

JANUSZ GOŁĄB, ELŻBIETA BADACH, EWA SŁOWIK-OPOKA

# Przestrzenny rozkład wilgotności gruntu w obszarze przyległym do wylotu urządzeń odwadniających drogi leśne

Spatial distribution of soil moisture in the area adjacent to the outlet of forest roads drainage devices

## ABSTRACT

Gołąb J., Badach E., Słowik-Opoka E. 2016. Przestrzenny rozkład wilgotności gruntu w obszarze przyległym do wylotu urządzeń odwadniających drogi leśne. Sylwan 160 (10): 861-870.

Transformation of the natural environment of human life may have different speed, depending on the number of conditions, especially the climate. There is a long-term transformation, but also the sudden changes, often having for humans the nature of disaster. An example of sudden and undesirable changes in the environment are observed in form of movements of soil on the slopes of the mountain. One of the environmental factors that determine the slope stability is the current soil moisture. Its sudden increase caused by heavy rain or spring thaw can significantly change soil physical conditions and trigger landslides. Water saturation may also occur in soils of these areas, to which water from the road drainage devices flows. The aim of the study is to determine the spatial distribution of soil moisture in the outlet of the drainage facilities for forest roads in the context of changes in selected soil characteristics affecting the possibility of landslides. We selected two culverts and two open top culverts that drain the forest road in Gorce National Park. The most important for the observations was to determine the spatial distribution of soil moisture and soil moisture differences in selected locations of an outlet of the road drainage facilities in relation to the place of outlet and the unit drain line. In the analysis of measurement results, there was no significant difference between the average humidity clustered according to 'position' and by the 'line'. The significance of this was obtained for the average moisture grouped according to 'depth'. This can be explained by the impermeability of land and a large decrease in the slopes in the area of research. In general, rather small soil moisture fluctuations, despite the variability of rainfall, in conjunction with significant fraction of skeleton particles, do not create conditions conducive to the formation of landslides.

## KEY WORDS

mountain forests, forest roads, drainage devices, landslides, soil moisture

## ADDRESSES

Janusz Gołąb <sup>(1)</sup> – e-mail: rlgolab@cyf-kr.edu.pl  
Elżbieta Badach <sup>(2)</sup> – e-mail: rrbadach@cyf-kr.edu.pl  
Ewa Słowik-Opoka <sup>(1)</sup> – e-mail: e.opoka@ur.krakow.pl

<sup>(1)</sup> Zakład Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. A. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

<sup>(2)</sup> Katedra Statystyki Matematycznej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

## Wstęp

Środowisko przyrodnicze, podlegając ciągłym przemianom, modyfikuje warunki życia człowieka. Tempo tych zmian jest uzależnione od układu wielu czynników, głównie klimatycznych. W naturze obserwuje się przeobrażenia długookresowe, jak również zmiany nagłe, skutkujące określonymi stratami wywołanymi przez żywioły. Przykładem gwałtownych i niepożądanych zmian ekosystemów są masowe ruchy gruntu, które mogą występować naturalnie, mogą być także inicjowane inżynierską działalnością człowieka, m.in. przez: lokalne nadmierne uwilgotnienie gruntu na stoku, w wyniku czego stan gruntu może zmienić się z np. twaroplastycznego na miękoplastyczny lub płynny, obciążenia statyczne i dynamiczne powodowane nadmiernie ciężkimi konstrukcjami budowlanymi lub składowaniem materiałów na stoku, zmiany stosunków wodnych na stoku (przecięcie warstw wodonośnych, podcięcie stoku wkopem) w wyniku przebiegu tras komunikacyjnych oraz eksploatację kamieniołomów i żwirowisk.

Do czynników mających decydujący wpływ na stabilność stoku należy zaliczyć: geologiczne pochodzenie materiału gruntowego, stopień jego zwietrzenia, zawartość poszczególnych frakcji (zwłaszcza pyłowej i ilowej), przewarstwienia różnego rodzaju i ich układ w stosunku do spadku stoku, a także warunki filtracji wody w gruncie. Działalność człowieka może inicjować masowe ruchy gruntu również na zrównoważonych stokach. Czynnikiem przyrodniczym, który może ulegać dynamicznym zmianom i poprzez to w znaczącym stopniu wpływać na zmiany właściwości fizycznych gruntu, odpowiedzialnych za jego stabilność, jest zawartość wody w gruncie wyrażona poprzez jego wilgotność. W sytuacjach znaczącego uwodnienia gruntu powstałego w wyniku wystąpienia zjawisk ekstremalnych (gwałtowne opady deszczu i roztopy wiosenne) może nastąpić zmiana konsystencji gruntu oraz zwiększenie jego masy, co w konsekwencji może spowodować przekroczenie warunków stabilności stoku [Zydroń, Cholewa 2014]. W tym kontekście interesujące jest badanie stabilności stoków w obszarach, na które skierowano odpływ wody z urządzeń odwadniających drogi. Z punktu widzenia budownictwa drogowego grunty tzw. wątpliwe, tj. o określonych właściwościach gruntowo-wodnych, mogą się osuwać właśnie w miejscach lokalizacji obiektów odwadniających [Bardel 2012].

Celem badań było określenie przestrzennego rozkładu wilgotności gruntu na stoku w obszarach leżących przy wylotach z urządzeń odwadniających drogi leśne (przepustów i wodospustów) oraz jego analiza w kontekście zmian wybranych cech gruntu ważnych dla warunków powstawania osuwisk.

## Teren badań

Badania przeprowadzono w północno-zachodniej części Gorczańskiego Parku Narodowego, w Obwodzie Ochronnym Suhora, przy drodze stokowej, po której na pewnym odcinku przebiega ścieżka edukacyjna „Na Turbaczyk” (ryc. 1). Wybrane obiekty leżą w pasie regła dolnego, na wysokości około 700-800 m n.p.m.

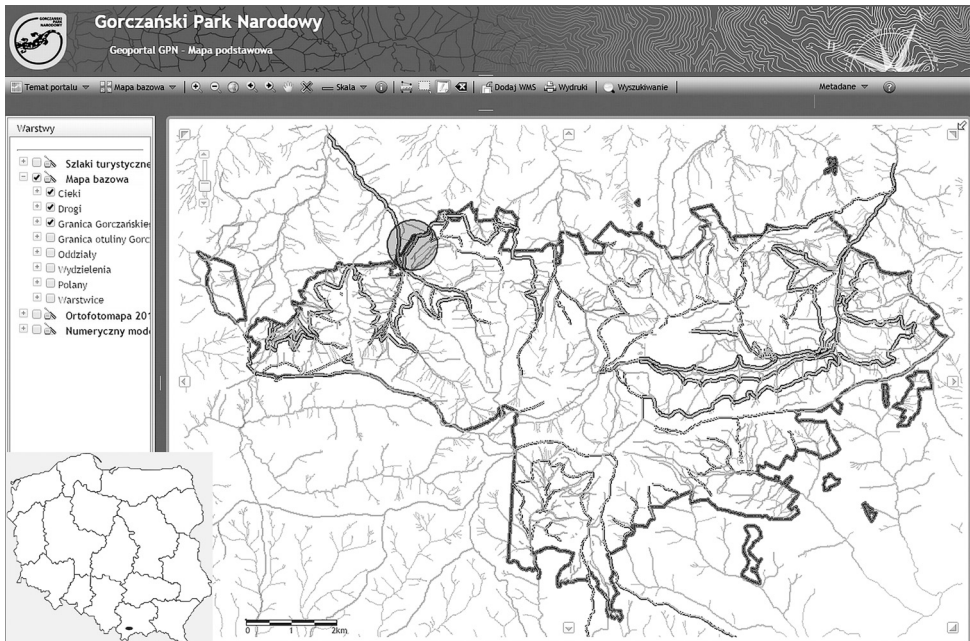
W budowie geologicznej obszaru badań występują utwory fliszowe złożone z piaskowców, zlepieńców i łupków płaszczowiny magurskiej. Dominującym typem gleb są gleby brunatne z dużą zawartością frakcji szkieletowej. Obszar Gorców, zwłaszcza wyżej położony, jest podatny na działanie procesów erozji, o czym świadczą głęboko wcięte doliny i stoki o znacznych spadkach. Sieć wodna w Gorcach jest silnie rozwinięta, odpływ wody z terenu objętego badaniami odbywa się w kierunku północnym, poprzez potoki Koninka i Porębianka. Klimat jest tu typowo górski, z wyróżniającymi się piętrami klimatycznymi. Roczne sumy opadów wahają się granicach od 800 do 1250 mm [Kondracki 2011]. Na obszarze badań dominuje dolnoregłowy bór jodłowo-

-świerkowy z domieszką głównie buka. Sieć dróg leśnych jest dobrze rozwinięta, zwłaszcza w dolnych partiach stoków i dolinach (ryc. 1).

## Material i metody

W ramach prac terenowych zlokalizowano cztery obiekty odwadniające drogę stokową (tab. 1), tj. dwa przepusty rurowe (P) przeprowadzające wodę z rowu przystokowego na stok oraz dwa wodospusty (W), które kierowały wodę bezpośrednio z nawierzchni na stok (poniżej drogi). Za wylotem każdego z obiektów wyznaczono punkty poboru próbek do badań laboratoryjnych, korzystając z założonej siatki o wymiarach 5×5 m (ryc. 2). Założono, że umowna linia „A” usytuowana zostanie 5 m poniżej krawędzi pobocza, mierząc po stoku, a linia „B” – 5 m poniżej linii „A”. Równoległe do linii spływu wody za wylotem ustanowiono dwie linie prostopadłe do linii „A” i „B” (nr 2 i 3). Linie siatki o numerach 1 oraz 4 usytuowano w odległości 5 m w stosunku do linii 2 oraz 3. Na bazie tak rozplanowanej siatki pobierano próbki z głębokości 20 („g”) i 60 („d”) cm bez nadkładu organicznego, w trzech terminach: 29 VIII (seria I), 18 IX (seria II) i 25 X (seria III). Poszczególne serie charakteryzowały się różną sumą opadów liczoną z dwóch dni przed dniem pobrania próbek (odpowiednio: 7,2, 0,0 oraz 2,8 mm). Próbki gruntu o naruszonej strukturze pobierano świdrem strzemiączkowym ( $\phi=0,06$  m), następnie transportowano je w szczelnych opakowaniach do laboratorium.

W ramach prac laboratoryjnych metodą suszarkowo-wagową oznaczono wilgotność aktualną ( $W_a$ ), uznawaną za wzorcową [Norma... 1999]. Określano także zawartość części organicznych, skład granulometryczny i współczynnik filtracji gruntu  $k$  (na podstawie krzywej uziarnienia i uproszczonej formuły Hazena [Twardowski, Drożdżak 2006]) (tab. 2).



Ryc. 1.

Lokalizacja drogi i obiektów badawczych na podstawie Geoportalu Gorczańskiego Parku Narodowego  
Location of road and research objects in the Geoport of the Gorczański National Park

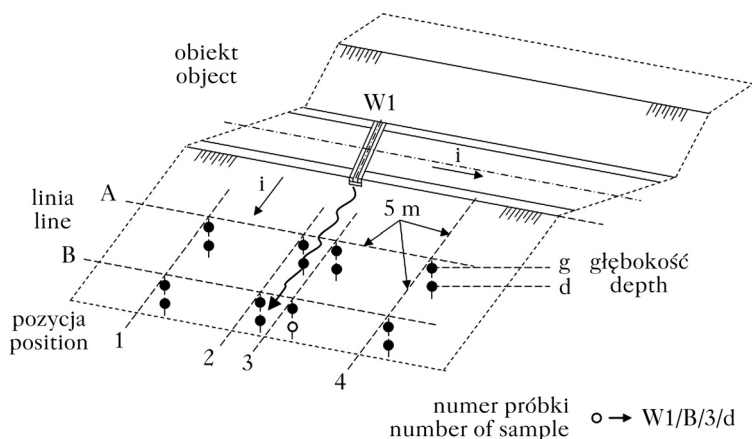
Tabela 1.

Charakterystyka badanych przepustów (P1 i P2) oraz wodospustów (W1 i W2)  
 Characteristics of the studied culverts (P1 and P2) and open top culverts (W1 and W2)

	P1	P2	W1	W2
Długość [m] Length	4,75	5,50	5,65	5,70
$\alpha$ [°]	74	61	31	56
Materiał Material	beton, rura prefabrykowana prefabricated concrete pipe		drewno (1 żerdź) wood (1 rod)	drewno (3 żerdzie) wood (3 rods)
Światło [m] Inside diameter	0,30	0,30	–	0,10
Studzienka Sink basin	kamienna, murowa nastone, brick		–	–
Szerokość [m] Width	0,75	0,57	–	–
Długość [m] Length	0,70	0,57	–	–
Głębokość [m] Depth	0,65	0,56	–	–
Osadnik [m] Sediment trap	–	0,04	–	–
Wylot Outlet	nieumocniony not reinforced			
Spadek podłużny obiektu [%] Longitudinal slope of object	11,5	9,5	4,0	4,5
Spadek podłużny jezdni [%] Longitudinal slope of roadway	14,0	13,0	5,5	5,5
Spadek poprzeczny jezdni [%] Transverse slope of roadway	4,0*	5,0*	2,5*	3,0*
Średni spadek terenu za wylotem obiektu [%] Mean slope in the area at the outlet of object	49,5	58,8	72,2	59,4
Szerokość jezdni [m] Roadway width	3,00	3,70	2,60	3,05
Szerokość pobocza [m] Roadside width	0,40	0,80	0,50	0,95
Nawierzchnia Surface	gruntowa profilowana ground, profiled			
Rów przystokowy Trench				
Szerokość [m] Width	0,80	0,70	–	0,90
Głębokość [m] Depth	0,30	0,25	–	0,20

$\alpha$  – kąt skrzyżowania osi obiektu z osią jezdni; angle between object and road axes

\* – dostokowy; towards the slope



Ryc. 2.

Schemat miejsc pobierania próbek gruntu i ich numeracja  
Scheme of soil sampling and numbering of the sites

Tabela 2.

Grupa granulometryczna według Normy... [2006] (grupa), udział [%] frakcji piaskowej (piasek), pyłowej (pył) i ilowej (ił) oraz średnica miarodajna ( $d_{10}$ ) i współczynnik filtracji Hazena ( $k_{10}=0,0116 \cdot (d_{10})^2$ ) wyznaczone dla temperatury wody 10°C dla wybranych próbek gruntu

Granulometric group according to Norma... [2006] (grupa), fraction [%] of sand (piasek), dust (pył) and clay (ił) as well as mean diameter ( $d_{10}$ ) and Hazen's filtration coefficient ( $k_{10}=0,0116 \cdot (d_{10})^2$ ) determined in water temperature 10°C for selected ground samples

Próbka Sample	Grupa	Piasek	Pył	Ił	$d_{10}$ [mm]	$k_{10}$ [m/s]
P1/B/2/d	sasiCl	51,05	35,08	13,87	0,00100	$1,16 \cdot 10^{-8}$
P1/B/3/d	sasiCl	47,31	38,54	14,16	0,00090	$9,40 \cdot 10^{-9}$
P2/B/2/d	sasiCl	51,06	34,11	14,83	0,00097	$1,09 \cdot 10^{-8}$
P2/B/3/d	sasiCl	51,73	32,88	15,39	0,00070	$5,68 \cdot 10^{-9}$
W1/B/2/d	sasiCl	52,85	32,64	14,51	0,00095	$1,05 \cdot 10^{-8}$
W1/B/3/d	sasiCl	53,46	31,73	14,81	0,00091	$9,61 \cdot 10^{-9}$
W2/B/2/d	sasiCl	59,15	30,47	10,37	0,00120	$1,67 \cdot 10^{-8}$
W2/B/3/d	sasiCl	55,69	30,73	13,58	0,00100	$1,16 \cdot 10^{-8}$

Analizę przestrzennego rozkładu wilgotności gruntu wykonano w płaszczyznach pionowych przecinających teren wzdłuż linii A i B, a także wzdłuż linii siatki nr 1, 2, 3 i 4 oraz w płaszczyznach spadku stoku, odpowiadających danej głębokości pobierania próbek gruntu. Do wykreślenia izol linii zastosowano metodę krigingu (program Surfer v.9).

Zbadano, czy przestrzenny rozkład wilgotności gruntu w obszarze za wylotem urządzeń odwadniających drogi leśne zależy od położenia miejsca, w którym wykonywano badanie wilgotności gruntu względem wylotu urządzenia. Analizę przeprowadzono w odniesieniu do sesji pomiarowej (sesja), obiektu badawczego (obiekt), linii spływu wody z urządzenia odwadniającego (pozycja), krawędzi pobocza (linia) oraz głębokości w profilu (głębokość). Do sprawdzenia normalności rozkładu cechy, dla wszystkich obiektów łącznie w wyróżnionych sesjach pomiarowych, wykorzystano test Shapiro-Wilka. Obliczenia wykonano w pakiecie Statistica 9 (StatSoft, Inc.).

## Wyniki i dyskusja

Przeprowadzone analizy wykazały, że pomimo zróżnicowania ilości opadów w poszczególnych seriach pomiarowych wartość wilgotności gruntu ( $W_a$ ) zmieniała się w niewielkim zakresie, a różnice między pomiarami były statystycznie nieistotne (tab. 3 i 4). Analizując zróżnicowanie wilgotności gruntu w przypadku poszczególnych obiektów w każdej serii pomiarowej (tj. różnej sumy opadów z dwóch dni poprzedzających pomiary  $W_a$ ), zaobserwowano, że różnice wilgotności uwypuklają się przy niższych opadach oraz że istnieje związek z sumą opadów z dwóch dni poprzedzających serię pomiarową. Być może przeprowadzenie dodatkowych badań ilości wody wypływającej z obiektu odwadniającego, ściśle powiązanej z powierzchnią drogi, z której woda dopływa do danego obiektu, potwierdziłoby zaobserwowaną zależność.

**Tabela 3.**

Wilgotność aktualna [%] próbek gruntu w podczas serii pomiarowych (I, II, III)  
Moisture [%] of the soil samples in measurement series (I, II, III)

Próbka Sample	I	II	III	Próbka Sample	I	II	III
P1/A/1/g	29,2	26,4	27,6	W1/A/1/g	45,4	39,3	39,2
P1/A/1/d	25,6	21,5	27,6	W1/A/1/d	22,0	24,6	24,0
P1/A/2/g	31,7	26,9	26,5	W1/A/2/g	27,4	23,4	23,0
P1/A/2/d	22,1	23,4	23,2	W1/A/2/d	22,5	16,3	22,5
P1/A/3/g	25,3	26,5	29,5	W1/A/3/g	20,1	19,5	25,0
P1/A/3/d	19,8	19,2	32,6	W1/A/3/d	24,0	23,5	24,4
P1/A/4/g	25,1	20,8	25,1	W1/A/4/g	30,5	23,2	28,5
P1/A/4/d	19,7	21,3	20,8	W1/A/4/d	18,6	18,3	25,3
P1/B/1/g	35,9	35,6	27,9	W1/B/1/g	27,0	26,0	23,7
P1/B/1/d	21,9	24,7	20,9	W1/B/1/d	14,6	21,0	18,8
P1/B/2/g	28,3	23,2	30,4	W1/B/2/g	26,1	28,7	35,0
P1/B/2/d	24,6	20,0	19,8	W1/B/2/d	20,3	24,5	23,9
P1/B/3/g	30,2	27,6	41,1	W1/B/3/g	35,1	22,8	34,9
P1/B/3/d	25,6	22,3	29,3	W1/B/3/d	23,6	23,0	18,6
P1/B/4/g	32,6	21,0	28,4	W1/B/4/g	27,3	25,3	30,0
P1/B/4/d	19,5	18,8	27,8	W1/B/4/d	16,6	23,5	20,5
P2/A/1/g	26,0	22,4	22,0	W2/A/1/g	34,2	37,1	47,1
P2/A/1/d	20,4	25,0	25,2	W2/A/1/d	13,6	25,9	30,6
P2/A/2/g	34,7	36,4	29,9	W2/A/2/g	26,7	30,3	25,6
P2/A/2/d	27,3	23,3	23,7	W2/A/2/d	25,3	26,7	26,5
P2/A/3/g	37,7	46,5	30,9	W2/A/3/g	28,1	33,7	21,8
P2/A/3/d	26,8	27,0	27,2	W2/A/3/d	22,8	24,6	21,8
P2/A/4/g	25,4	23,2	29,2	W2/A/4/g	34,1	30,5	31,4
P2/A/4/d	22,2	24,2	27,7	W2/A/4/d	22,4	20,9	23,6
P2/B/1/g	29,1	26,0	25,9	W2/B/1/g	42,5	45,2	43,4
P2/B/1/d	24,3	22,1	20,9	W2/B/1/d	21,0	29,1	38,5
P2/B/2/g	42,8	27,0	28,4	W2/B/2/g	29,8	35,8	39,1
P2/B/2/d	26,3	21,8	20,5	W2/B/2/d	39,1	35,1	28,5
P2/B/3/g	58,6	41,7	34,3	W2/B/3/g	37,7	46,5	49,4
P2/B/3/d	35,1	24,3	29,5	W2/B/3/d	26,2	25,2	32,9
P2/B/4/g	31,7	35,1	32,3	W2/B/4/g	21,4	24,0	28,6
P2/B/4/d	24,6	25,3	27,2	W2/B/4/d	24,2	27,7	29,7

Tabela 4.

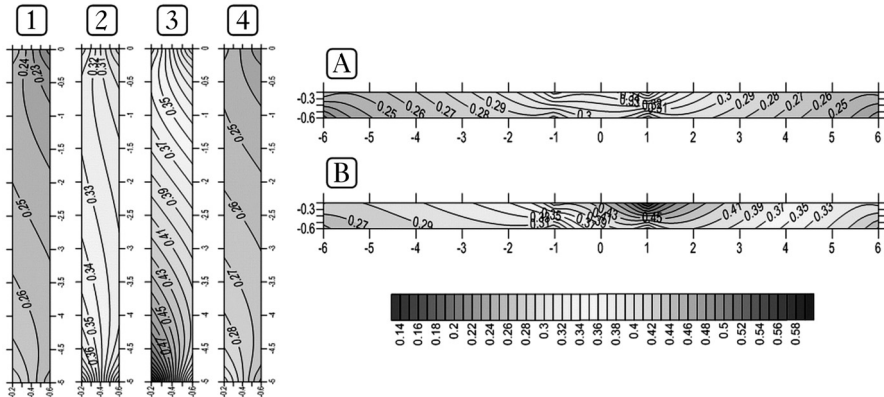
Ocena wpływu poszczególnych czynników na przestrzenny rozkład wilgotności gruntu  
 Assessment of the impact of the particular features on spatial distribution of soil moisture

		SS	df	MS	F	p
Sesja Session						
I-III	Effect	0,007449	2	0,003724	0,748081	0,475
	Error	0,940949	189	0,004979		
Obiekt Object						
I	Effect	0,030912	3	0,010304	1,780566	0,161
	Error	0,347214	60	0,005787		
II	Effect	0,061734	3	0,020578	5,315547	0,003
	Error	0,232276	60	0,003871		
III	Effect	0,038158	3	0,012719	3,308633	0,026
	Error	0,230656	60	0,003844		
Linia Line						
I	Effect	0,011817	1	0,011817	2,000084	0,162
	Error	0,366309	62	0,005908		
II	Effect	0,003609	1	0,003609	0,770618	0,383
	Error	0,290401	62	0,004684		
III	Effect	0,007917	1	0,007917	1,881533	0,175
	Error	0,260896	62	0,004208		
Pozycja Position						
I	Effect	0,022385	3	0,007462	1,258529	0,297
	Error	0,355740	60	0,005929		
II	Effect	0,020552	3	0,006851	1,503107	0,223
	Error	0,273458	60	0,004558		
III	Effect	0,012584	3	0,004195	0,982263	0,407
	Error	0,256230	60	0,004270		
Głębokość Depth						
I	Effect	0,118130	1	0,118130	28,16999	<0,001
	Error	0,259996	62	0,004193		
II	Effect	0,064619	1	0,064619	17,46536	<0,001
	Error	0,229391	62	0,003700		
III	Effect	0,051341	1	0,051341	14,63704	<0,001
	Error	0,217473	62	0,003508		

Nie potwierdzono jednoznacznie założenia, że wilgotność gruntu w sposób istotny zależy od odległości od linii ścieku, co mogłyby sugerować wyznaczony przebieg izolinii (ryc. 3). Inne obiekty nie wykazują dużego zróżnicowania. Podobnie nie można mówić o statystycznej istotności różnic wilgotności gruntu, rozpatrując jej wartości według odległości od krawędzi drogi, mimo że stwierdzono większą wilgotność gruntu w profilach położonych wzdłuż linii B (tab. 2, ryc. 3 i 4). W każdej serii pomiarowej zaobserwowano natomiast istotne różnice wilgotności gruntu w rozdziale na warstwy. Stwierdzono kilkuprocentową przewagę wilgotności zmierzonej w warstwie górnej w stosunku do wilgotności zmierzonej w warstwie dolnej (tab. 3 i 4, ryc. 4).



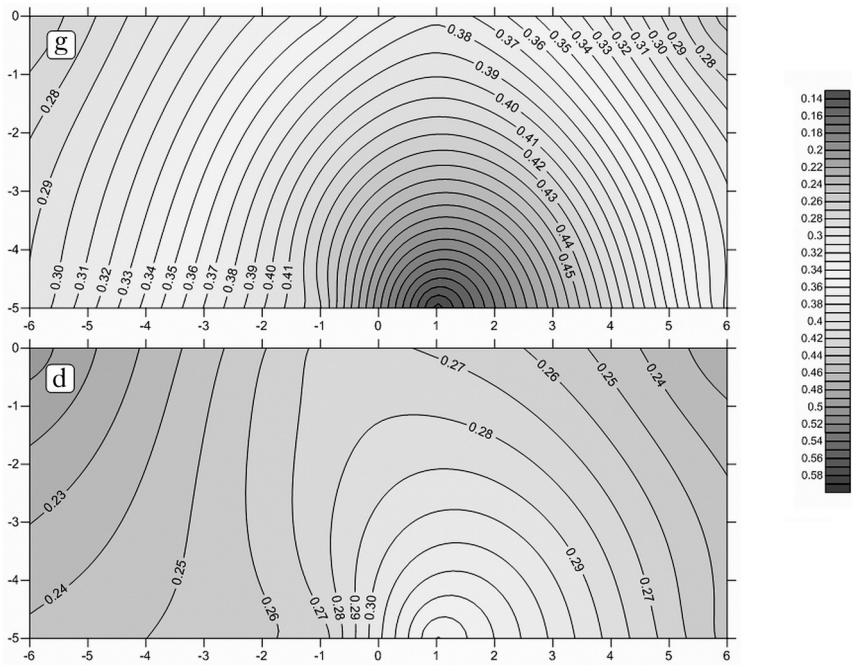
Zmiany wilgotności gruntu w badanym obszarze, przeważnie kilkuprocentowe, nie są na tyle istotne, aby uplastycznili lub upłynnili grunt na stoku i doprowadzić do utraty jego stateczności. Aby doszło do upłynnienia gruntu, wskaźnik plastyczności, będący różnicą granicy płynności i granicy plastyczności, musiałby osiągnąć wartość z przedziału 10-20% (dla gliny



Ryc. 3.

Rozkład wilgotności gruntu w płaszczyznach pionowych w liniach A i B oraz w pozycjach 1-4 w obiekcie P2 podczas sesji pomiarowej I

Soil moisture distribution in vertical planes on lines A and B and at positions 1-4 in the object P2 during measurement session I



Ryc. 4.

Rozkład wilgotności gruntu w płaszczyznach spadku terenu na głębokościach g i d w obiekcie P2 podczas sesji pomiarowej I

Soil moisture distribution in slope planes at depths g and d in the object P2 during measurement session I



– gruntu klasyfikowanego jako średnio spoisty) [Wiłun 2013]. Należy także zauważyć, że przytaczane tu sumy dobowe opadu z dwóch dni przed pobieraniem próbek nie opisują rozkładu opadu w czasie, a że są obiektywnie rzecz biorąc niewielkie, nie wymusiły szybkiego czy też znacznego przemieszczenia się płaszczyzny frontu zwilżenia w głębokości profilu. Ciekawy przebieg propagacji frontu zwilżenia opisują Zydroń i Durałek [2014] w badaniach osuwiska z Pogórza Ciężkowickiego, jednak charakterystyka opadu, który spowodował osuwisko ( $P=88,8$  mm,  $t\approx 700$  min), odbiega znacząco od przypadków obserwowanych w niniejszej pracy, ponadto zawartości frakcji piaskowej i pyłowej są zupełnie odwrócone. Inny też jest charakter spływu wody po stoku w obu przypadkach – w Ciężkowicach spływ następował całą płaszczyzną po stoku (łąka), a w badaniach gorczańskich w sposób liniowy (las). W takich warunkach nawet większe nachylenie stoku (w Gorcach 26-35°, w Ciężkowicach 22°) nie jest czynnikiem decydującym o utracie jego stateczności. Można więc wnioskować, że na stokach gorczańskich rozkład przestrzenny wilgotności gruntu w obszarze przyległym do wylotu urządzeń odwadniających drogi leśne modyfikowany jest głównie przez spadek terenu, który w obserwowanej sytuacji ograniczył znaczenie infiltracji wody w gruncie.

Napotkane trudności interpretacyjne należy tłumaczyć wielością czynników i uwarunkowań terenowych wpływających na obserwowany rozkład wilgotności, stąd przeprowadzone badania można uznać za przyczynkowe do dalszych prac opisujących przedmiotowy problem. Konieczne jest zróżnicowanie terenu dalszych badań, głównie pod względem spadku, ale także przepuszczalności gruntu, warunków klimatycznych czy sposobu użytkowania. Przydatne byłoby także włączenie do analiz rozkładu przestrzennego wilgotności gruntu szczegółowych badań gruntu, zwłaszcza z zakresu określania granic konsystencji oraz wytrzymałości na ścinanie [Zydroń, Zgoda 2012].

## Wnioski

- ✦ W objętych badaniami warunkach terenowych, tj. w obszarze leśnej zlewni górskiej o dużych spadkach stoków i ograniczonej zdolności filtracyjnej gruntów, woda odpływa z urządzeń odwadniających po powierzchni stoku, wzdłuż linii ściekowej, bez znaczącej tendencji do wsiąkania w grunt, co może powodować erozję wodną liniową przy równoczesnym ograniczeniu możliwości retencyjnych obszarów położonych za wylotem urządzeń odwadniających.
- ✦ Stosunkowo niewielkie wahania wilgotności gruntu na stoku (maksymalne obserwowane różnice średnich dla obiektów: 2,14-4,32%, maksymalne obserwowane różnice średnich dla miejsca 3: 3,56-9,22%) oraz wysoki udział w profilu frakcji szkieletowej, pełniącej niejako rolę stabilizatora mechanicznego dla części ziemistych profilu gruntowego, nie stwarzają bezpośredniego zagrożenia powstania osuwiska.
- ✦ Potwierdzona statystycznie istotność różnic wilgotności gruntu we wszystkich seriach pomiarowych na wyznaczonych głębokościach (przy większych wartościach wilgotności w górnej warstwie) świadczy o silniejszej tendencji migracji wody w warstwach przypowierzchniowych i jej spływu po powierzchni stoku, co wynika z niewielkich zdolności filtracyjnych miejscowych gruntów oraz dużych spadków stoków.

## Literatura

- Bardel T. 2012. O antropogenicznych przyczynach powstania osuwiska na zboczu byłej kopalni ilów „Kantoria” w Tarnowie. *Górnictwo i Geologia* 7 (2): 35-47.
- Kondracki J. 2011. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Norma PN-EN ISO 14688-1:2006. 2006. *Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis*.

- Norma PN-ISO 11465:1999.** 1999. Jakość gleby. Oznaczanie zawartości suchej masy gleby i wody w glebie w przeliczeniu na suchą masę gleby. Metoda wagowa.
- Twardowski K., Drożdżak R.** 2006. Pośrednie metody oceny właściwości filtracyjnych gruntów. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz* 23 (1): 477-486.
- Wiłun Z.** 2013. *Zarys geotechniki*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Zydroń T., Cholewa M.** 2014. Analiza stateczności pokryw stokowych na przykładzie zbocza z okolic Siar k. Gorlic. *Infr. i Ekol. Ter. Wiejskich* 1: 73-87.
- Zydroń T., Duralek D.** 2014. Uwarunkowania stateczności pokryw stokowych na przykładzie zbocza z okolic miejscowości Pławna k. Ciężkowic (Pogórze Ciężkowickie). *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 13 (1): 123-134.
- Zydroń T., Zgoda J.** 2012. Wpływ wilgotności na właściwości wytrzymałościowe gruntów z obszaru karpackiego. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 11 (2): 75-84.