and birch in the recolonisation of this area after a fire is not surprising because those species are pioneers. Their renewal in natural conditions is often connected with the occurrence of disasters (Brzeziecki 2000). A continental fresh pine forest *Peucedano-Pinetum* is mainly a potential flora of poor habitats occurring on the dune fields of Bydgoszcz Forest (Chojnacka et al. 2010; Gugnacka-Fiedor, Adamska 2010). The increase in pine dominance over birch at the terminal stage of succession should be expected. Due to low trophism of

habitats, it may be assumed that the diversity of tree species entering the ‘Glinki’ area will be lower in the future than on areas established in conditions of more fertile habitats (Hibbs 1983; Bernadzki et al. 1998). Oak–hornbeam forest species are most likely to appear on the southern part of plot no. I on contours of rusty soils that are characterised by higher trophism than Podzols. The evolution of forest stands on rusty soils towards oak–hornbeam forests seems to be just theoretical due to the ‘Glinki’ location far from forest stands being a potential source of diasporas of oak–hornbeam forest species and also due to a large number of deer on the training ground area (about 35–40 specimens/1000 ha).

The ‘Glinki’ research area, in the period from the occurrence of the last fire to the time of measurement (20 years), was characterised by low tree density. It was much lower than in other natural seedings on areas where a disaster occurred (Dobrowolska 2007, 2008; Sewerniak 2010). This can be explained by the large number of deer on the Toruń training ground, fast spread of grass and heather on extensively burnt areas, which have competed for tree seedlings, and most of all by the lack of sufficient source of tree diasporas in the close neighborhood of the ‘Glinki’ area. Even though plot no. I is located in the close vicinity of a production pine stand (placed to the west of the plot), which was only 21 years old in the year of the last fire. This stand may have a significant impact on the occurrence of seeding when it is 30–40 years old because at that age pines growing in closed canopy start to produce seeds (Obmiński 1970). Eight years older pine monoculture growing in the compartment 207a placed to the northwest of plot no. I had a bigger role in seed sowing, which was reflected in a relatively high tree density in this part of the plot (Fig. 1). The direction of seed dispersion influenced also the tree distribution on plot no. II. A relatively large number of trees in its eastern part (Fig. 1) result from the fact that near the plot’s eastern border, trees that survived the fire are located (mainly birches) and at that time, they had been around for 25 years. It also explains the lesser dominance of pine over birch on plot no. II than on plot no. I (Table 2). The dominant direction of seed inflow different in the case of both plots may explain the opposite density of pines and birches for eastern and western slopes on the examined plots (on plot no. I, higher for both species on western slopes and on plot no. II, higher on eastern slopes; see Figs 3 and 4).

Another, besides the direction of seed inflow, important factor influencing the tree distribution on the ‘Glinki’ research area is slope aspect. The influence of this factor on phytocoenosis features was observed also in the production forests of Bydgoszcz Forest (Sewerniak et al. 2011, 2012), seaside dunes (Piotrowska 1988) and also on areas formed from material other than aeolian sand (Cantlon 1953; Różański, Szwarzgryk 1987; Socha 2008). Besides, microrelief was indicated

as a factor influencing the course of forest succession on wet meadows (Falińska 2003). Habitat conditions play a crucial part in ecological processes determining the flora spatial organisation (Faliński 2001), and different microclimates are being created due to the differences in inflow of solar energy on slopes of different aspects (Cantlon 1953; Sewerniak et al. 2011). Taking the above-mentioned factors into consideration, differences in tree density that were revealed for other slope aspects can be linked to the occurrence of varying relief site conditions. A higher density observed for northern than for southern slopes (Table 3, Figs 3 and 4) may be explained by the more favourable site conditions (referring both to moisture and contents of nutrients) occurring on shady slopes of Toruń training ground’s dunes (Sewerniak et al. 2011, 2013). A significant influence of relief on tree distribution is reflected in the more distinct difference in the density between northern and southern slopes on plot no. I than on plot no. II (Table 3, Figs 3 and 4). Plot no. I is characterised by a height amplitude 13 m greater than plot no. II. This favours the occurrence of strongly visible slopes and, as a result, more distinct differences in site conditions on contrasting aspects.

Another factor influencing tree distribution on the examined area is ground vegetation. It is however a more indirect factor because it is conditioned by landform. On dunes of the training ground’s exercise site a regular, microrelief conditioned, flora system can be observed, which appears also on the ‘Glinki’ research area. Northern slopes are covered most often by heather (*Calluna vulgaris*) and southern slopes by grass (Jankowski 2010; Sewerniak et al. 2013) – mainly grey hair-grass (*Corynephorus canescens*), sheep’s fescue (*Festuca ovina*) and wood small-reed (*Calamagrostis epigejos*) which strongly compete for tree seedlings. The influence of ground flora on the distribution of young trees was observed by Czurzycki (2004), who in a study conducted on mountain meadows stated more occurrences of spruce seedlings in groups of blueberries than in phytocoenosis of tufted hair grass. This author did not state however a relation between the number of seedlings and slope aspects.

6. Summary

The permanent ‘Glinki’ research area represented in 2011 an optimum stage of re-creative secondary succession in coniferous forest series. The tree density 20 years after the last fire was low (32 trees/ha) with a clear predominance of Scots pine (82% of all trees) and a relatively high share of Silver birch (17%). Other species growing on the examined area (European pears and Common aspen) were represented by some specimens only.

Crucial factors determining the distribution of trees in the examined area were the direction of seed inflow and

relief. On both the examined plots of the ‘Glinki’ area, the highest density of trees appearing spontaneously after the fire (both pines and birches) was stated on slopes of the northern aspect. It suggests that, on inland dunes of Central Europe this slope aspect offers the best conditions for secondary succession of forests. The least favourable conditions are the ones occurring on southern dune slopes, which is confirmed by the lowest tree density revealed for this slope aspect.

The diversity of tree density in relation to slope aspects could be explained first of all by differences in site conditions and by differences in a type of ground vegetation occurring on slopes of different aspects. A detailed recognition of those relations requires further research.

Conflict of interest

None declared.

Acknowledgement and financial support

The authors would like to thank the head forester of the Gniewkowo Forest inspectorate – Mr. Eng. Stanisław Słomiński and the commander of the Artillery Training Center and Weaponry – Col. MSc. Aureliusz Chyleński, for giving consent to establishing a permanent research plot in the area of the Toruń training ground.

The research was funded by Ministry of Science and Higher Education (research project number N N305 304840).

References

- Bernadzki E., Bolibok L., Brzeziecki B., Zajączkowski J., Żybura H. 1998. Rozwój drzewostanów naturalnych Białowieskiego Parku Narodowego w okresie od 1936 do 1996. Warszawa, Fundacja Rozwój SGGW. ISBN 83-87660-35-3, p. 271.
- Brzeziecki B. 2000. Strategie życiowe gatunków drzew leśnych. *Sylvan*, 8: 5–14.
- Cantlon J.E. 1953. Vegetation and microclimates on north and south slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs* 3: 241–270.
- Chojnacka J., Cyzman W., Nienartowicz A., Deptuła M. 2010. Variability of the structure and directions in the development of heaths and psammophilous grasslands within the artillery range near the city of Toruń. *Ecological Questions* 12: 87–125. DOI: 10.2478/v10090-010-0006-z.
- Ciurzycki 2004. Wpływ wybranych czynników środowiskowych na dynamikę wkraczania świerka pospolitego na górnoregłowe polany popasterskie w Tatrach Polskich. *Sylvan* 9: 20–28.
- Dobrowolska D. 2007. Odnowienie naturalne lasu w drzewostanach uszkodzonych przez wiatr na terenie północno-wschodniej Polski. *Leśne Prace Badawcze* 68, 2: 45–60.
- Dobrowolska D. 2008. Odnowienie naturalne na powierzchniach uszkodzonych przez pożar w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. *Leśne Prace Badawcze* 69, 3: 255–264.
- Falińska K. 2003. Alternative pathways of succession: species turnover patterns in meadows abandoned for 30 years. *Phytocoenosis* 15: 1–104.
- Faliński J.B. 1986. Sukcesja roślinności na nieużytkach porolnych jako przejaw dynamiki ekosystemu wyzwolonego spod długotrwałej presji antropogenicznej. *Wiadomości Botaniczne* 30,1: 25–50.
- Faliński J.B. 2001. Przewodnik do długoterminowych badań ekologicznych. Warszawa, PWN. ISBN 83-01-13239-6, p. 672.
- Gugnacka-Fiedor W., Adamska E. 2010. The preservation state of the flora and vegetation of the artillery range near the city of Toruń. *Ecological Questions* 12: 75–86. DOI: 10.2478/v10090-010-0005-0.
- Hibbs D.E. 1983. Forty years of forest succession in central New England. *Ecology* 64,6: 1394–1401.
- Jankowski M. 2001. Warunki występowania, właściwości i geneza gleb śródwymowych wzbogaconych w żelazo. *Roczniki Gleboznawcze* 52: 49–63.
- Jankowski M. 2010. Some aspects of site conditions of heathlands in the Toruń Basin. *Ecological Questions*, 12: 149–156. DOI: 10.2478/v10090-010-0008-x.
- Jankowski M. 2014. The evidence of lateral podzolization in sandy soils of northern Poland. *Catena* 112: 139–147. DOI: 10.1016/j.catena.2013.03.013.
- Linder P. 1998. Structural changes in two virgin boreal forest stands in central Sweden over 72 years. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 451–461. DOI: 10.1080/02827589809383006.
- Obmiński Z. 1970. Zarys ekologii. in: Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. (red. S. Białobok). Warszawa-Poznań, PWN: 152–231.
- Piotrowska 1988. The dynamics of the dune vegetation on the Polish Baltic coast. *Vegetatio* 77: 169–175.
- Różański W., Szwagrzyk J. 1987. Wzniesienie, wystawa i nachylenie jako czynniki kształtujące rozmieszczenie zbiorowisk roślinnych na Pogórzu Wielickim i w przyległej części Beskidów. *Sylvan* 7: 59–69.
- Rykowski K. 2012. Huragan w lasach: klęska czy zakłócenie rozwoju? Nadleśnictwo Pisz, 4 lipca 2002 roku: studium przypadku. Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa. ISBN 978-83-62830-08-4, p. 192.
- Sewerniak P. 2010. Analiza wpływu pożaru na wybrane cechy fitocenozy boru sosnowego w aspekcie hodowli lasu. in: Środowiskowe skutki pożaru lasu (red. P. Sewerniak, S.S. Gonet). Wrocław, Polskie Tow. Subst. Humusowych: 83–107. ISBN 978-83-919331-2-1.
- Sewerniak P., Bednarek R., Szymańska 2011. Ekspozycja stoków wydm w Kotlinie Toruńskiej a wybrane elementy ekosystemu boru sosnowego – wstępne wyniki badań. *Leśne Prace Badawcze* 72,1: 37–46. DOI: 10.2478/v10111-011-0005-x.
- Sewerniak P., Gonet S.S., Quaium M. 2012. Wpływ przygotowania gleby frezem leśnym na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej w warunkach ubogich siedlisk Puszczy Bydgoskiej. *Sylvan* 11: 871–880.

- Sewerniak P., Jankowski M., Dąbrowski M. 2013. Impact of mesorelief on ecopedological conditions on inland dunes in sub-boreal zone (studies from northern Poland). International Soil Science Conference “Soils in Space and Time”, Ulm 29.09-04.10.2013. Book of Abstracts: 329–330.
- Socha J. 2008. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathian, Poland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 203–213. DOI: 10.1080/02827580802037901.
- Wasilewski S. 2004. Zarys historii toruńskiego poligonu artyleryjskiego. Toruń, Centrum Szkolenia Artylerii i Uzbrojenia im. gen. J. Bema, p. 47.
- Wecwerth P. 2010. Evolution of the Toruń Basin in the Late Weichselian. *Landform Analysis* 14: 57–84.
- Wójcik G., Marciniak K. 2006. Klimat. in: Toruń i jego okolice. Monografia przyrodnicza. (red. L. Andrzejewski, P. Weckwerth, Sz. Burak). Toruń, Wyd. UMK: 99–128. ISBN 83-231-2024-2.

Author’s contribution

P.S. – research concept, execution of fieldwork, interpretation of results, literature review, manuscript preparation;
Ł.M. – comparison of data, spatial analysis of results.