

PIOTR SEWERNIAK, PAWEŁ STELTER, RENATA BEDNAREK

Wpływ sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej warunków wodnych na wydmach Kotliny Toruńskiej*

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

ABSTRACT

Sewerniak P., Stelter P., Bednarek R. 2017. Wpływ sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej warunków wodnych na wydmach Kotliny Toruńskiej. Sylwan 161 (1): 52-61.

The research was conducted in a young Scots pine (*Pinus sylvestris*) plantation located in a dune area of the Toruń Basin (N Poland). The aim of the study was to investigate differences in dynamics of soil water conditions followed different method used for site preparation. The three plots were investigated in the study: belt of soil prepared by a mill, north-facing slope of a dune (FR-N), belt of soil prepared with a mill, south-facing slope of a dune (FR-S) and soil prepared with a plough (furrows) on the ridge of a small aeolian mound (LPZ). On each plot soil samples were taken and soil moisture was regularly measured from April to December of 2013 (the TDR method). The measurements of soil moisture were taken at four depths (3, 10, 25 and 50 cm) at intervals of ca. 2 weeks. Additionally, soil moisture was also measured on 25.08.2015. It was done to determine soil water conditions for a deep summer drought (the measurements were taken twice this day – just before and after rain which turned to be the first since ca. a month). Reserves of soil moisture and shares of water unavailable to plants were calculated for every measure day for each study plot. As a result of higher organic carbon content, values of soil actual moisture as well as reserves of soil moisture were almost regularly higher for belts mixed with a mill than for furrows prepared with a plough (fig. 1, 3). Opposite relation was found, however for the summer drought (tab. 2). This was explained by the higher repellence of rich in organic mater, dried material occurring in belts. On 25.08.2015 much lower improvement of water conditions after rain was also stated for this material than for topsoil in LPZ. Unfavoured soil water conditions for plants occurring in belts in dry periods could explain relatively low dynamics of pine growth revealed for the variant of soil preparation in a previous study. However, it was concluded that a forest mill should be recommended for forestry, because the device much less disturbs topsoil than a plough. Besides, differences in growth parameters of pines followed different methods of soil preparation used before planting decline in next years of a stand growth.

KEY WORDS

soil, site preparation, forest site, inland dunes, topography, Podzols, dry areas

ADDRESSES

Piotr Sewerniak ⁽¹⁾ – e-mail: sewern@umk.pl
 Paweł Stelter ⁽²⁾ – e-mail: pawel.stelter@brzeg.buligl.pl
 Renata Bednarek ⁽¹⁾ – e-mail: bednarek@umk.pl

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

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

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

Wstęp

W lasach nizinnych Polski dominują autogeniczne gleby piaszczyste [Prusinkiewicz i in. 1980], o których wilgotności decyduje przede wszystkim próchnica glebowa, warunkująca wydajność sorpcji wody z opadów atmosferycznych [Bednarek 1970]. Związana z wymianą kolejnych pokoleń drzewostanów leśna uprawa gleby łączy się z ingerencją w jej strop, w którym w pedonach autogenicznych zgromadzona jest niemal cała pula glebowych zasobów materii organicznej. Poszczególne sposoby przygotowania gleby w różny sposób ingerują w jej powierzchniowe poziomy, przez co odmiennie wpływają na kształtowanie się warunków wodnych gleby, na której wzrastają młode drzewa.

Wyoranie bruzd dwuodkładnicowym pługiem LPZ-75 jest na siedliskach świeżych od wielu dziesięcioleci najczęstszym sposobem przygotowania gleby w polskich lasach. Wraz ze wzrostem znaczenia proekologicznych trendów w gospodarce leśnej zaczęto zalecać jednak te sposoby uprawy gleby, które przy jak najmniejszym naruszeniu profilu glebowego zapewnią udane odnowienie lasu [Zasady... 2003]. Jedną z alternatyw dla tradycyjnego sposobu uprawy gleby jest jej przygotowanie frezem leśnym, które w skali całego zrębu powoduje znacznie mniejsze przekształcenia morfologii gleby niż wyoranie bruzd pługiem LPZ [Sewerniak i in. 2011, 2014]. Inaczej niż w bruzdach, materia organiczna w pasach przygotowanych frezem pozostaje w strefie ukorzenienia młodych drzew. Sprawia to, że w pojedynczych pomiarach wykonywanych w dotychczasowych badaniach porównawczych wilgotność aktualna gleby w zhomogenizowanych frezem pasach była wyraźnie wyższa niż w bruzdach [Sewerniak i in. 2012, 2014].

W wielu artykułach sygnalizuje się występowanie korzystniejszych cech przyrostowych młodych drzew na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem niż innymi metodami [Gorczyca, Iskra 2005; Marciniak 2007; Pigan 2010], natomiast w ostatnich badaniach przeprowadzonych w Kotlinie Toruńskiej stwierdzono, że wzrost młodych sosen był bardziej dynamiczny w odniesieniu do bruzd wyoranych pługiem niż pasów zhomogenizowanych frezem [Sewerniak i in. 2012]. Za jedną z potencjalnych przyczyn uzyskania takich wyników przyjęto okresowe występowanie niekorzystnych właściwości wodnych materiału w sfrezowanych pasach.

Celem niniejszych badań było zweryfikowanie tej sugestii poprzez szczegółowe rozpoznanie dynamiki warunków wodnych (z uwzględnieniem wilgotności aktualnej oraz zapasów wody glebowej) na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem oraz pługiem. W dotychczasowym piśmiennictwie brak podobnych prac porównawczych, a różnice w warunkach wodnych gleby pomiędzy dwoma badanymi sposobami jej leśnej uprawy dokumentowano jedynie na podstawie pojedynczych pomiarów aktualnej wilgotności gleby [Sewerniak i in. 2012, 2014].

Materiał i metody

Kotlina Toruńska jest obszarem o dużym nagromadzeniu wydm śródlądowych, na których dominują suche i ubogie w składniki pokarmowe gleby biellicowe [Bednarek, Jankowski 2006]. Obszar badań charakteryzuje się niewielką ilością opadów atmosferycznych (średnia wieloletnia 522,5 mm), a miesiącem o przeciętnie największej ilości opadów jest lipiec (82,6 mm). Opady półrocza ciepłego (IV-IX) wynoszą w Kotlinie Toruńskiej średnio 338 mm, zaś chłodnego (X-III) 184,5 mm [Wójcik, Marciniak 2006].

Badania przeprowadzono na uprawie sosnowej (oddz. 224b Nadleśnictwa Cierpiszewo) na trzech powierzchniach badawczych: 1) gleba przygotowana frezem, stok północny wydmy (FR-N), 2) gleba przygotowana frezem, stok południowy wydmy (FR-S) oraz 3) gleba przygotowana pługiem LPZ-75, grzbiet niewielkiej formy eolicznej (LPZ). Na każdej powierzchni wykopano profil glebowy. Dla poziomów genetycznych badanych gleb oznaczono zawartość węgla organicznego (Corg) metodą Tiurina, maksymalną higroskopijność (MH) metodą Nikolajewa oraz pH metodą potencjometryczną [Bednarek i in. 2005].

W okresie od 20.04. do 04.12.2013 roku, w interwale około dwóch tygodni, na trzech założonych powierzchniach (w pasach przygotowanych frezem i bruzdach wyoranych pługiem) przeprowadzono pomiary wilgotności gleby (łącznie w sezonie 2013 badania objęły 17 dni pomiarowych), które każdorazowo wykonywano dla 4 głębokości (3, 10, 25 i 50 cm). W czasie prowadzenia pomiarów mierzono także dobową ilość opadów atmosferycznych za pomocą deszczomierza Hellmanna, który zamontowany był przy siedzibie Nadleśnictwa Cierpiszewo, około 5 km od badanych powierzchni. Sezon prowadzenia badań w 2013 roku można uznać za wilgotny, gdyż w półroczu ciepłym (IV-IX) odnotowano 425 mm opadów, co jest wartością o niemal 100 mm większą od przeciętnej ilości opadów dla tego okresu w Kotlinie Toruńskiej [Wójcik, Marciniak 2006]. W celu wzbogacenia uzyskanego materiału badawczego o charakterystykę stosunków wodnych badanych gleb w warunkach okresu wybitnie suchego wykonano dodatkowe pomiary wilgotności gleby 25 sierpnia 2015 roku. Termin ten reprezentuje okres głębokiej suszy letniej – od 27 dni nie odnotowano wtedy na terenie badań żadnych opadów atmosferycznych, przy utrzymującej się wysokiej temperaturze powietrza. W dniu 25.08.2015 roku pomiary wilgotności zostały wykonane dwukrotnie – przed i po trwającym 3,5 godziny opadzie atmosferycznym (3,3 mm – pomiar deszczomierzem na powierzchni badawczej). Pomiary wilgotności wykonano, wykorzystując metodę TDR w 10 powtórzeniach dla każdej badanej głębokości w każdym terminie na każdej powierzchni badawczej. W celu zwiększenia dokładności pomiarów wykonywanych w relatywnie suchych glebach wydm śródlądowych sondę TDR skalibrowano dla odczytów w pedonach cechujących się niską wilgotnością [Skierucha i in. 2008]. Równoległe do badań dynamiki wilgotności gleb w 2013 roku na założonych powierzchniach badano również dynamikę ich temperatury. Wyniki tych pomiarów, a także więcej ogólnych informacji dotyczących obiektu i metodyki prac prowadzonych na badanej uprawie, przedstawiono w pracy Sewerniaka i Steltera [2016].

Dla każdego terminu badań obliczono dla każdej powierzchni badawczej zapas wody glebowej ogółem (Z_o) oraz zapas wody glebowej dostępnej dla roślin (Z_d). Zapasy te obliczano dla warstwy gleby 0-65 cm, a także (w celu ściślejszego nawiązania do warunków wodnych strefy występowania systemu korzeniowego sadzonek) dla warstwy 0-15 cm. W obliczeniach zapasów wody wykorzystano następujące wzory:

$$Z_o = (W_1 \cdot h_1) / 10 + (W_2 \cdot h_2) / 10 + \dots (W_n \cdot h_n) / 10$$

oraz

$$Z_d = ((W_1 - N_1) \cdot h_1) / 10 + ((W_2 - N_2) \cdot h_2) / 10 + \dots ((W_n - N_n) \cdot h_n) / 10$$

gdzie:

- 1, 2, n – warstwa gleby, dla której przyjęto pomiar wilgotności z danej głębokości,
- W – średnia wilgotność aktualna gleby [%] zmierzona metodą TDR na danej głębokości w danym dniu pomiaru dla powierzchni badawczej,
- h – miąższość warstwy gleby [cm],
- N – woda biologicznie niedostępna [%]; przyjęto za Bednarek [1970], że $N=MH$.

W przeprowadzonych obliczeniach, przyporządkowując uzyskane wartości wilgotności do miąższości warstw gleby, starano się, aby wyznaczone warstwy w jak największym stopniu nawiązywały do poziomów genetycznych analizowanych gleb. W związku z tym przyjęte miąższości warstw nieznacznie różniły się na obu powierzchniach z glebą przygotowaną frezem (wilgotność na głębokości 3 cm {warstwa 0-6 cm}, 10 cm {6-15 cm}, 25 cm {15-35 cm}, 50 cm {35-65 cm} od powierzchni LPZ (3 {0-3 cm}, 10 cm {3-15 cm}, 25 cm {15-40 cm}, 50 cm {40-65 cm}).

Na podstawie różnicy między wartościami Z_0 i Z_d uzyskanymi dla warstwy 0-15 cm obliczono procentowy udział wody niedostępnej dla roślin (U) w tej warstwie dla każdej badanej powierzchni. Obliczenia te wykonano dla wszystkich terminów wykonywania pomiarów.

Analizę istotności statystycznej różnic między średnimi przeprowadzono w pakiecie Statistica 9.0 (StatSoft, Inc.), stosując nieparametryczny test U Manna-Whitneya (w przypadku porównania dwóch prób niezależnych) lub test ANOVA Kruskala-Wallisa z wykorzystaniem testu wielokrotnych porównań (przy porównaniu trzech prób niezależnych). W celu porównania średnich dla wilgotności aktualnej uzyskanych na podstawie wyników dla wszystkich dni pomiarowych opracowano względny wskaźnik wilgotności (W_w). Indeks ten uzyskano w analogiczny sposób jak w przypadku obliczeń względnego wskaźnika temperatury dla badanych powierzchni [Sewerniak, Stelter 2016].

Wyniki

ZAWARTOŚĆ WĘGLA ORGANICZNEGO, MAKSYMALNA HIGROSKOPIJNOŚĆ ORAZ ODCZYN GLEB. Wszystkie badane gleby cechowały się największą zawartością węgla organicznego w poziomach powierzchniowych. Szczególnie silna dysproporcja dotyczyła poziomów Ap, stanowiących sfrezowaną warstwę gleby w pasach, dla których wartości tego parametru były wyraźnie wyższe nie tylko niż w poziomach leżących poniżej, lecz także we wszystkich poziomach gleby na powierzchni LPZ (tab. 1). Podobna zależność dotyczy maksymalnej higroskopijności, która w poziomach Ap była wyraźnie najwyższa (4,92% na stoku północnym i 3,15% na południowym) spośród wszystkich analizowanych poziomów (tab. 1). Wszystkie badane poziomy analizowanych gleb cechowały się kwaśnym odczynem (tab. 1).

DYNAMIKA WILGOTNOŚCI GLEB. Dla wszystkich badanych głębokości wilgotność gleby była najczęściej najwyższa na powierzchni FR-N, niższa na FR-S, natomiast najniższe wartości stwierdzano przeważnie w brzdach wyoranych pługiem (ryc. 1). Potwierdzają to różnice wartości względnego wskaźnika wilgotności. Dla głębokości 3 cm jego wartości średnie istotnie różniły się ($p < 0,05$) dla wszystkich badanych powierzchni, natomiast dla większych głębokości nie wszystkie różnice między powierzchniami były co prawda istotne statystycznie, jednak średnia wartość tego wskaźnika dla każdej głębokości malała w szeregu: FR-N → FR-S → LPZ (ryc. 2). Warto zwrócić uwagę, że różnice w wilgotności aktualnej pomiędzy badanymi powierzchniami były najczęściej najwyraźniejsze po dwutygodniowych okresach z relatywnie wysokimi opadami atmosferycznymi (np. odczyty wilgotności 31.05., 10.08. i 20.09.2013), natomiast po okresach suchych (np. 26.07.2013) różnice te były przeważnie znacznie mniejsze, co dotyczy szczególnie głębokości 3 cm (ryc. 1).

W dodatkowym terminie pomiarów (25.08.2015) na głębokości 25 i 50 cm wartości wilgotności aktualnej gleby mieściły się na badanych powierzchniach w zakresie odpowiednio 4,6-6,8 oraz 6,2-6,9% (tab. 2) i niewiele różniły się od stwierdzanych na porównywalnych głębokościach dla okresów z niewielką ilością opadów atmosferycznych w roku 2013 (ryc. 1). Długotrwała letnia susza w 2015 roku wyraźnie wpłynęła natomiast na silne przesuszenie stropu gleby, gdyż wilgot-

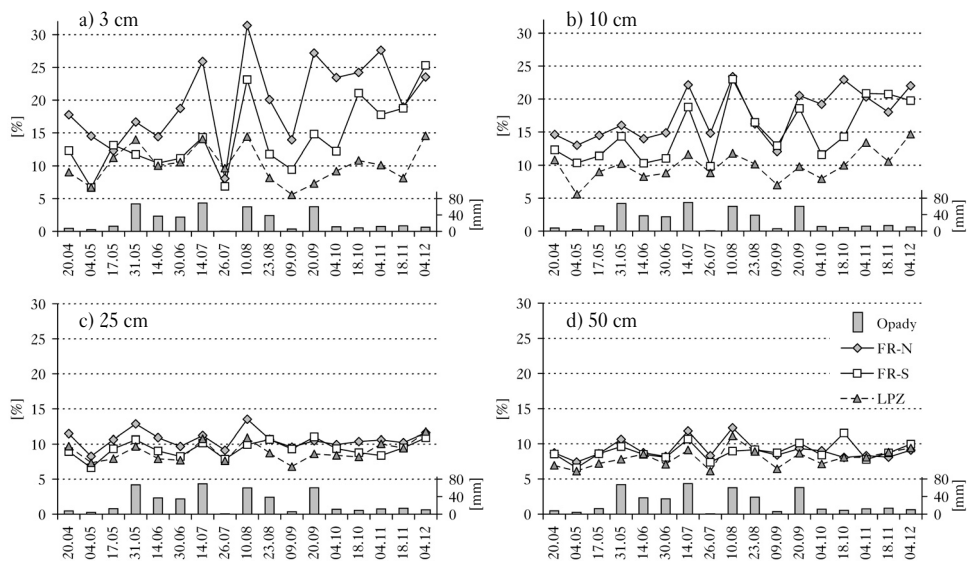
Tabela 1.

Zawartość węgla organicznego (Corg), maksymalna higroskopijność (MH) oraz odczyn badanych gleb
Content of organic carbon (Corg), hygroscopic water capacity (MH) and reaction of the studied soils

	Głębokość Depth [cm]	Corg [%]	MH [%]	pH	
				H ₂ O	KCl
FR-N					
Ap	0-16	8,42	4,92	4,3	3,3
Bhs	16-30	0,76	1,57	4,6	4,1
Bs	30-42	0,23	0,82	4,5	4,5
BC	42-60	0,09	0,44	4,4	4,4
C	60-100	–	0,25	4,4	4,4
FR-S					
Ap	0-14	4,95	3,15	4,0	3,3
Bs	14-25	0,42	0,86	4,5	4,2
BC	25-45	0,15	0,41	4,6	4,5
C	45-100	–	0,22	4,8	4,6
LPZ					
(A)	0-3	0,69	0,68	4,4	3,9
Bhs	3-8	0,75	1,10	4,0	3,6
Bs	8-15	0,46	0,83	4,4	4,2
BC	15-40	0,11	0,32	4,4	4,4
C	40-100	–	0,29	4,6	4,6

FR-N – gleba przygotowana frezem (stok północny wydm), FR-S – gleba przygotowana frezem (stok południowy wydm), LPZ – gleba przygotowana plugiem

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



Ryc. 1.

Dynamika (20.04.-04.12.2013) wilgotności badanych gleb na tle opadów atmosferycznych

Dynamics (20.04.-04.12.2013) of moisture of the studied soils as related to precipitation

Opady – ilość opadów atmosferycznych od poprzedniego do danego dnia pomiarowego – w przypadku pierwszego pomiaru (20.04.2013) podano sumę opadów z ostatnich 14 dni; oznaczenia jak w tabeli 1

Opady – amount of precipitation since the previous to the given measure day – in case of the first measure day (20.04.2013) sum of precipitation for the last 14 days was given; denotes as in the table 1

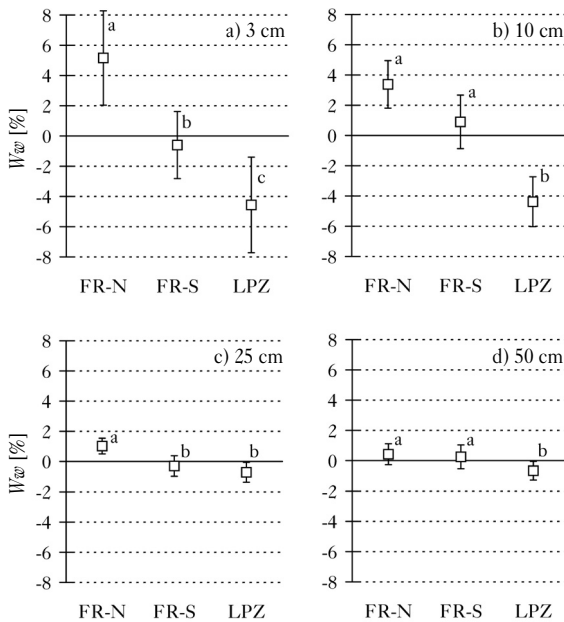
Tabela 2.

Wilgotność aktualna (W [%]) gleby na danej głębokości, zapas wody glebowej ogółem (Z_0 [mm]) oraz dostępnej dla roślin (Z_d [mm]) i udział (w stosunku do Z_0) wody niedostępnej dla roślin (U [%]) w danej warstwie gleby 25.08.2015 roku po miesięcznej letniej suszy przed opadem (przed) i po opadzie atmosferycznym (po)

Actual soil moisture (W [%]) at a given depth, total reserve of soil moisture (Z_0) and reserve of moisture accessible to plants (Z_d), as well as share (in relation to Z_0) of water unavailable to plants (U [%]) in a given soil layer on 25.08.2015 after month-long summer drought: before (przed) and after (po) the rainfall

	FR-N		FR-S		LPZ	
	przed	po	przed	po	przed	po
W 3 cm	0,4 ^a	0,4 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	0,7 ^b
W 10 cm	1,5 ^a	2,0 ^b	3,0 ^a	3,3 ^a	4,7 ^a	5,8 ^a
W 25 cm	4,7 ^a	4,6 ^a	5,0 ^a	6,1 ^b	6,6 ^a	6,8 ^a
W 50 cm	6,2 ^a	6,5 ^a	6,5 ^a	6,4 ^a	6,9 ^a	6,8 ^a
Z_0 0-65 cm	29,5	30,7	33,7	34,7	39,4	41,3
Z_d 0-65 cm	19,4	20,6	26,7	27,7	35,3	37,2
Z_0 0-15 cm	1,6	2,0	2,7	3,0	5,6	7,2
Z_d 0-15 cm	0,0	0,0	0,7	0,9	4,0	5,3
U 0-15 cm [%]	100,0	100,0	74,1	70,0	28,6	26,4

Oznaczenia jak w tabeli 1; inna litera oznacza istotność różnicy między średnimi przed i po dla $p < 0,05$
 Denotes as in table 1; Different letter indicates a significant difference of means before (przed) and after (po) rainfall at $p < 0,05$



Ryc. 2.

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

Mean values (\pm SD) of the relative soil moisture index (W_w) obtained for the study plots on the basis of the all 17 measure days

Oznaczenia jak w tabeli 1; różne litery oznaczają istotność różnicy między średnimi dla $p < 0,05$

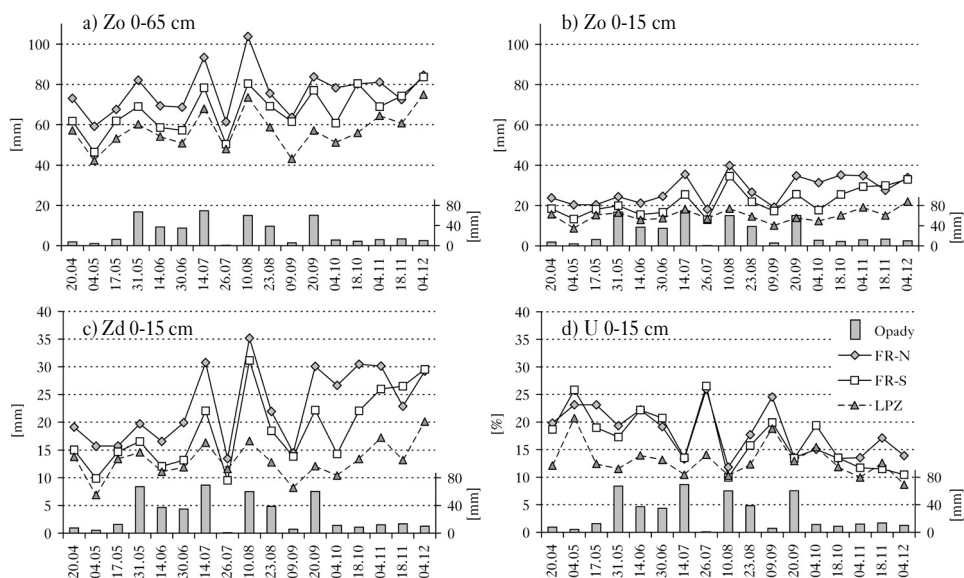
Denotes as in the table 1; Different letters indicate significant difference of means at $p < 0,05$

ność stwierdzona 25.08.2015 roku była na głębokościach 3 oraz 10 cm wyraźnie niższa niż odnotowana w pomiarach w sezonie 2013 (tab. 2, ryc. 1). Opad deszczu 25.08.2015 roku bardzo słabo wpłynął na zwiększenie wilgotności gleby w pasach przygotowanych frezem. Niewielki istotny statystycznie wzrost nastąpił jedynie na głębokości 10 cm na powierzchni FR-N oraz 25 cm na FR-S, natomiast tuż przy powierzchni gruntu (3 cm) wilgotność w pasach obu stoków niemal w ogóle się nie zmieniła. Wzrost wilgotności gleby spowodowany opadem deszczu znacznie wyraźniej nastąpił w stropie rzędów przygotowanych pługiem. Dla głębokości 3 cm wilgotność wzrosła tam z 0,0 do 0,7% ($p < 0,01$), natomiast dla 10 cm z 4,7 do 5,8% ($p = 0,06$; tab. 2).

DYNAMIKA ZAPASÓW WODY GLEBOWEJ. Różnice pomiędzy badanymi powierzchniami pod względem zapasów wody glebowej wykazują te same zależności, co w przypadku wyników pomiarów wilgotności aktualnej. Wielkość wszystkich obliczonych zapasów wody glebowej, podobnie jak w przypadku wartości wilgotności aktualnej gleby, była niemal regularnie najwyższa na powierzchni FR-N, niższa na FR-S, a najniższa na powierzchni LPZ (ryc. 3a-c). Zależność ta, wyraźnie występująca w okresach wilgotnych oraz przeciętnych pod względem ilości opadów atmosferycznych, jest jednak znacznie mniej wyraźna w okresach suchych. W sezonie badań 2013 widoczne jest to dla najsuchszego terminu w okresie lata (26.07.), kiedy zapasy wody w pasach na stoku południowym były porównywalne do tych w brzdach powierzchni LPZ (ryc. 3). Zaburzenie proporcji wielkości zapasów wody glebowej w pasach i brzdach bardzo wyraźnie widoczne jest w wynikach uzyskanych 25.08.2015 roku. W warunkach skrajnej suszy letniej wszystkie obliczone zapasy (zarówno przed deszczem, jak i po nim) były wyraźnie wyższe w brzdach niż w pasach obu powierzchni z glebą przygotowaną frezem (tab. 2). Warto zwrócić uwagę, że w tym dniu w strefie ukorzenia sadzonek na stoku północnym wydmy nie było w ogóle wody dostępnej dla roślin (nawet po opadzie deszczu), natomiast zdecydowanie najniższy udział wody niedostępnej występował w warstwie gleby 0-15 cm w brzdach wyoranych pługiem (przed deszczem 28,6%, po deszczu 26,4%; tab. 2). Podczas skrajnej suszy udział tej wody na wszystkich badanych powierzchniach był znacznie wyższy niż w warunkach relatywnie wilgotnego sezonu wegetacyjnego 2013. W sezonie tym udział wody niedostępnej dla roślin wynosił przeciętnie 10-15% dla gleby powierzchni LPZ, zaś na powierzchniach przygotowanych frezem najczęściej 15-20% (ryc. 3d).

Dyskusja

Wilgotność autogenicznych gleb o uziarnieniu piasków luźnych jest w dużym stopniu determinowana przez możliwość sorpcji wody opadowej przez materię organiczną w górnych poziomach



Ryc. 3.

Dynamika (20.04.-04.12.2013) zapasów wody glebowej oraz udziału wody niedostępnej dla roślin dla badanych gleb na tle opadów atmosferycznych

Dynamics (20.04.-04.12.2013) of reserve of soil moisture in the studied soils as related to precipitation

Oznaczenia jak na rycinie 1 oraz w tabelach 1 i 2; denotes as in the figure 1 and in the tables 1 and 2

gleby [Bednarek 1970]. Ilość zatrzymywanej wody opadowej jest natomiast dodatnio skorelowana z zawartością glebowej materii organicznej [Pritchett 1979], co znalazło potwierdzenie w rezultatach niniejszych badań. Większa zawartość węgla organicznego w stropie gleb w pasach niż w brzdach wyjaśnia stwierdzaną przeważnie wyraźnie wyższą wilgotność oraz większy zapas wody na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem niż plugiem. W tym świetle zaskakiwać mogą jednak wyniki uzyskane dla terminów pomiarów w okresach najsuchszych, kiedy warunki wodne były dla roślin nawet korzystniejsze w brzdach niż w sfrezowanych pasach obu stoków. Paradoksalnie może to być spowodowane właśnie relatywnie wysoką zawartością materii organicznej w warstwie gleby zmieszanej frezem, gdyż po silnym przeschnięciu gleby jej zwilżalność jest ujemnie skorelowana z zawartością próchnicy [Prusinkiewicz 1979]. Cecha ta sprawia, że w okresach głębokich susz gleba po deszczu wydajniej uzupełnia zapasy wody w brzdach niż w pasach, w których grunt słabiej przyjmuje wodę opadową i w związku z tym straty związane z parowaniem oraz spływem powierzchniowym są tam relatywnie wysokie. Okolicznością sprzyjającą uzupełnianiu zapasów wody w brzdach może być także spływ powierzchniowy części wody opadowej z międzyrzędów. Stosunkowo duża siła ssąca bogatego w materię organiczną materiału w pasach umożliwia wydajną sorpcję wody opadowej, natomiast w okresach suchych może mieć niekorzystne następstwa dla roślin. Powoduje ona, że podczas suszy udział wody glebowej niedostępnej dla roślin jest w pasach zdecydowanie wyższy (może wynosić nawet 100%; tab. 2) niż w brzdach. Wyniki niniejszych badań potwierdzają sugestię, że niekorzystne warunki wodne występujące w okresach suchych w pasach przygotowanych frezem mogą mieć wpływ na spotykaną niekiedy relatywnie słabą dynamikę wzrostu młodych sosen na powierzchniach przygotowanych w ten sposób [Sewerniak i in. 2012]. Niekorzystne oddziaływanie niskiej zwilżalności suchego materiału glebowego na rozwój roślin było także sygnalizowane w badaniach przeprowadzonych na piaszczystych glebach Borów Tucholskich [Prusinkiewicz i in. 1981].

Wyniki odbiegające od spodziewanych uzyskano także dla okresów suchych w kontekście warunków wodnych gleb na stokach o kontrastowej ekspozycji. Na półkuli północnej, ze względu na silniejszą insolację, straty wody glebowej spowodowane przez ewapotranspirację są większe na stokach południowych niż północnych [Egli i in. 2006], stąd wilgotność stoków o ekspozycji północnej jest najczęściej wyższa niż na wystawach świetlistych [Cantlon 1953; Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Sewerniak i in. 2012]. Wbrew temu podczas długotrwałej suszy latem 2015 roku zarówno wilgotność, jak i zapasy wody były wyższe na stoku południowym niż północnym (tab. 2). Wydaje się, że można to tłumaczyć odmiennym charakterem runa na stokach wydm o różnej wystawie. Zagadnienie to nie było co prawda szczegółowo analizowane na badanych powierzchniach, jednak wyraźną zależnością stwierdzaną na uprawach położonych na wydmach Kotliny Toruńskiej jest znacznie silniejsze zarośnięcie przez trawy (głównie śmiełek pogięty) stoków północnych niż południowych [Sewerniak i in. 2012; Sewerniak 2016]. Ze względu na wpływ tego czynnika na wielkość transpiracji może on wyjaśniać stwierdzone różnice we właściwościach wodnych gleb stoków obu ekspozycji, szczególnie w okresach suchych, w których ilość wody pobieranej przez trawy stanowi znacznie większy udział zapasów wody dostępnej dla roślin niż w okresach o przeciętnej lub wysokiej wilgotności.

Uzyskane wyniki dostarczają nowych danych do interpretacji różnic temperatury gleb badanych powierzchni. W prowadzonych równoległe do niniejszych badań pomiarach temperatury gleb stwierdzono, pomimo najwyższej temperatury odnotowywanej najczęściej na powierzchni LPZ, najwyższą wartość tego parametru 26.07.2013 roku dla pasów na stoku południowym [Sewerniak, Stelter 2016]. Okazuje się, że tak wysoka temperatura spowodowana była silnym przesuszeniem materiału w tym terminie pomiaru (ryc. 1), co przy silnej insolacji związanej z ekspozycją

stoku sprzyjało przenikaniu energii cieplnej w głąb gruntu, gdyż stopień przesuszenia gleb jest dodatnio skorelowany z szybkością ich nagrzewania [Tomanek 1972].

Podsumowanie

Większa zawartość materii organicznej w pasach przygotowanych frezem leśnym sprawia, że wilgotność oraz zapasy wody glebowej są w nich przeważnie znacznie wyższe niż w bruzdach wyoranych pługiem LPZ. W efekcie w obszarach o niewielkiej ilości opadów atmosferycznych warunki wodne gleby w strefie ukorzenienia sadzonek są przez większą część okresu wegetacyjnego korzystniejsze dla roślin w pasach niż w bruzdach. Sytuacja ulega jednak radykalnej zmianie podczas okresów skrajnie suchych, kiedy wyschnięty i bogaty w materię organiczną materiał z pasów wykazuje cechy hydrofobowe, co powoduje, że warunki wodne gleby stają się w nich mniej korzystne dla młodych drzew niż w bruzdach. Występowanie w okresach krytycznych silniejszych stresów niedoboru wilgoci dla sadzonek może w dużym stopniu wyjaśniać stwierdzany niekiedy ich relatywnie słaby wzrost na powierzchniach przygotowanych frezem [Sewerniak i in. 2012]. Ze względu na zdecydowanie mniejszą w porównaniu z wyoraniem bruzd ingerencję w układ poziomów genetycznych gleby [Sewerniak i in. 2011, 2014] jej przygotowanie tym urządzeniem powinno być jednak wyraźnie zalecane do stosowania w gospodarce leśnej, tym bardziej że po kolejnych latach wzrostu występujące początkowo różnice w cechach dendrometrycznych sadzonek rosnących w Kotlinie Toruńskiej na powierzchniach z glebą przygotowaną frezem i pługiem LPZ zacierają się [Sewerniak, dane niepublikowane]. Ponadto w innych rejonach Polski stwierdzano wyższą dynamikę wzrostu młodych drzew w pasach przygotowanych frezem w porównaniu z powierzchniami z innym sposobem leśnej uprawy gleby [Gorczyca, Iskra 2005; Marciniak 2007; Pigan 2010].

Podziękowania

Pragniemy wyrazić wdzięczność pracownikom Nadleśnictwa Cierpiszewo za wykonywanie odczytów ilości opadów atmosferycznych w okresie prowadzenia badań.

Literatura

- Bednarek R. 1970. Dynamika stosunków wodnych w glebach piaskowych rezerwatu Las Piwnicki pod Toruniem. Zesz. Nauk. UMK w Toruniu, Nauki Mat.-Przyr. 24, Geografia 7: 43-64.
- 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.
- Egli M., Mirabella A., Sartori G., Zanelli R., Bischof S. 2006. Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in Alpine soils. Catena 67: 155-174.
- Gorczyca J., Iskra T. 2005. Frez czy pług? Las Polski 20: 24-25.
- Marciniak P. 2007. Pozostałości zrębowe i przygotowanie gleby a uprawa sosnowa. Las Polski 1: 20-21.
- Pigan I. 2010. Odnowienie naturalne sosny (*Pinus sylvestris* L.) na siedliskach wilgotnych przy zastosowaniu różnych metod przygotowania gleby. Sylwan 154 (8): 524-534.
- Pritchett W. L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto.
- Prusinkiewicz Z. 1979. Wpływ próchnicy na zwilżalność gleb w świetle analizy izoterm adsorpcji pary wodnej. Materiały z sympozjum PTG „Fizykochemiczne właściwości gleb różnych ekosystemów”. Sękocin 28-29.11.1978. 225-232.
- Prusinkiewicz Z., Bednarek R., Degórski M. 1981. The water regime of sandy soils in a dry pine forest (*Cladonia-Pinetum*) in the northern part of the glacial outwash plains of the Brda and Wda rivers. Ekologia Polska 29 (2): 283-309.

- Prusinkiewicz Z., Bednarek R., Pokojska U. 1980. Gleby bielicoziemne w Polsce. *Prz. Geogr.* 52 (1): 103-113.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.
- Sewerniak P. 2016. Differences in early dynamics and effects of slope aspect between naturally regenerated and planted *Pinus sylvestris* woodland on inland dunes in Poland. *iForest* 9: 875-882.
- 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. *Sylvan* 156 (11): 871-880.
- Sewerniak P., Gonet S. S., Quaium M., Słomiński W. 2011. 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.
- Sewerniak P., Stelter P. 2016. Wpływ sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej temperatury na wydmach Kotliny Toruńskiej. *Sylvan* 160 (11): 923-932.
- Skierucha W., Wilczek A., Alokina O. 2008. Calibration of a TDR probe for low soil water content measurements. *Sensors and Actuators A* 147: 544-552.
- Tomanek J. 1972. *Meteorologia i klimatologia dla leśników*. PWRiL, Warszawa.
- Wójcik G., Marciniak K. 2006. *Klimat*. W: Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak S. [red.]. Toruń i jego okolice. Wyd. UMK, Toruń. 99-128.
- Zasady hodowli lasu. 2003. ORWLP Bedoń.