

DYNAMIKA I WPŁYW CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH WILGOTNOŚĆ KARPACKICH FLISZOWYCH POKRYW STOKOWYCH NA PRZYKŁADZIE STOKU DOŚWIADCZALNEGO IGIPZ PAN W SZYMBARKU

Witold Bochenek

Bochenek W., 2006: Dynamika i wpływ czynników kształtujących wilgotność karpackich fliszowych pokryw stokowych na przykładzie stoku doświadczalnego IGIPZ PAN w Szymbarku (*Dynamic and impact of factors influencing on soil moisture of flysch Carpathian slope covers on the example of the IG&SO PAS experimental slope at Szymbark*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, nr 7, s. 51-58, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce

Zarys treści: Artykuł przedstawia wyniki badań wilgotności gleby na fliszowym stoku karpackim mierzonej metodą TDR (*Time Domain Reflectometry*) w dwóch profilach pomiarowych prowadzone w okresie jednego roku (z przerwą na okres zimowy). Analizie poddano wpływ wybranych czynników meteorologicznych: opadów (sumy i natężenia) oraz temperatury powietrza i gruntu na wilgotność gleby. Zbadano wzajemne zależności między wilgotnością mierzoną w poszczególnych punktach wybranych profili pomiarowych (pomiarów dokonywano co 10 cm głębokości). Przedstawione wyniki badań i analiz uzupełniono o informacje uzyskane na podstawie eksperymentu dotyczącego prędkości migracji wody w glebie w glebie.

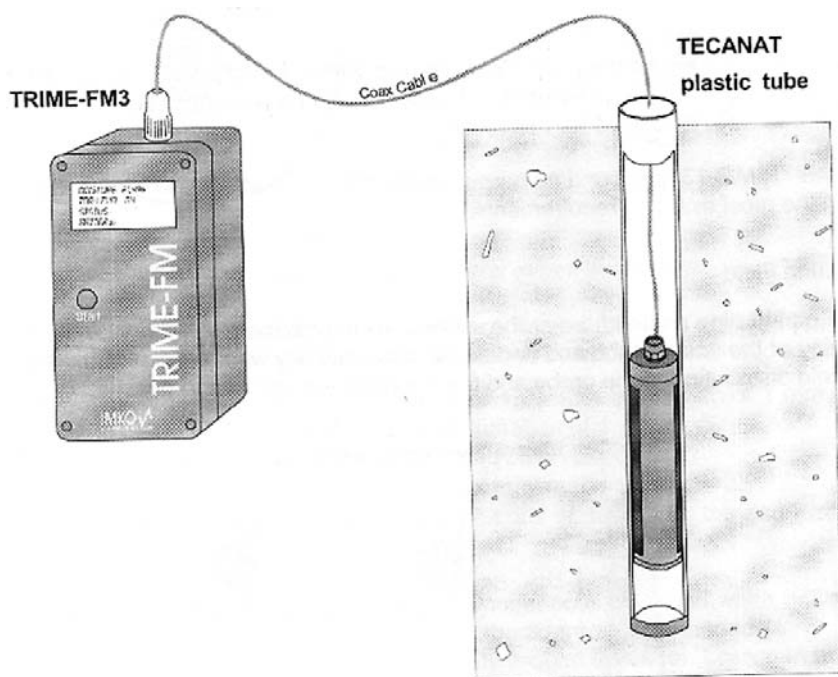
Słowa kluczowe: wilgotność gleby, TDR, propagacja wilgoci, karpacki stok fliszowy

Witold Bochenek, Stacja Naukowa IGIPZ PAN, Szymbark 430, 38-311 Szymbark, tel/fax 018 3513170, e-mail: igszyrbark@poczta.onet.pl

1. Wprowadzenie

Zdolność gromadzenia wody w glebie wpływa w znaczący sposób na obieg wody w obrębie stoków oraz całych zlewni, poprzez kształtowanie poziomu wód podziemnych, możliwość wystąpienia spływu śródpokrywowego oraz spływu powierzchniowego. Ilość wody dostępnej dla roślin warunkuje ich wzrost i w dalszej konsekwencji – plonowanie. Właściwości mechaniczne gleb wpływają na zatrzymywanie wody przez dłuższy lub krótszy okres po opadach. Nowoczesną metodą pomiaru wilgotności jest metoda TDR (*Time Domain Reflectometry*). Zainstalowanie rur z materiału TECANAT sięgających do głębokości 80 cm pozwala na systematyczne pomiary po jednorazowej ingerencji w środowisko glebowe (podczas nawiercania otworu) a przez to wyeliminowanie zmien-

nej związanej ze zróżnicowaniem właściwości mechanicznych gleby. Zasada pomiaru sondą reflektometrii czasowej TDR-TRIME polega na określeniu stałej dielektrycznej gleby w warunkach oddziaływania pola elektrycznego o częstotliwości 109 Hz. W takich warunkach gleba zachowuje się jak dielektryk, natomiast zawarta w niej woda przewodzi generowane impulsy elektryczne, których natężenie jest proporcjonalne do wilgotności gleby. Pomiary wilgotności za pomocą urządzenia TDR ma coraz szersze zastosowanie, dla potrzeb określania możliwości retencyjnych gleby (Biniak 2005), wpływu pożarów na dynamikę wilgotności (Silva et al. 2006), możliwości uprawy roślin (ryżu) (Fujii et al. 2004) i in.. Ponadto przeprowadzono liczne analizy porównawcze metod stosowanych do oznaczania wilgotności gleby (m. in. Stacheder i in. 2002, Evertt i in. 2002).



Ryc. 1. Zestaw pomiaru wilgotności TDR-TRIME –FM3 firmy IMKO Mikromodul-technik GmbH

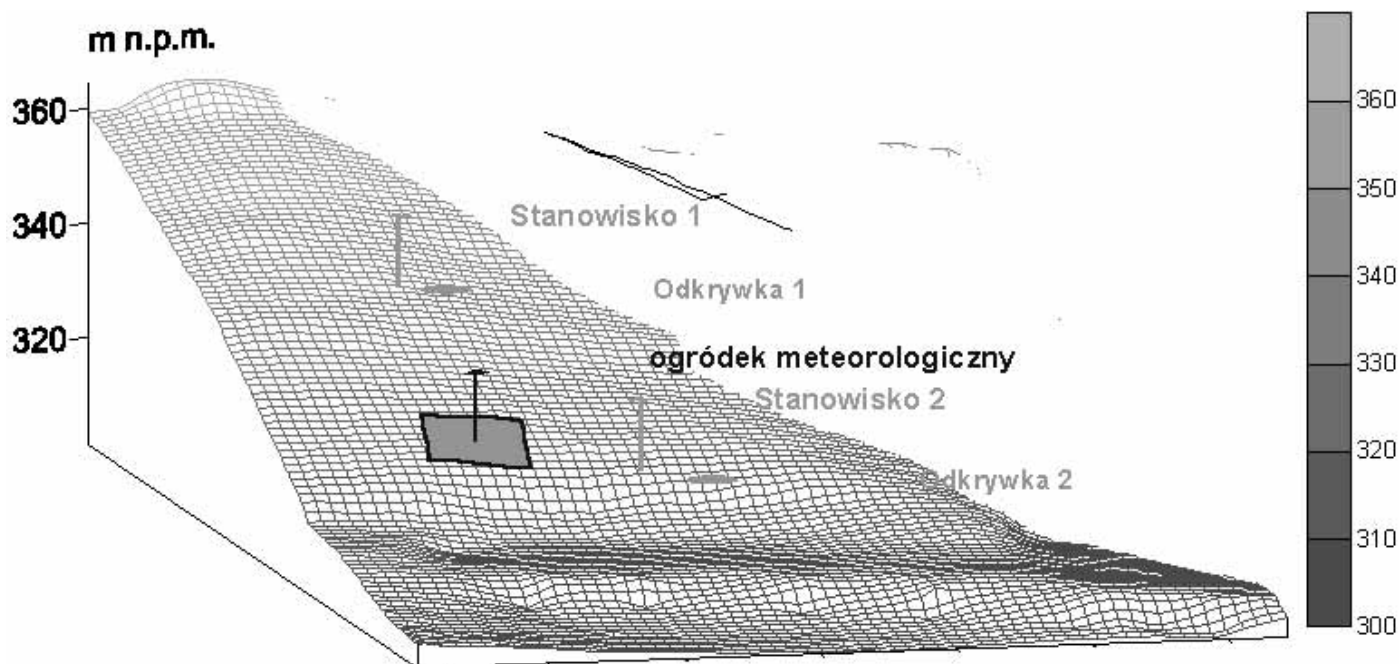
Fig. 1. TDR-TRIME-FM3 compact for soil moisture measurement (IMKO Mikro-modultechnik GmbH)

2. Cel i metody badań

W niniejszym artykule przedstawiono zróżnicowanie wilgotności objętościowej gleby w środkowej (stanowisko 1) i dolnej (stanowisko 2) części stoku

doświadczalnego Stacji Naukowej IGI-PZ PAN w Szymbarku w okresie 13 miesięcy (15 lipca 2005–14 lipca 2006). Analizie poddano wpływ warunków atmosferycznych: opadów, temperatury powietrza oraz temperatury gruntu na głębokości 10 i 50 cm na zmiany wilgotności. Systematyczne obserwacje uzupełniono wynikami eksperymentu dotyczącego prędkości przesiąkania wody w głąb profilu glebowego. W tym celu dokonano 3-krotnego zalania profilu glebowego z wykorzystaniem cylindra Burgera i równoczesnym pomiarem przemieszczania się wody w profilu glebowym, wykonywanym kilkakrotnie celem ukazania dynamiki czasowej tego procesu.

Pomiar wykonywano sondą TDR-TRIME (tube probe) w dwóch otworach do głębokości 70 cm, co 10 cm (ryc. 1). Wykorzystano sprzęt firmy IMKO Mikromodultechnik GmbH. W warunkach pogórskiego stoku przygotowanie głębszych otworów jest trudne ze względów technicznych (konieczność stosowania świdra o małym przekroju przy występowaniu grubych okruszków piaskowca inoceramowego). Z analizy wyłączono okres zimowy od 15 listopada 2005 do 26 marca 2006.



Ryc.2. Lokalizacja stanowisk pomiarowych na stoku doświadczalnym

Fig.2. Location of measurement points

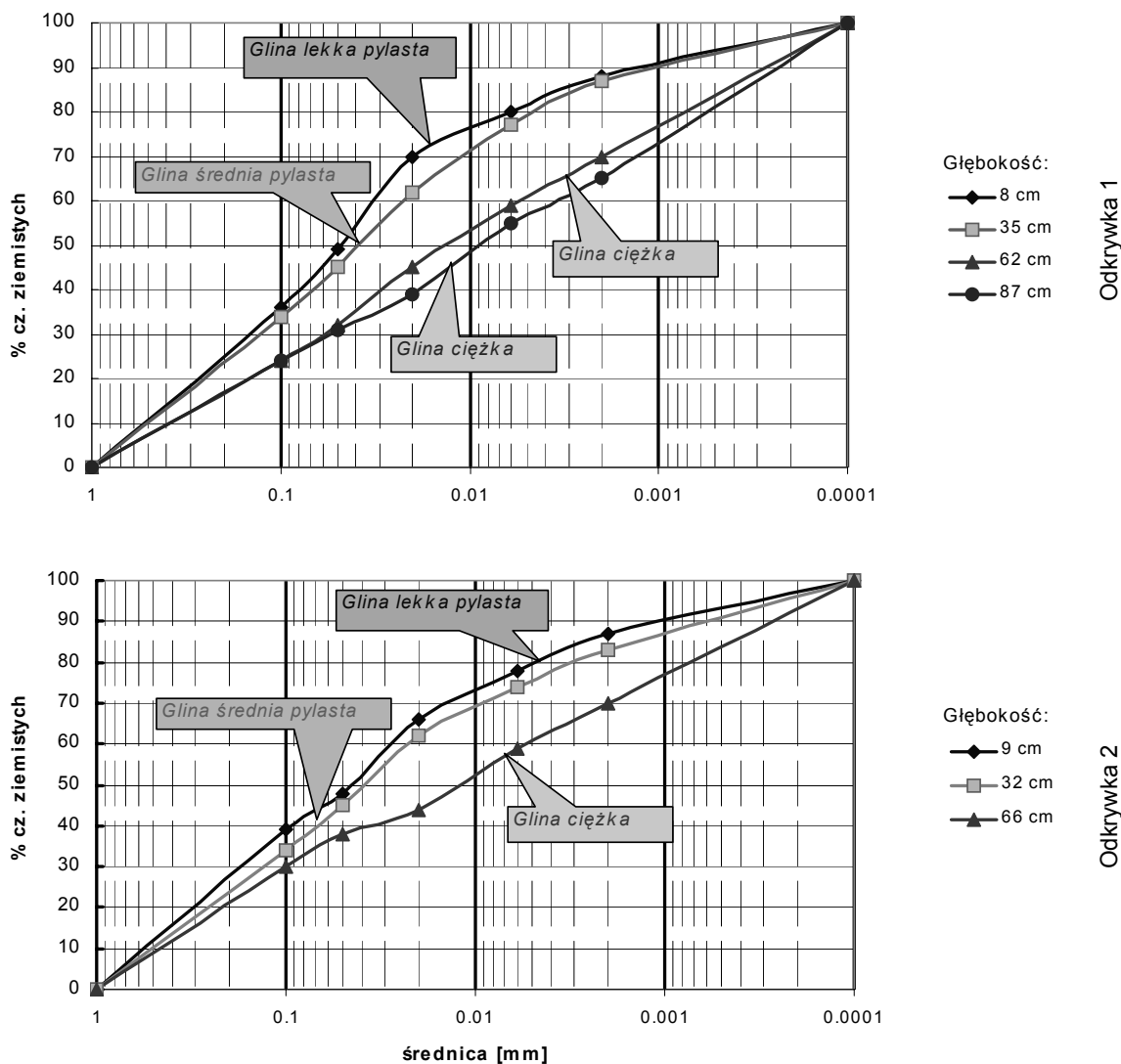
3. Teren badań

Pomiary przeprowadzono na stoku doświadczalnym Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku (ryc. 2). Nachylenie stoku wynosi $10,5^\circ$, natomiast ekspozycja jest SW. Utwory pokrywające stok mają miąższość 0,8–1 metra w partiach podszczytowych i 2–4 m w dolnych częściach stoku. Udział frakcji szkieletowych, głównie kamieni, wynosi 20–40% (Gil 1994). Pochodzenie tych frakcji wynika głównie z wietrzenia piaskowców. Pod względem składu mechanicznego pokrywy stokowe mają charakter glin średnich i ciężkich i charakteryzują się dużą dynamiką w ujęciu przestrzennym (Adamczyk i in., 1973; Bochenek 2005) (ryc. 3).

4. Wyniki badań

Propagacja frontu wilgoci – badania eksperymentalne

Na stanowisku 2 pomiarów wilgotności metodą TDR wykonano eksperyment poprzez pomiary wilgotności objętościowej co 5 cm w głąb profilu. Sondę umieszczono w otworze wykorzystywanym do badań zmian wilgotności. Dookoła wystającego z gleby fragmentu rury wbito, na głębokość 2–3 cm w glebę, cylinder Burgera. Do cylindra nalano wodę, której objętość odpowiadała 20 mm opadu i w glebie mierzono zmiany wilgotności objętościowej. Po wykonaniu pierwszej serii pomiarów, wykonano jeszcze dwa zalania po 20 mm (w sumie 40 i 60 mm) po upływie 20 i 50 minut (ryc. 4).



Ryc. 3. Skład mechaniczny gleby na podstawie prób pobranych z odkrywek 1 i 2 zlokalizowanych w pobliżu stanowisk pomiaru wilgotności.
Fig. 3. Grain-size composition of soils samples from 1st and 2nd place, located nearby the soil moisture measuring points

Stwierdzono, że wraz z upływem czasu następuje wzrost wilgotności z głębokością. Po kolejnych zalaniach cylindra Burgera strefa największego przyrostu wilgotności przesuwiała się wyraźnie w głąb profilu, a w kolejnych pomiarach różnice wilgotności były coraz większe (ryc. 5).

Autor w pełni zdaje sobie sprawę z niedoskonałości zastosowanej metody pomiaru. Cylinder Burgera ogranicza swobodne rozprzestrzenianie się frontu wilgoci. Ponadto bezpośrednie i szybkie zalanie gleby wodą w cylindrze Burgera znacząco różni się od naturalnego opadu. Dlatego też w opisywanych w literaturze eksperymentach stosowano spryskiwacze o znanej wydajności, która odpowiadała znanemu natężeniu opadu (por. El-Shafei 1988, Leonard, Andrieux 1998).

Zróznicowanie wilgotności w wybranych profilach pomiarowych

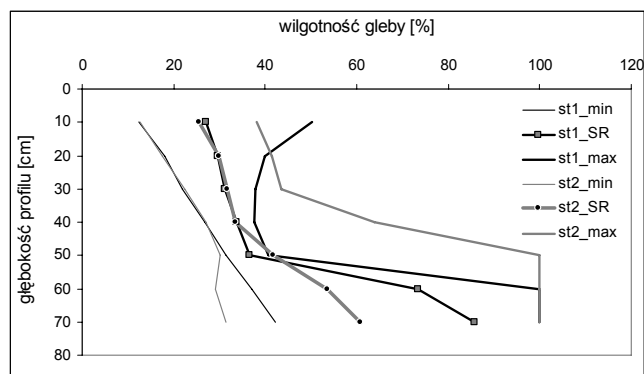
Zmiany wilgotności w profilu glebowym wykazywały zróznicowanie uzależnione od położenia stanowiska pomiarowego względem stoku doświadczalnego (ryc. 6).

Ze wzrostem głębokości w glebie następowało zwiększanie wilgotności, przy czym średnie wartości wilgotności do głębokości 50 cm wykazywały zbliżony przebieg na obydwu stanowiskach, natomiast głębiej następowało jej zróznicowanie spowodowane odmiennymi właściwościami składu mechanicznego gleby i występującego na stanowisku 1 poniżej głębokości 50 cm oglejenia gruntowego, wynikającego z obecności pokryw stokowych o składzie mechanicznym glin



Ryc. 4. Zastosowanie cylindra Burgera i sondy TDR do eksperymentalnych pomiarów szybkości propagacji wilgotności w glebie.

Fig. 4. Application of the Burger's cylinder and the TDR sensor for experimental concerned velocity of moisture progress in soil



Ryc. 6. Średnie i ekstremalne wartości wilgotności gleby w okresie badań

Fig. 6. Average and extremal values of soil moisture during period of measurements

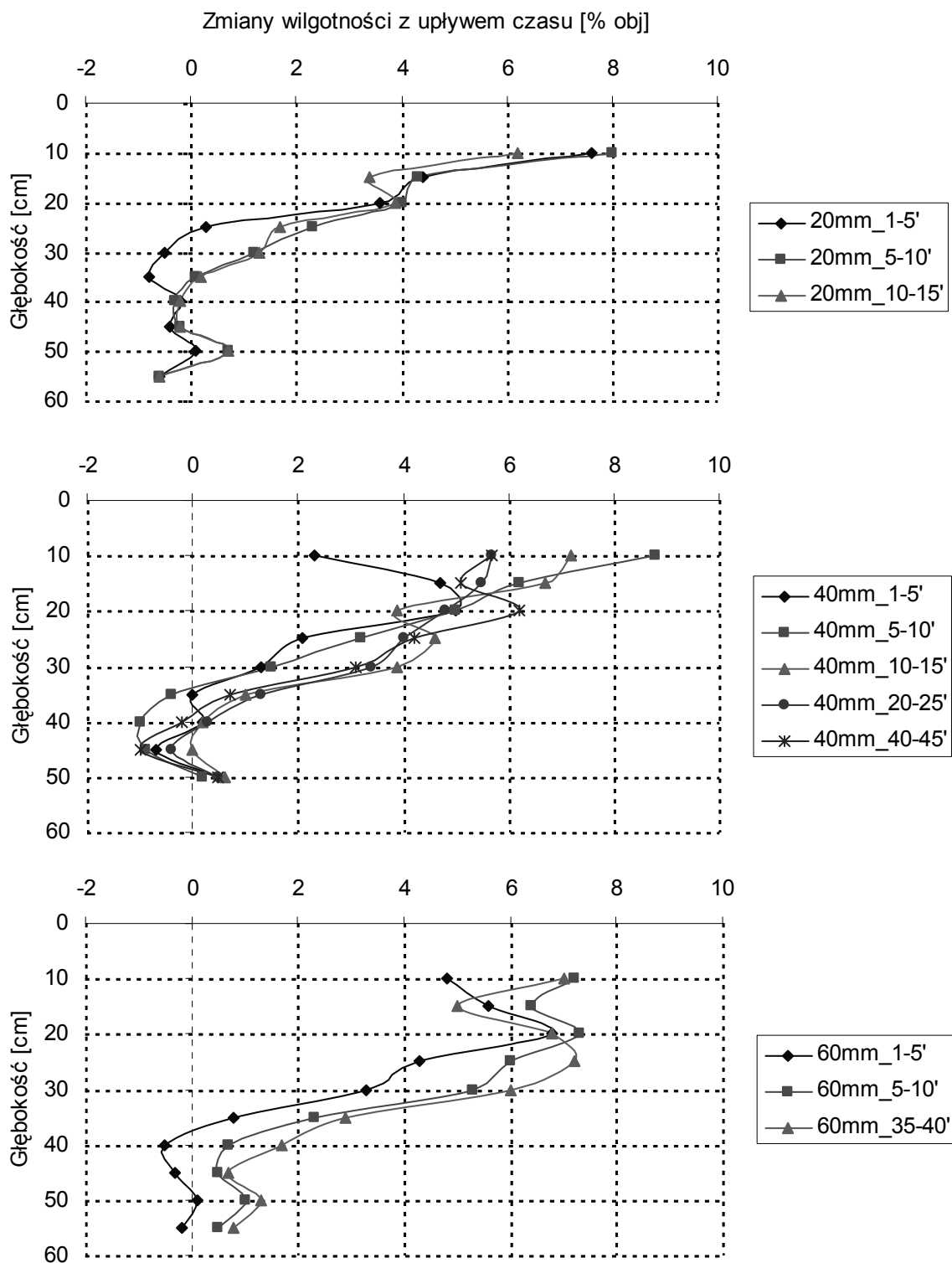
ciężkich. Zróznicowanie wartości minimalnych do głębokości 50 cm w obydwu otworach jest znikome, wynikające z ich wystąpienia w czasie dłuższego okresu bez znaczących opadów (pomiar 27 lipca). Tutaj czynnik klimatyczny odegrał decydującą rolę. Maksymalne wartości wilgotności wykazują zróznicowany przebieg na stanowiskach. W przypadku stanowiska 1 następuje zmniejszanie się maksymalnych wartości do głębokości 40 cm, zaś na stanowisku 2 występuje systematyczny ich wzrost z głębokością. Na stanowisku 1, poniżej głębokości 50 cm, skokowy przyrost wilgotności powoduje podnoszenie się zwierciadła wody stokowej zawieszanej.

Zbadano dynamikę wilgotności w kolejnych pomiarach, obliczając średnie z bezwzględnych wartości różnic. Na stanowisku 1 średnia różnica obliczona dla całego profilu wyniosła 3,5%, zaś na stanowisku 2 – 6,3%. Wyższą średnią wartość na stanowisku 2 spowodowała większa dynamika wilgotności na głębokości 60 i 70 cm.

Przebieg zmian wilgotności w glebie na tle opadów przedstawia ryc. 7.

Analiza wpływu czynników meteorologicznych na kształtowanie wilgotności w glebie

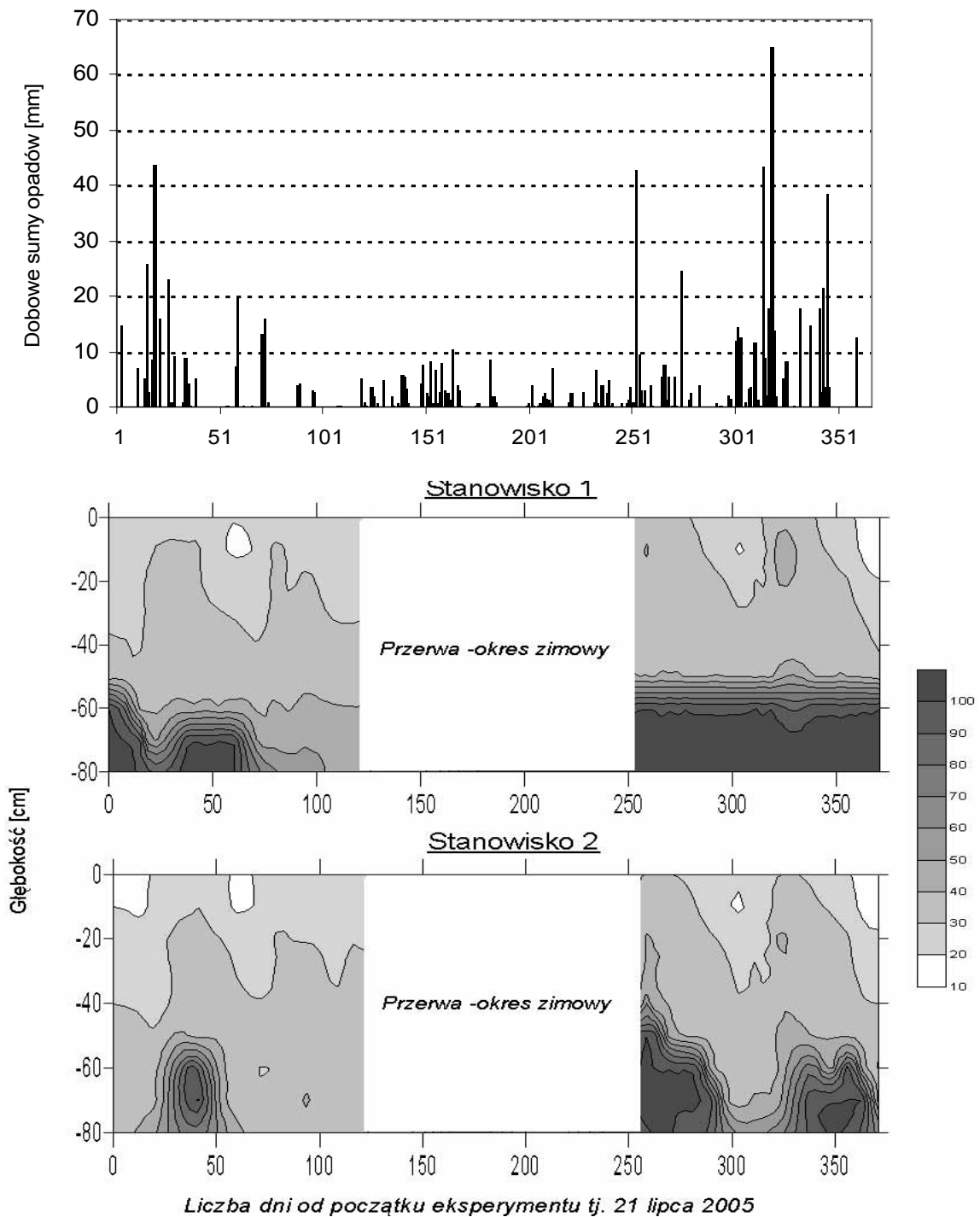
Analizie poddano wpływ czynników meteorologicznych: opadów atmosferycznych, temperatury powietrza i temperatury gleby na głębokości 10 i 50 cm na dynamikę zmian wilgotności gleby (tabela 1, ryc. 8). Suma opadu w okresach pomiędzy pomiarami nie wykazuje jednoznacznego wpływu na wilgotność.



Ryc. 5. Zmiany wilgotności gleby wraz z głębokością w trzech zalaniach cylindra Burgera
 Fig. 5. Changes of soil moisture in profile depth during three floodings of the Burger's cylinder

Statystycznie istotne na poziomie $p < 0,05$ współczynniki korelacji opadu z wilgotnością gleby uzyskano dopiero poniżej głębokości 60 cm w dolnej części stoku, świadczące o wpływie podnoszącego się zawieszonoego zwierciadła wody lub podsiąku kapilarnego na wzrost wilgotności. Wyższe i istotniejsze

statystycznie współczynniki uzyskano podczas analizy wpływu średniego dobowego opadu (suma opadu podzielona przez liczbę dni z opadem) na wilgotność gleby. Obserwuje się systematyczne obniżanie się współczynnika korelacji ze wzrostem głębokości;



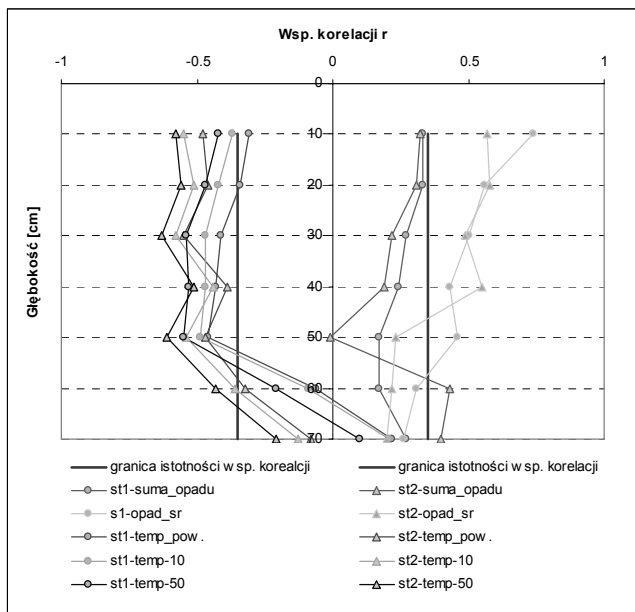
Ryc. 7. Przebieg wilgotności gleby w profilach pomiarowych na tle dobowych sum opadów
 Fig. 7. Course of soil moisture in selected profile on the background of daily precipitation sums

poniżej 50-60 cm wpływ średniego dobowego opadu na wilgotność jest statystycznie nieistotny.

W odróżnieniu od opadów, związki funkcyjne wilgotności z temperaturą powietrza są ujemne. Obserwuje się coraz wyższe współczynniki korelacji ze wzrostem głębokości, na której mierzona jest temperatura. Znaczącą rolę odgrywa tu dynamika zmian temperatury w cyklu dobowym. Im głębiej, tym zmia-

ny te są coraz mniejsze, a większy wpływ na temperaturę wykazują warunki pogodowe obserwowane w dłuższych, kilku- lub kilkunastodniowych okresach czasu, które decydują o rozmiarach ewapotranspiracji i wilgotności gleby.

Zbadano związki funkcyjne między wilgotnością na poszczególnych głębokościach na obydwu stanowiskach pomiarowych (ryc. 9.).



Ryc. 8. Dynamika współczynnika korelacji wilgotności gleby z sumą opadu, średnim dobowym opadem, temperaturą powietrza i gleby na głębokości 10 i 50 cm

Fig. 8. Dynamics of correlation coefficient between soil moisture and precipitation sum, daily average precipitation, air temperature and temperature in soil 10 and 50 cm depth

Współczynniki determinacji r^2 wskazują na dwuznaczność zachodzących w glebie zmian wilgotności: do głębokości 50 cm na stanowisku 1 i 30 cm na stanowisku 2 obserwuje się podobną dynamikę zmian

($r^2 = 0,60-0,86$) i najwyższą korelację wilgotności na analogicznych głębokościach na środku i dole stoku. Głębiej współczynniki determinacji wykazują niższe wartości, zbliżone w całym profilu pomiarowym. Zatem bezpośrednie oddziaływanie opadu obserwuje się do głębokości 30–40 cm na całej długości stoku. Głębiej występuje zróżnicowanie wilgotności związane z właściwościami mechanicznymi gleby, zróżnicowanymi na obydwu stanowiskach pomiarowych.

5. Podsumowanie

Zastosowana metoda jest użyteczna w badaniach środowiskowych dzięki możliwości prowadzenia kolejnych pomiarów w jednakowych warunkach litologicznych. Pomiary wilgotności za pomocą urządzenia TDR mają coraz szersze zastosowanie również z powodu względnie małej czasochłonności i pracochłonności ich wykonywania.

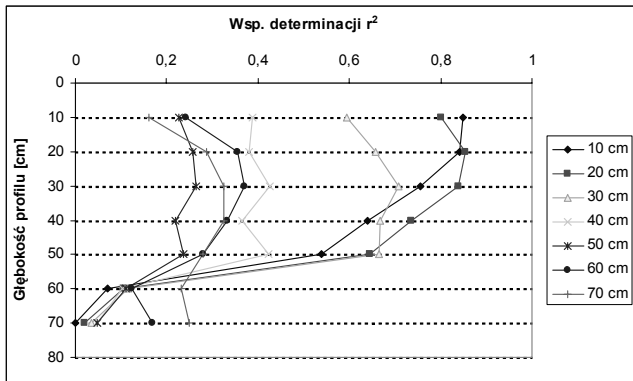
Na podstawie eksperymentu z infiltracją zalewową przez cylinder Burgera stwierdzono, że wraz z upływem czasu następuje wzrost wilgotności z głębokością i po kolejnych zalaniach strefa największego przyrostu wilgotności przesuwana wyraźnie w głąb profilu glebowego.

Tabela 1. Dynamika współczynnika korelacji wilgotności gleby z sumą opadu, średnim dobowym opadem, temperaturą powietrza i gleby na głębokości 10 i 50 cm

Table 1. Dynamics of correlation coefficient between soil moisture and precipitation sum, daily average precipitation, air temperature and temperature in soil 10 and 50 cm depth

Głębokość [cm]	Suma opadu atmosferycznego						Średni dobowy opad atmosferyczny					
	Stanowisko 1			Stanowisko 2			Stanowisko 1			Stanowisko 2		
	r	t	p	r	t	p	r	t	p	r	t	p
10	0.33	1.88	0.069	0.32	1.85	0.073	0.74	5.74	0.000	0.57	3.57	0.001
20	0.33	1.89	0.069	0.31	1.79	0.083	0.56	3.55	0.001	0.58	3.69	0.001
30	0.27	1.56	0.130	0.22	1.24	0.226	0.50	2.97	0.006	0.49	2.95	0.007
40	0.24	1.33	0.193	0.19	1.07	0.291	0.43	2.48	0.020	0.55	3.44	0.002
50	0.17	0.92	0.363	-0.01	-0.04	0.971	0.46	2.68	0.012	0.23	1.24	0.225
60	0.17	0.93	0.361	0.43	2.59	0.015	0.31	1.72	0.096	0.22	1.19	0.245
70	0.27	1.53	0.135	0.40	2.37	0.025	0.26	1.39	0.176	0.20	1.06	0.298

Głębokość [cm]	Temperatura powietrza			Temperatura -10 cm			Temperatura -50 cm											
	Stanowisko 1			Stanowisko 2			Stanowisko 1			Stanowisko 2								
	r	t	p	r	t	p	r	t	p	r	t	p						
10	-0.31	-1.77	0.087	-0.48	-2.99	0.006	-0.37	-2.21	0.035	-0.55	-3.58	0.001	-0.42	-2.50	0.018	-0.58	-3.87	0.001
20	-0.34	-2.01	0.053	-0.46	-2.83	0.008	-0.42	-2.51	0.018	-0.51	-3.28	0.003	-0.47	-2.95	0.006	-0.56	-3.73	0.001
30	-0.41	-2.48	0.019	-0.55	-3.59	0.001	-0.47	-2.90	0.007	-0.58	-3.86	0.001	-0.54	-3.48	0.002	-0.63	-4.42	0.000
40	-0.43	-2.60	0.014	-0.39	-2.33	0.027	-0.47	-2.89	0.007	-0.44	-2.65	0.013	-0.53	-3.43	0.002	-0.51	-3.27	0.003
50	-0.46	-2.81	0.009	-0.47	-2.93	0.006	-0.49	-3.04	0.005	-0.54	-3.52	0.001	-0.55	-3.58	0.001	-0.61	-4.26	0.000
60	-0.06	-0.34	0.739	-0.32	-1.85	0.074	-0.09	-0.49	0.628	-0.36	-2.13	0.042	-0.21	-1.15	0.259	-0.43	-2.58	0.015
70	0.22	1.21	0.234	-0.08	-0.47	0.644	0.21	1.16	0.257	-0.13	-0.70	0.490	0.10	0.53	0.603	-0.21	-1.20	0.238



Ryc. 9. Zależności funkcyjne pomiędzy wilgotnością gleby zmierzoną na poszczególnych głębokościach w profilach pomiarowych.

Fig. 9. Relationships between soil moisture measured on individual depths of profiles

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wilgotności w profilach w środkowej (stanowisko 1) i dolnej (stanowisko 2) części stoku eksperymentalnego obserwuje się różnicowanie wilgotności uzależnione od zróżnicowanych właściwości mechanicznych gleby oraz krążenia wody w profilu podłużnym stoku. Przeprowadzona analiza wpływu wybranych czynników klimatycznych wskazuje na większe znaczenie natężenia opadu niż sumy opadów w kształtowaniu wilgotności. Związki funkcyjne wilgotności gleby z temperaturą powietrza są ujemne; obserwuje się także coraz wyższe współczynniki korelacji ze wzrostem głębokości, na której mierzona jest temperatura. Porównanie związków między wilgotnością na poszczególnych głębokościach obydwu profili pomiarowych wskazuje na bezpośrednie oddziaływanie opadu do głębokości 30-40 cm na całej długości stoku. Głębiej występuje zróżnicowanie wilgotności związane z właściwościami mechanicznymi gleby, zróżnicowanymi w profilu podłużnym stoku.

6. Literatura

- Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973:** *Gleby gromady Szymbark i jej wartość użytkowa*. w: *Gleby i zbiorowiska leśne okolic Szymbarku*. L. Starkel (red.), Dokumentacja Geograficzna nr 1, s. 15-66
- Biniak M., 2005:** *Ocena związków pomiędzy opadami atmosferycznymi i zasobami wodnymi gleby pod powierzchnią nieporośniętą w okresie zimy*. [w:] A. Kostrzewski, R. Kolander (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego „Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji”*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, s.349-359

- Bochenek W., 2005:** *Krążenie wody i ługowanie pokryw w profilu podłużnym pogórskiego stoku fliszowego*. Maszynopis rozprawy doktorskiej, ss.150
- El-Shafei Y. Z., 1988:** *The effect of initial moisture content and rain (sprinkler) intensity on wetting front advance durin rain (sprinkler) infiltration*. CATENA vol. 15, no 6. p. 491-505.
- Evertt S., Ruthardt B., Kottkamp S., Howell T., Schnaider A, Tolk J., 2002:** *Accuracy and precision of soil moisture measurements by neutron, capacitance and TDR methods*. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, 318
- Fujii M., Andoh Ch., Ishihara S. 2004:** *Drought resistance of NERICA (New Rice for Africa) compared with Oryza sativa L. and millet evaluated by stomach conductance and soil water content*. [in:] *New directions for a diverse planet: Proceednigs of the 4th International Crop Science Congress*. Brisbane, Australia, 26 Sep.-1 Oct 2004
- Gil E., 1994:** *Gleby* [w:] Starkel L, Gil E., (red.) *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Stacja Bazowa Szymbark (Karpaty Fliszowe) Biblioteka Monitoringu Środowiska*, s. 31-34.
- Leonard J., Andrieux P., 1998:** *Infiltration characteristics of soil in Mediterranean vineyards in Southern France*. CATENA vol.32, no 3-4, p. 209-223.
- Silva J.S., Rego F.C., Mozzoleni S., 2006:** *Soil water dynamics after fire in a Portuguese shrubland*. *International Journal of Wildeland Fire* 15 (1), p.99-111
- Stacheder M., Blume P., Köhler K., Ruf R., 2002:** *Profiling soil moisture with a time domain reflectometry tube probe*. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, 2068

DYNAMIC AND IMPACT OF FACTORS INFLUENCING ON SOIL MOISTURE OF FLYSCH CARPATHIAN SLOPE COVERS ON THE EXAMPLE OF THE IG&SO PAS EXPERIMENTAL SLOPE AT SZYMBARK

Summary

This paper shows results of soil moisture investigations on the flysch Carpathian slope, measured by TDR (Time Domain Reflectometry) technique in two profiles during one year (a break during winter). Author has analysed the influence selected meteorological factors: precipitation (total and intensity), air-temperature and ground-temperature on soil moisture. It investigated relationships between moisture on measuring points on selected profiles (measurement every 10 cm down). Presented results became completed with information, which got on the base of experiment concerning velocity of moisture progress in soil