

PIOTR SEWERNIAK, PAWEŁ STELTER

## Wpływ sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej temperatury na wydmachach Kotliny Toruńskiej\*

Effect of site preparation method on dynamics of soil temperature on inland dunes of the Toruń Basin

### ABSTRACT

Sewerniak P., Stelter P. 2016. Wpływ sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej temperatury na wydmachach Kotliny Toruńskiej. Sylwan 160 (11): 923-932.

The objective of the study was to determine the dynamics of soil temperature on inland dunes in the Toruń Basin (N Poland) with reference to the two methods of site preparation: homogenization of belts with a forest mill (FR) and preparation of trenches with a double-mouldboard plough LPZ-75 (LPZ). The study was conducted in a young Scots pine (*Pinus sylvestris*) plantation on plots with soil prepared by a forest mill on north- and south-facing slopes of a dune (FR-N and FR-S respectively) and with soil prepared with a plough on the ridge of a small aeolian mound (LPZ). On each plot a soil pit was dug and soil samples were taken from distinguished horizons for laboratory analyses. Besides, from April to December of 2013, at interval of ca. two weeks, soil temperature was measured at the depths of 3, 10, 25 and 50 cm. To estimate daily amplitudes of temperature in topsoil on the studied plots, in a sunny summer day (23.08.2013) the temperature was additionally measured from 5 a.m. to 9 p.m. with an hourly interval. These measurements were taken at the two upper depths (3 and 10 cm). Despite the fact that soil surface was distinctly darker for belts prepared with a mill than in trenches prepared by a plough, soil temperatures were almost regularly lower in FR-N and in FR-S than in LPZ. This concerns all the investigated depths. The differences were explained by much higher moisture of soil material in belts what involves higher thermal capacity and with that slower heat of a soil, as well as causes higher losses of thermal energy for evaporation. Another agent explaining this was indicated to be related to high porosity of materials found in the belts. Namely, especially in dry periods, high volume of soil pores are filled on the FR plots with air what impedes heat transfer in a soil. It was concluded that stated in a previous study worse growth of pines planted in milled belts than in trenches prepared with a plough was unlikely related to differences in soil thermal conditions. Thus, differences in growth dynamics of young pines in plots with site prepared by the two studied methods are caused by other reasons rather as primarily other competitive impact of weeds and differences in soil water conditions occurring at root system of young trees.

### KEY WORDS

soil, thermal conditions, site preparation, inland dunes, topography, Podzols, dry areas

### ADDRESSES

Piotr Sewerniak <sup>(1)</sup> – e-mail: sewern@umk.pl

Paweł Stelter <sup>(2)</sup> – e-mail: pawel.stelter@brzeg.buligl.pl

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

<sup>(1)</sup> Katedra Gleboznawstwa i Kształtowania Krajobrazu, Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu; ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

<sup>(2)</sup> Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Oddział w Brzegu, ul. Piastowska 9; 49-300 Brzeg

## Wstęp

Zagadnienie wpływu sposobu przygotowania gleby na ekosystem leśny badane jest najczęściej w kontekście udatności upraw i parametrów wzrostowych młodych drzew [Mäkitalo 1999; Ceitel i in. 2003; Andrzejczyk, Augustyniak 2007; Pigan 2010; Żybura i in. 2016], natomiast prace dotyczące różnic w glebie spowodowanych odmiennym sposobem jej uprawy nie są częste. W głównej mierze poświęcone są one wpływowi poszczególnych metod na bilans pierwiastków pokarmowych [Mucha i in. 1985; Piirainen i in. 2009], a także na morfologię gleby, skalę przestrzenną występowania gleb przekształconych uprawą w lasach oraz na tempo regeneracji gleby po przeprowadzonym zabiegu [Sewerniak i in. 2011b, 2012, 2014]. Zagadnienie wpływu sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej temperatury w warunkach polskich lasów nie było do tej pory szczegółowo badane, chociaż temperatura gruntu jest ważnym czynnikiem ekologicznym, który wpływa nie tylko na kierunek i szybkość wielu procesów zachodzących w glebie [Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Wei i in. 2010], lecz także na zdrowotność [Mykhayliv, Sierota 2010] oraz fizjologię i wzrost drzew [Strand i in. 2002; Peng, Dang 2003; Mellander i in. 2004]. W związku z tym w ostatnich badaniach przeprowadzonych w lasach Kotliny Toruńskiej zasugerowano, że różnice w temperaturze gleby mogą być jedną z potencjalnych przyczyn stwierdzonych odmienności w dynamice wzrostu młodych sosen na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem leśnym i pługiem LPZ [Sewerniak i in. 2012].

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu sposobu przygotowania gleby (frezem leśnym oraz pługiem LPZ) na dynamikę jej temperatury na wydmach Kotliny Toruńskiej. Praktycznym celem badań dla gospodarki leśnej było rozpoznanie, czy materiał w pasach zhomogenizowanych frezem nagrzewa się silniej niż ten w brzdach przygotowanych pługiem, co potencjalnie mogłoby powodować różnice we wzroście sosen na etapie uprawy [Sewerniak i in. 2012]. Dodatkowym czynnikiem uwzględnionym w badaniach jest rzeźba terenu, co nawiązuje do urozmaiconego reliefu śródlądowych pól wydmych, które stanowią charakterystyczny, typowy element krajobrazu lasów Kotliny.

## Terem badań

Badania przeprowadzono w Kotlinie Toruńskiej, która pod względem regionalizacji przyrodniczo-leśnej stanowi część mezoregionu Kotliny Toruńsko-Płockiej w krainie Wielkopolsko-Pomorskiej [Zielony, Kliczkowska 2012]. Teren badań jest obszarem o dużym nagromadzeniu wydmy śródlądowych, na których dominują suche i ubogie w składniki pokarmowe gleby bielcowe [Bednarek, Jankowski 2006]. Kotlina Toruńska cechuje się niewielką ilością opadów atmosferycznych, ze średnią wieloletnią wynoszącą 522,5 mm [Wójcik, Marciniak 2006]. Średnia roczna temperatura powietrza atmosferycznego dla terenu badań wynosi 7,9°C, najchłodniejszym miesiącem jest przeciętnie styczeń (średnia wieloletnia -2,2°C), a najcieplejszym lipiec (18,1°C). Przymrozki na wysokości 5 cm nad powierzchnią gruntu trwają średnio do 25 maja, natomiast pierwsze przymrozki jesienne pojawiają się przeciętnie 19 września [Wójcik, Marciniak 2006].

Obiektem niniejszych badań była uprawa sosnowa położona w oddziale 224b obrębu i Nadleśnictwa Cierpiszewo (52°57'32"N, 18°31'46"E) na siedlisku boru świeżego. Na uprawie tej gleba przed posadzeniem sadzonek została przygotowana dwoma sposobami: na położonej równoleżnikowo wydmy (o wysokości względnej około 8 m) przygotowano pasy frezem leśnym produkcji

OTL Jarocin, natomiast na pozostałej części, gdzie teren miał charakter relatywnie równy, wyorano pługiem LPZ-75 bruzdy o głębokości około 15 cm (w porównaniu z naoranymi międzyrzędami). Badania przeprowadzono w 2013 roku, w pierwszym sezonie wegetacyjnym wzrostu młodych sosen na uprawie, na trzech powierzchniach różniących się pod względem sposobu przygotowania gleby oraz położenia w rzeźbie terenu: gleba przygotowana frezem – stok północny wydmy (symbol powierzchni: FR-N), gleba przygotowana frezem – stok południowy wydmy (FR-S) oraz gleba przygotowana pługiem – grzbiet słabo zaznaczającej się w rzeźbie terenu niewielkiej formy eolicznej o wysokości około 1 m (LPZ).

## Materiał i metody

W środkowej części obu badanych stoków oraz pagórka eolicznego z glebą przygotowaną pługiem wykopano odkrywkę glebową oraz pobrano próbki do analiz laboratoryjnych z poziomów genetycznych gleby. W pobranych próbkach analizowano: gęstość objętościową ( $S_o$ ) i wilgotność aktualną gleby ( $W$ ) metodą suszarkowo-wagową w próbkach materiału pobranego do metalowych cylinderków o objętości 100 cm<sup>3</sup>; zawartość glebowej materii organicznej (SOM) jako straty prażenia próbki w temperaturze 550°C; uziarnienie metodą sitową oraz barwę w stanie suchym według Munsella [Revised... 2000]. Na podstawie uzyskanych wartości gęstości objętościowej oraz zawartości materii organicznej obliczono gęstość właściwą [Marcinek, Szychalski 1987], a następnie porowatość ogólną [Bednarek i in. 2005] dla poziomów genetycznych badanych gleb.

W okresie od wczesnej wiosny do późnej jesieni 2013 roku, w interwale około dwóch tygodni, przeprowadzono na badanych powierzchniach pomiary temperatury gleby – łącznie w 17 terminach: 20.04., 04.05., 17.05., 31.05., 14.06., 30.06., 14.07., 26.07., 10.08., 23.08., 09.09., 20.09., 04.10., 18.10., 04.11., 18.11. i 04.12.2013 roku. W każdym dniu pomiaru na każdej powierzchni badawczej wykonywano wkop do głębokości około 60 cm, w którym mierzono temperaturę mineralnej części gleby na 4 głębokościach: 3, 10, 25 oraz 50 cm. Pomiary temperatury wykonywano elektronicznym termometrem po wcisnięciu poziomo w glebę jego ogniwa pomiarowego na głębokość około 12 cm. Ze względu na to, że temperatura górnej części gleby jest wyraźnie zależna od dobowej dynamiki dopływającego do powierzchni gruntu promieniowania słonecznego [Tomanek 1972; Puchalski, Prusinkiewicz 1990], pomiary w poszczególnych dniach starano się wykonywać na badanych powierzchniach w jak najkrótszym przedziale czasu. W praktyce prowadzenia prac od pierwszego do ostatniego pomiaru temperatury w danym dniu pomiarowym upływało przeciętnie około pół godziny. Równoległe do badań dynamiki temperatury gleb na założonych powierzchniach badano w 2013 roku także dynamikę ich wilgotności.

W celu oszacowania skali maksymalnej dobowej amplitudy temperatury gleby na badanych powierzchniach podczas pogodnego, ciepłego i bezdeszczowego letniego dnia (23.08.2013) przeprowadzono pomiary dynamiki dziennej tego parametru na trzech analizowanych stanowiskach. Pomiary te wykonano od godziny 5:00 do 21:00 dla dwóch górnych głębokości (3 i 10 cm). Odczyty temperatury gleby wykonywano co godzinę na sześciu zamontowanych na stałe w dniu pomiaru glebowych termometrach rtęciowych.

Wykresy obrazujące kształtowanie się termochronoizoplek w glebach badanych powierzchni wykonano w programie SURFER v9. Analizę istotności statystycznej różnic między średnimi przeprowadzono za pomocą nieparametrycznego testu ANOVA Kruskala-Wallisa, z wykorzystaniem testu wielokrotnych porównań, w pakiecie Statistica 9.0 (StatSoft, Inc.). W celu porównania średnich uzyskanych na podstawie wyników dla wszystkich dni pomiarowych opracowano (osobno dla każdego dnia i dla każdej głębokości pomiaru każdej powierzchni) względny wskaźnik temperatury ( $W_T$ ), według następującego wzoru:

$$W_T = x - x_{sr}$$

gdzie:

$x$  – wartość temperatury gleby na danej głębokości w danym dniu pomiaru dla powierzchni badawczej,

$x_{sr}$  – średnia wartość temperatury gleby na danej głębokości w danym dniu pomiaru dla trzech badanych powierzchni.

Opracowanie wskaźnika  $W_T$  umożliwiło prześledzenie statystyczne różnic w kształtowaniu się temperatury na badanych powierzchniach dla danej głębokości na podstawie wszystkich terminów pomiarów. Byłoby to niemożliwe dla porównania wykonanego na podstawie wartości bezwzględnych, gdyż temperatura powierzchniowych warstw gruntu jest silnie zależna od pory roku [Tomanek 1972], a więc zmienność temperatury odzwierciedlałaby przede wszystkim wpływ terminu pomiaru, a w znacznie mniejszym stopniu różnice spowodowane sposobem przygotowania gleby.

## Wyniki

**PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI GLEB.** Na wszystkich badanych powierzchniach występowały gleby bielcowe powstałe z silnie wysortowanego piasku luźnego. Materiał budujący wszystkie mineralne poziomy badanych gleb składał się niemal wyłącznie (87-95%) z frakcji o rozmiarach 0,5-0,1 mm (piasek średni i piasek drobny). W pasach na stokach przygotowanych frezem powstały, na skutek zmieszania pierwotnego poziomu organicznego ze stropem mineralnej części gleby, poziomy Ap. Na skutek takiej genezy charakteryzowały się one wyraźnie najciemniejszą barwą (7,5YR 3/1 i 10YR 3/2), najniższą gęstością objętościową (0,64 i 0,73 g/cm<sup>3</sup>) oraz najwyższą porowatością (73 i 71%) i wilgotnością (46,6 i 28,9%), a także najwyższą zawartością materii organicznej (11,1 i 7,35%) spośród wszystkich analizowanych poziomów (tab.).

**DYNAMIKA TEMPERATURY W OKRESIE WIOSNA-JESIEŃ.** Dla większości dni pomiarowych temperatura gleby była najwyższa w bruzdach wyoranych pługiem LPZ. Dotyczy to szczególnie większych głębokości (10, 25 i 50 cm), natomiast tuż przy powierzchni gleby (na głębokości 3 cm) jej temperatura w bruzdach była zbliżona do temperatury w pasach na stoku południowym, szczególnie w okresie jesiennym (ryc. 1). Na stoku południowym odnotowano 26.07.2013 roku najwyższą temperaturę podczas prowadzenia badań – w okresie letniej suszy gleba na głębokości 3 cm osiągnęła 33,2°C (w bruzdzie odnotowano wtedy na tej głębokości 30,0°C, a na stoku północnym 26,9°C; ryc. 1). Najniższą temperaturą cechowała się najczęściej gleba na północnej ekspozycji wydmy, co dotyczy wszystkich badanych głębokości (ryc. 1). Powyższe relacje potwierdza analiza wskaźnika  $W_T$ , którego wartości są dla wszystkich badanych głębokości konsekwentnie najwyższe na powierzchni LPZ, niższe na FR-S, zaś najniższe na FR-N (ryc. 2). Różnice między wartościami tego wskaźnika uzyskanymi dla powierzchni FR-N w porównaniu z FR-S i LPZ są istotne statystycznie dla wszystkich głębokości. Dla głębokości 10 cm różnice te są istotne także pomiędzy pasami na stoku południowym a bruzdami wyoranymi pługiem. Dla głębokości 25 cm różnica między FR-S a LPZ jest na granicy istotności ( $p=0,06$ ), natomiast jest ona nieistotna dla głębokości 3 i 50 cm (ryc. 2).

Warto zwrócić uwagę, że na każdej badanej powierzchni amplituda temperatury gleby oraz jej różnice między powierzchniami maleją wraz z głębokością. Widoczne jest to zarówno na wykresach przedstawiających dynamikę przebiegu temperatury (ryc. 1), jak i na rycinach ukazujących wartości średnie oraz wartości odchyłeń standardowych wskaźnika  $W_T$  (ryc. 2).

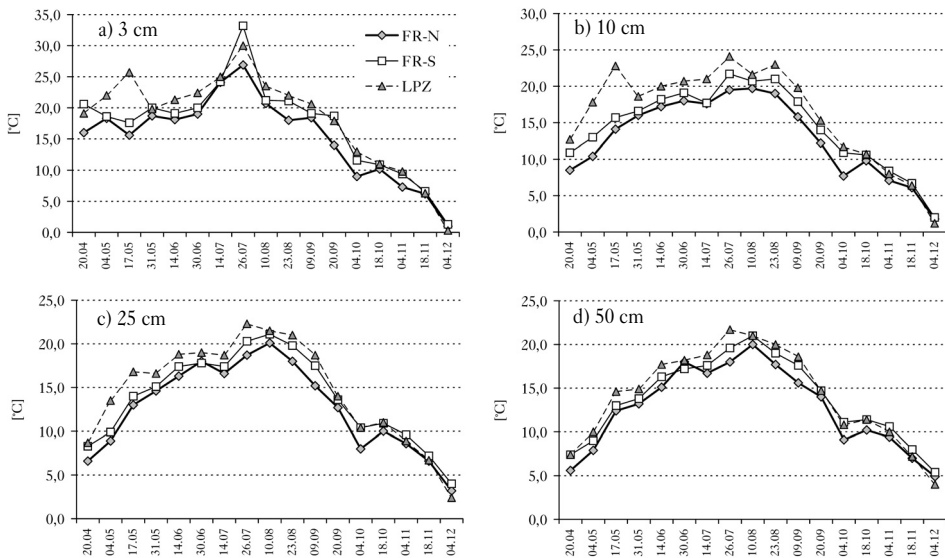
Tabela.

Barwa w stanie suchym (barwa), gęstość objętościowa (So [g/cm<sup>3</sup>]), porowatość (P [%]), wilgotność aktualna (W [%]) oraz zawartość glebowej materii organicznej (SOM [%]) w poziomach genetycznych badanych gleb  
 Colour dry (barwa), bulk density (So [g/cm<sup>3</sup>]), porosity (P [%]), actual moisture (W [%]) and soil organic matter content (SOM [%]) in the horizons of the studied soils

Głębokość Depth [cm]		Barwa	So	P	W	SOM
FR-N						
Ap	0-16	7,5YR 3/1	0,64	73	46,6	11,1
Bhs	16-30	7,5YR 5/6	1,35	49	8,9	2,36
Bs	30-42	7,5YR 6/6	1,45	45	4,4	0,95
BC	42-60	7,5YR 7/6	1,49	44	4,1	0,45
C	60-100	10YR 7/4	1,48	–	4,0	0,22
FR-S						
Ap	0-14	10YR 3/2	0,73	71	28,9	7,35
Bs	14-25	10YR 6/6	1,39	47	6,9	1,22
BC	25-45	10YR 7/4	1,48	44	4,0	0,52
C	45-100	10YR 7/3	1,49	–	4,3	0,23
LPZ						
(A)	0-3	10YR 6/2	–	–	–	1,71
Bhs	3-8	10YR 5/3	1,43	45	8,3	1,90
Bs	8-15	10YR 6/4	1,45	45	5,4	1,37
BC	15-40	10YR 7/4	1,47	44	3,5	0,42
C	40-100	10YR 7/3	1,52	–	3,8	0,26

FR-N – gleba przygotowana frezem na północnym stoku wydmy, FR-S – gleba przygotowana frezem na południowym stoku wydmy, LPZ – gleba przygotowana pługiem

FR-N – soil prepared by a forest mill on the north-facing slope of a dune, FR-S – soil prepared with a forest mill on the south-facing slope of a dune, LPZ – soil prepared with a plough



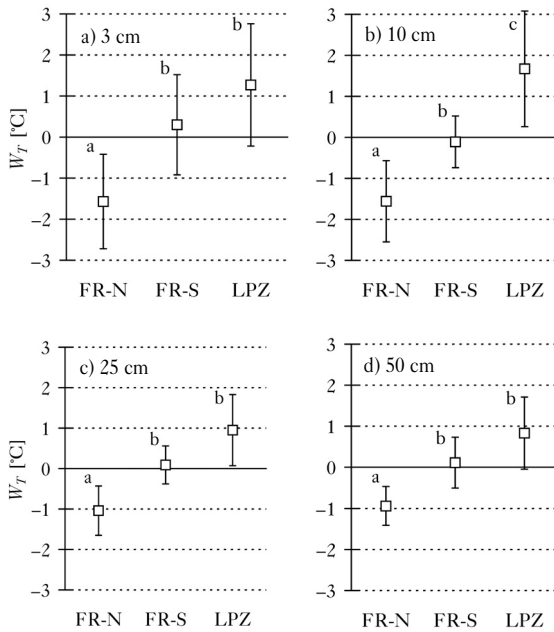
Ryc. 1.

Dynamika temperatury (20.04.-04.12.2013) badanych gleb  
 Dynamics of temperature (20.04.-04.12.2013) of the studied soils  
 Oznaczenia jak w tabeli; denotes as in the table

DOBOWA DYNAMIKA TEMPERATURY. Dla obu badanych głębokości amplituda temperatury gruntu była wyższa na powierzchni LPZ niż na stokach z glebą przygotowaną frezem (na głębokości 3 cm – LPZ: 13,0, FR-N: 11,6, FR-S: 11,7°C; na głębokości 10 cm – LPZ: 6,3°C, FR-N: 4,0°C, FR-S: 4,8°C), jednak na wszystkich badanych powierzchniach amplitudy były wyższe na głębokości 3 niż 10 cm (ryc. 3). Dla powierzchni LPZ stwierdzono również wyraźnie silniejsze niż na stokach obu ekspozycji nagrzewanie się stropu gleby w godzinach popołudniowo-wieczornych (ryc. 3).

### Dyskusja

Ilość energii słonecznej padającej na jednostkę powierzchni jest największa dla płaszczyzny prostopadłej do promieniowania słońca, natomiast wraz z odchyleniem tego kąta od 90° ilość docie-



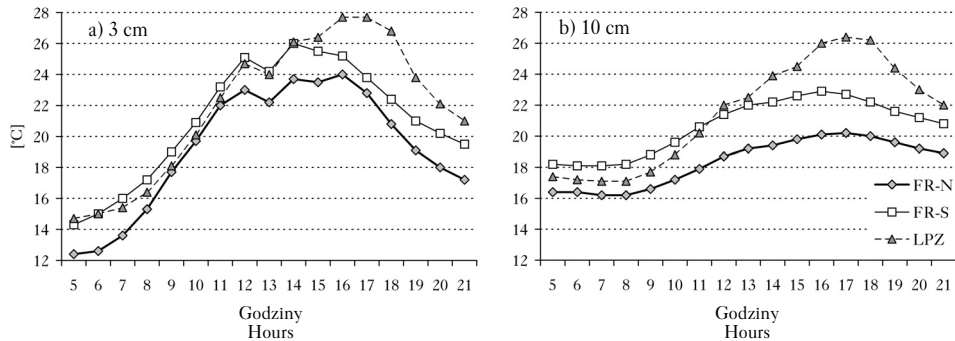
Ryc. 2.

Średnie wartości ( $\pm$ SD) względnego wskaźnika temperatury gleby ( $W_T$ ) dla badanych powierzchni uzyskane na podstawie wszystkich 17 dni pomiarowych

Mean values ( $\pm$ SD) of the relative soil temperature index ( $W_T$ ) obtained for the study plots on the basis of the all 17 measurement days

Oznaczenia jak w tabeli; różne litery oznaczają istotność różnicy między średnimi dla  $p < 0,05$

Denotes as in the table; Different letters indicate significant difference of means at  $p < 0.05$



Ryc. 3.

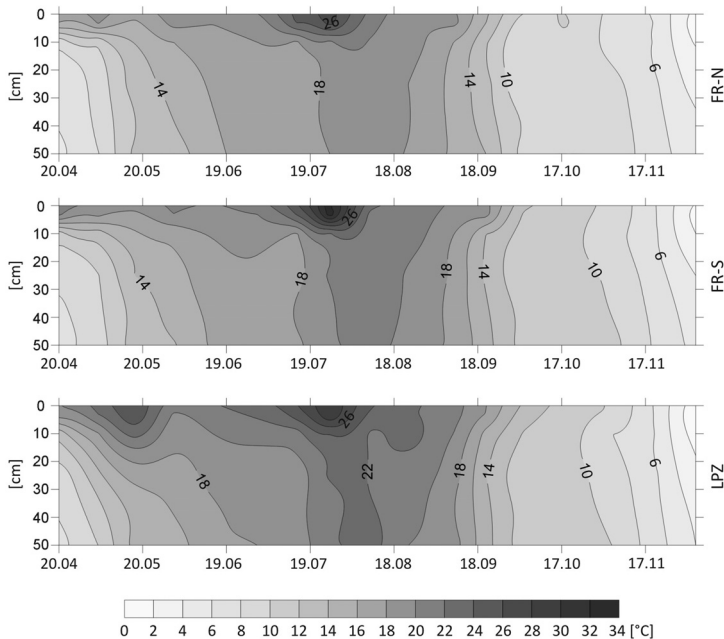
Dobowa dynamika temperatury stropu badanych gleb (23.08.2013)

Daily dynamics of the topsoil temperature in the studied plots (23.08.2013)

Oznaczenia jak w tabeli; denotes as in the table

rającej energii zmniejsza się [Tomanek 1972]. Ma to odzwierciedlenie m.in. w wyższej temperaturze powietrza na stokach o wystawie słonecznej niż cienie [Cantlon 1953; Sewerniak i in. 2011a], a także gleby [Cantlon 1953; Ashcroft i in. 2008]. W związku z tym w niniejszych badaniach należałoby się spodziewać, że temperatura gleby będzie na tej samej głębokości konsekwentnie najwyższa na stoku południowym, niższa na relatywnie płaskiej powierzchni LPZ, a najniższa na stoku północnym wydmy. Odmiennosc uzyskanych wyników od tego schematu można tłumaczyć tym, że chociaż rzeźba terenu i warunkowana nią ilość dopływającej energii słonecznej do powierzchni gruntu jest powszechnie sygnalizowanym czynnikiem wpływającym na temperaturę gleby [Cantlon 1953; Puchalski, Prusinkiewicz 1990], to ważny wpływ na kształtowanie termiki gruntu mają także inne czynniki. Spośród nich do najistotniejszych zaliczyć należy pojemność cieplną i przewodnictwo cieplne gruntu [Tomanek 1972].

Pojemność cieplna gleby zwiększa się znacznie wraz ze wzrostem jej wilgotności, co powoduje, że gleby wilgotne nagrzewają się wolniej niż gleby suche [Tomanek 1972]. Poza tym gleba ulega ochłodzeniu podczas parowania wody [Puchalski, Prusinkiewicz 1990]. Czynniki te mogą w dużym stopniu tłumaczyć fakt, że najwyższą temperaturę gleby stwierdzano na badanych powierzchniach najczęściej w brzdach, w których materiał charakteryzuje się wyraźnie mniejszą wilgotnością niż w pasach zhomogenizowanych frezem. Taka zależność wilgotności jest typowa dla porównywanych metod leśnej uprawy gleby i była stwierdzana także na innych powierzchniach badawczych [Sewerniak i in. 2011b, 2012]. Znacznie szybsze nagrzewanie się gleby na wiosnę oraz wyraźnie szybsze przenikanie ciepła w głąb gruntu o tej porze roku na powierzchni LPZ w porównaniu z pasami przygotowanymi frezem jest wyraźnie widoczne w układzie termochronoizoplek (ryc. 4). Kształt izolinii odzwierciedla również opóźnienie i wygasanie oraz głębokość występowania



Ryc. 4.

Sezonowe zmiany temperatury badanych gleb dla okresu 20.04.-04.12.2013  
 Seasonal (20.04.-04.12.2013) changes of soil temperature in the studied plots  
 Oznaczenia jak w tabeli; denotes as in the table



ekstremalnych „plam ciepła” w gruncie, a także odgórne jego ochładzanie w okresie jesiennym, co jest zjawiskiem typowym dla rocznej dynamiki temperatury gleby [Bednarek 1967; Puchalski, Prusinkiewicz 1990].

Przewodnictwo cieplne gruntu wzrasta wraz ze wzrostem jego wilgotności [Tomanek 1972], co potencjalnie mogłoby sprzyjać przenikaniu ciepła w głąb gleby w pasach przygotowanych frezem ze względu na relatywnie wysoką wilgotność występującego tam materiału. Najczęściej wyraźnie wyższa temperatura gleby w brzdach niż w pasach (nawet na stoku południowym) sugeruje jednak, że przewodnictwo cieplne materiału w poziomach Ap jest niższe, niż wynikałoby to jedynie z jego wilgotności. Może to wiązać się z jego wysoką porowatością (tab.), co powoduje, że udział porów wypełnionych powietrzem jest w pasach (szczególnie w okresach suchych) znacznie wyższy niż w brzdach. Powietrze natomiast cechuje się słabym przewodnictwem cieplnym, w związku z czym jego objętość występująca w glebie jest ujemnie skorelowana z przewodnictwem cieplnym gruntu [Tomanek 1972].

Uzyskane wyniki dostarczają nowych danych do interpretacji różnic we wzroście sadzonek sosny w zależności od wykorzystanego sposobu przygotowania gleby. W większości dotychczasowych badań sygnalizuje się korzystniejsze cechy przyrostowe młodych sosen na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem w porównaniu z innymi metodami [Gorczyca, Iskra 2005; Marciniak 2007; Pigan 2010] lub nie stwierdza się istotnego wpływu sposobu przygotowania gleby na wzrost tego gatunku [Żyburka i in. 2016]. W badaniach wykonanych w Kotlinie Toruńskiej wykazano natomiast występowanie korzystniejszych cech przyrostowych sadzonek sosny na powierzchni z glebą przygotowaną pługiem LPZ niż frezem, pomimo potencjalnie mniej korzystnych warunków glebowych (wilgotnościowych i troficzných) występujących w rzędach wyoranych pługiem. Sewerniak i in. [2012] za jedną z możliwych potencjalnych przyczyn uzyskania takich wyników uznali silne nagrzewanie się powierzchniowej warstwy gleby w pasach przygotowanych frezem. Sugestia ta była tłumaczona występowaniem ciemniejszej barwy materiału w pasach niż w brzdach (zostało to także stwierdzone w niniejszych badaniach; tab.), gdyż gleby o jasnej barwie, dzięki dużej zdolności odbijania promieni słonecznych, nagrzewają się w ciągu dnia mniej intensywnie od gleb ciemnych [Tomanek 1972]. Uzyskane wyniki badań sugerują jednak, że w skali całego sezonu wegetacyjnego warunki termiczne w pasach zhomogenizowanych frezem nie są dla młodych drzew gorsze od tych, które występują w brzdach. Optymalna temperatura gruntu dla wzrostu sadzonek sosny zwyczajnej w okresie wiosennym mieści się w przedziale 5-15°C, natomiast wyższa temperatura wiąże się ze słabszym wzrostem młodych drzew [Lyr, Garbe 1995]. W tym kontekście można założyć, że pod względem temperatury gruntu sadzonki sosny mogą znajdować korzystniejsze warunki nie w brzdach, lecz w pasach, w których nagrzewanie się strefy ukorzenia sadzonek jest przeważnie znacznie mniejsze (nawet na ekspozycji południowej). Wydaje się zatem, że spotykana niekiedy relatywnie słabą dynamikę wzrostu sosen na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem łączyć należy przede wszystkim z innymi, pozatermicznymi przyczynami zasugerowanymi przez Sewerniaka i in. [2012], tj. różnicami w presji runa oraz przyjmowaniem cech hydrofobowych przez materiał z pasów w okresach suchych. Jak wskazują uzyskane wyniki, potencjalnym termicznym zagrożeniem dla młodych drzew rosnących w pasach na stokach o ekspozycji południowej może być natomiast występujące podczas susz wiosenno-letnich większe ryzyko wystąpienia maksymalnej temperatury gleby tuż przy powierzchni gruntu na tej wystawie. Przeprowadzone badania nie rozstrzygają jednak, czy na stokach południowych gleba w brzdach nie nagrzewałaby się w takich okresach jeszcze silniej niż w pasach przygotowanych frezem.



## Wnioski

- ✦ Sposób przygotowania gleby oraz rzeźba terenu wyraźnie wpływają na kształtowanie się temperatury gruntu w strefie ukorzenia młodych drzew.
- ✦ Gleba w brzdach przygotowanych pługiem LPZ cechuje się w okresie wegetacyjnym większymi sezonowymi amplitudami temperatury oraz przeważnie wyższą temperaturą niż gleba w pasach przygotowanych frezem.
- ✦ Przeważnie wyraźnie słabsze nagrzewanie się gleby w pasach zhomogenizowanych frezem niż w brzdach, pomimo znacznie ciemniejszej barwy powierzchni gruntu, może być tłumaczone przez: 1) wynikającą z większej wilgotności większą pojemność cieplną materiału, 2) większe straty energii na odparowanie wody oraz 3) słabsze przewodnictwo cieplne materiału spowodowane jego wysoką porowatością.

## Podziękowania

Autorzy serdecznie dziękują pracownikom Katedry Meteorologii i Klimatologii UMK w Toruniu za konsultacje oraz wypożyczenie termometrów do badań terenowych. Dziękujemy także pracownikom Nadleśnictwa Cierpiszewo za przychylność dla naszych prac.

## Literatura

- Andrzejczyk T., Augustyniak G. 2007. Wpływ przygotowania gleby na wzrost sosny zwyczajnej w pierwszych latach uprawy. Sylwan 151 (8): 3-8.
- Ashcroft M. B., Chisholm L. A., French K. O. 2008. The effect of exposure on landscape scale soil surface temperatures and species distribution models. Landscape Ecol. 23: 211-225.
- Bednarek A. 1967. Analiza porównawcza stosunków termicznych w niektórych zespołach leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. Folia For. Polon. A 13: 157-236.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojka U., Prusinkiewicz Z. 2005. Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Bednarek R., Jankowski M. 2006. Gleby. W: Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak S. [red.]. Toruń i jego okolice. Wyd. UMK, Toruń. 153-175.
- Cantlon J. E. 1953. Vegetation and microclimates on north and south slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. Ecol. Monogr. 3: 241-270.
- Ceitel J., Barzdajn W., Zientarski J. 2003. Wpływ przygotowania gleby po pożarze lasu na przeżywalność i wzrost wybranych gatunków drzew. Sylwan 147 (6): 3-13.
- Gorzycza J., Iskra T. 2005. Frez czy plug? Las Polski 20: 24-25.
- Lyr H., Garbe V. 1995. Influence of root temperature on growth of *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata* and *Quercus robur*. Trees 9: 220-223.
- Mäkitalo K. 1999. Effect of Site Preparation and Reforestation Method on Survival and Height Growth of Scots Pine. Scand. J. For. Res. 14: 512-525.
- Marcinek J., Spsychalski M. 1987. Wpływ zawartości materii organicznej na fizyczne właściwości gleb hydromorficznych. Roczn. Ak. Roln. w Poznaniu 182: 19-33.
- Marciniak P. 2007. Pozostałości zrębowe i przygotowanie gleby a uprawa sosnowa. Las Polski 1: 20-21.
- Mellander P. E., Bishop K., Lundmark T. 2004. The influence of soil temperature on transpiration: a plot scale manipulation in a young Scots pine stand. For. Ecol. Manage. 195: 15-28.
- Mucha W., Sienkiewicz A., Cichocka I. 1985. Wpływ przygotowania bielicowych gleb leśnych na dynamikę ważniejszych składników odżywczych. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, Pr. Kom. Nauk Roln. i Leśn. 60: 101-107.
- Mykhayliv O., Sierota Z. 2010. Zagrożenie drzewostanów ze strony huby korzeni w zależności od temperatury gleby i opadów. Leś. Pr. Bad. 71 (1): 51-59.
- Peng Y. Y., Dang Q. L. 2003. Effects of soil temperature on biomass production and allocation in seedlings of four boreal tree species. For. Ecol. Manage. 180: 1-9.
- Pigan I. 2010. Odnowienie naturalne sosny (*Pinus sylvestris* L.) na siedliskach wilgotnych przy zastosowaniu różnych metod przygotowania gleby. Sylwan 154 (8): 524-534.
- Piirainen S., Finér L., Mannerkoski H., Starr M. 2009. Leaching of cations and sulphate after mechanical site preparation at a boreal forest clear-cut area. Geoderma 149: 386-392.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.

Revised Standard Soil Color Charts. 2000. Tokio.

Sewerniak P., Bednarek R., Szymańska A. 2011a. Ekspozycja stoków wydm w Kotlinie Toruńskiej a wybrane elementy ekosystemu boru sosnowego – wstępne wyniki badań. *Leś. Pr. Bad.* 72 (4): 311-319.

Sewerniak P., Fifielska D., Bednarek R. 2014. Przekształcenia morfologii i właściwości gleb na skutek zabiegów przygotowujących glebę do odnowienia drzewostanu. W: Świtoniak M., Jankowski M., Bednarek R. [red.]. *Antropogeniczne przekształcenia pokrywy glebowej Brodnickiego Parku Krajobrazowego*. Wyd. Nauk. UMK, Toruń. 25-41.

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* 156 (11): 871-880.

Sewerniak P., Gonet S. S., Quaium M., Słomiński W. 2011b. Przygotowanie gleby do odnowienia drzewostanu jako czynnik kształtujący pokrywę glebową na przykładzie leśnictwa Zielona w Kotlinie Toruńskiej. W: Jankowski M. [red.]. *Wybrane problemy genezy, systematyki, użytkowania i ochrony gleb regionu kujawsko-pomorskiego*. Pol. Tow. Subs. Humus. Wrocław – Warszawa. 135-147.

Strand M., Lundmark T., Söderbergh I., Mellander P. E. 2002. Impacts of seasonal air and soil temperatures on photosynthesis in Scots pine trees. *Tree Physiology* 22: 839-847.

Tomanek J. 1972. *Meteorologia i klimatologia dla leśników*. PWRiL, Warszawa.

Wei W., Weile C., Shaopeng W. 2010. Forest soil respiration and its heterotrophic and autotrophic components: Global patterns and responses to temperature and precipitation. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 1236-1244.

Wójcik G., Marciniak K. 2006. *Klimat*. W: Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak S. [red.]. Toruń i jego okolice. Wyd. UMK, Toruń. 99-128.

Zielony R., Kliczkowska A. 2012. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010*. CILP, Warszawa.

Żybura H., Aleksandrowicz-Trzczińska M., Drozdowski S., Wolezyk Z. 2016. Wpływ sposobu postępowania z pozostałościami zrębowymi i przygotowania gleby na zrębie na wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w 6-letniej uprawie. *Sylwan* 160 (4): 267-276.