

ZMIENNOŚĆ WSKAŹNIKA ZAGROŻENIA SUSZĄ W POKRYWACH  
GLEBOWO-ZWIETRZELINOWYCH POGÓRSKIEGO STOKU  
FLISZOWEGO NA STACJI BADAWCZEJ IGIPZ PAN W SZYMBARKU  
W LATACH 2000-2015

*Witold Bochenek*

Stacja Badawcza Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
38-311 Szymbark 430  
e-mail: [witold.bochenek@zg.pan.krakow.pl](mailto:witold.bochenek@zg.pan.krakow.pl)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono dynamikę zasobności wody w pokrywach stokowych w oparciu o wielkość wskaźnika zagrożenia suszą gruntową  $k_n$ , obliczonego dla okresów 10- lub 11-dniowych na podstawie codziennych pomiarów stanów wody na stanowiskach piezometrycznych w środkowej i dolnej części pogórskiego stoku fliszowego w Szymbarku. Na obydwu stanowiskach zainstalowane zostały po cztery otwory piezometryczne o głębokości 50, 100, 150 i 250 cm, w których dokonywano pomiarów za pomocą gwizdka studziennego (świstawki). Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w latach 2000-2015 stwierdzono występowanie umiarkowanych i dość silnych zależności między średnimi rocznymi stanami wody a sumami opadów i warstwą odpływu. Największą liczebność dekadowych wyników wskaźnika  $k_n$  stwierdzono w klasie "zagrożenie niżówką" ( $-0,1 < k_n \leq 0,1$ ) lub w klasie "brak zagrożenia niżówką" ( $0,1 < k_n \leq 0,3$ ). Najczęściej zagrożenie niżówką występowało w piezometrach o głębokości 1,5 m. Najdłuższe okresy niżówki gruntowej ( $k_n < -0,1$ ), obliczonej dla wszystkich otworów na danym stanowisku, trwały dziewięć dekad, zaś najdłuższe okresy nadmiaru wody ( $k_n > 0,3$ ) na obydwu stanowiskach trwały przez pięć dekad. W ciągu roku występuje wzrost wskaźnika  $k_n$  we wszystkich otworach piezometrycznych między trzecią dekadą lutego a pierwszą dekadą kwietnia, będący efektem zasilania przez opady w okresie zimowym, w tym topnienie pokrywy śnieżnej, w warunkach ograniczonej ewapotranspiracji i odpływu korytowego.

**Słowa kluczowe:** piezometr, wody podpowierzchniowe, wskaźnik zagrożenia suszą  $k_n$ , zlewnia Bystrzanki

WSTĘP

Pedosfera jest ważnym elementem retencyjnym dla wód opadowych i stanowi buforową strefę w relacji opad-wody podziemne. Spływ śródpokrywowy, występujący w warstwie glebowo-zwietrzelinowej na obszarach nachylonych, stanowi ważny

element transformacji opadu w odpływ, a jego rola jako "regulatora" odpływu wzrasta szczególnie w okresach wielodniowych opadów rozlewnych, kiedy powierzchniowa warstwa gruntu zatrzymuje wodę opadową. W okresie późniejszym część zatrzymanej wody zasila głębsze podłoże (zbiorniki wód podziemnych) lub jest pobierana przez systemy korzeniowe roślin porastających stoki i przez to częściowo podlega ewapotranspiracji.

Wartościową metodą oceny nasycenia gruntu wodą są pomiary piezometryczne, które pozwalają określić poziom/poziomy wód podziemnych i oddzielić strefę aeracji od strefy saturacji.

Sieć piezometrów zlokalizowanych na większym obszarze, szczególnie w suchej strefie klimatycznej, umożliwia śledzenie kierunku i intensywności drenażu wód i zasilania nimi obiektów hydrograficznych (Herdera i in. 2016) oraz głębokości krążenia wody w utworach skalnych (Guihéneuf i in. 2014). W literaturze zaproponowane zostały metody interpolacji punktowych danych pomiarowych (Phillip i Watson 1986). W oparciu o zebrane dane stanów wody i wysokości opadów tworzone były regionalne prognozy poziomu wody w zmieniających się warunkach klimatycznych (Thiery 1986).

Złożona budowa litologiczna pokryw stoku fliszowego, wynikająca ze zróżnicowania skał budujących podłoże geologiczne powoduje, że na niewielkim obszarze występują duże zmiany wilgotności gleby i niezależne od siebie poziomy wód podpowierzchniowych (Słupik 1981, Bochenek 2005). Dynamika zwierciadła płytko występujących wód podziemnych wpływa na aktywność osuwisk (Zabuski i in. 2009), które w obszarze, gdzie prowadzono pomiary, odgrywają znaczącą rolę w modelowaniu stoków.

Celem niniejszego opracowania jest określenie dynamiki zasobów wody w glebie w oparciu o wyniki pomiarów jej poziomu w piezometrach i obliczenie wskaźnika zagrożenia suszą gruntową  $k_n$  w latach 2000-2015 w odniesieniu do rozkładu opadów i odpływu w ciągu roku.

## MATERIAŁY I METODY

Na stoku doświadczalnym Stacji Badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku, na dwóch stanowiskach – w środkowej i dolnej części pogórskiego stoku (rys. 1), zainstalowane zostały systemy piezometryczne, składające się z czterech otworów piezometrycznych o głębokościach: 50, 100, 150 i 250 cm (rys. 2). Systemy obejmują miąższość pokryw stokowych w całości, która szacowana jest na ok. 0,8-3,0 m (Gil 1979). W wyniku grawitacyjnego spływu wody z wyższych w kierunku niższych partii stoku obserwowana jest daleko idąca niezależność poziomów wody w otworach o analogicznej głębokości, lecz położonych w różnych częściach stoku (Bochenek 2005).

Pomiary poziomów wody wykonywane były codziennie o godzinie 12:00 GMT za pomocą gwizdka studziennego (świstawki). Przedstawione poniżej analizy dotyczą tylko piezometrów o głębokości 1,0; 1,5 i 2,5 m. Pominięto pomiary w najpłytszym otworze – 0,5 m, gdyż woda występowała w nim krótkotrwale, bezpośrednio po intensywnych opadach. Ponadto, dla danych z piezometrów o głębokości 2,5 m analizy przeprowadzono dla okresu 2005-2014, dla którego dysponowano codziennymi wynikami pomiarów poziomów wody. Na podstawie codziennych pomiarów obliczono 10- lub 11-dniowe średnie i minimalne stany wody, które posłużyły do dalszej analizy. Na tej podstawie obliczono wskaźnik zagrożenia suszą gruntową  $k_n$ , powszechnie używany do ocen podatności obszarów na występowanie suszy (Zdralewicz i Lejcuś 2008, Jarząbek i in. 2015), wg formuły:

$$k_n = 1 - G/SNG_{W(2000-2015)} \quad (1)$$

gdzie:  $G$  (cm) - stan aktualny, określany jako głębokość do zwierciadła wody.  
 $SNG_w$  (cm) – średni niski stan zwierciadła wody z okresu wielolecia – określany jako średni z minimalnych rocznych stanów wód ( $NG_w$ ).

Zasady interpretacji wskaźnika zagrożenia suszą gruntową są następujące:

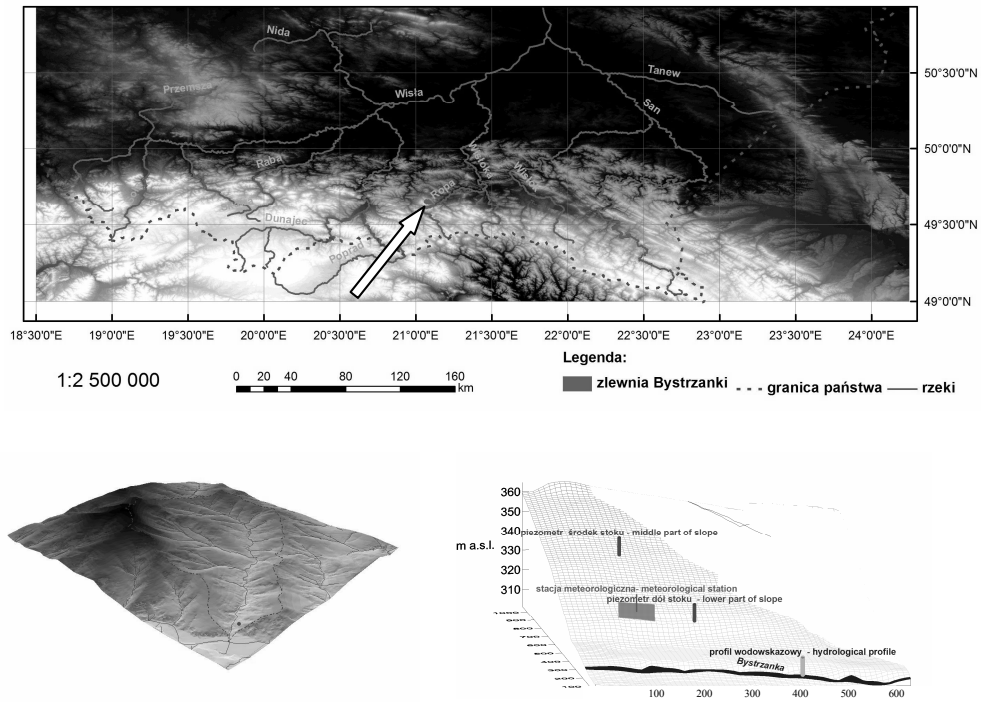
- $k_n < -0,3$  – wystąpienie głębokiej niżówki,
- $-0,3 \leq k_n < -0,1$  – wystąpienie płytkiej niżówki,
- $-0,1 \leq k_n < 0,1$  – zagrożenie pojawienia się niżówki,
- $k_n \geq 0,1$  – brak zagrożenia suszą (niżówką) gruntową.

Autor opracowania rozbudował przedstawioną wyżej klasyfikację o przedziały wskaźnika  $k_n$  uwzględniające wysoki poziom zwierciadła wody:

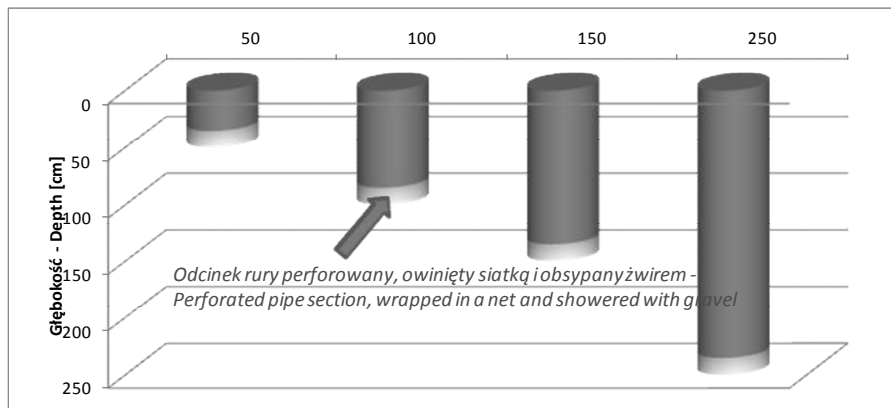
- $0,1 < k_n \leq 0,3$  – brak zagrożenia suszą (niżówką) gruntową,
- $0,3 < k_n \leq 0,5$  – umiarkowany nadmiar wody,
- $k_n > 0,5$  – silny nadmiar wody.

Ocenę warunków termiczno-opadowych przeprowadzono na podstawie danych meteorologicznych zebranych na stacji meteorologicznej odległej o kilkadziesiąt metrów od stanowisk piezometrycznych (rys. 1). Wielkość i dynamikę odpływu rzeczny określono na podstawie zapisów z limnigrafu w punkcie hydrometrycznym zamykającym zlewnię Bystrzanki, odległym o 100-200 metrów od otworów piezometrycznych (rys. 1).

Stok doświadczalny, na którym prowadzone były pomiary, znajduje się w zlewni Bystrzanki, która względem jednostek fizyczno-geograficznych jest położona w obszarze pogranicza Beskidu Niskiego i Pogórza Ciężkowickiego (Starkel 1972).



**Rys. 1.** Lokalizacja obszaru badań  
**Fig. 1.** Location of the study area



**Rys. 2.** Instalacje piezometryczne do pomiarów stanów wód podpowierzchniowych  
**Fig. 2.** Piezometric installations for measurements of subsurface water levels

## WYNIKI I DYSKUSJA

W omawianym, 16-letnim okresie objętym analizą wystąpiły lata o dużym zróżnicowaniu rocznych sum opadów atmosferycznych i warstwy odpływu. Roczne sumy opadów zamknęły się w granicach od 612 mm w 2003 r. do 1181 mm w 2014 r., przy średniej rocznej sumie w okresie omawianego wielolecia wynoszącej 873,3 mm. Rozpiętość rocznych sum odpływu kształtowała się od 86 mm w 2012 r. do 897 mm w 2010 r., przy średniej rocznej wartości wynoszącej 406,3 mm. Szczegółowe zestawienie podstawowych charakterystyk opadów, odpływu i stanów wody przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Roczne sumy opadów, warstwy odpływu i średnie stany wody w piezometrach; Stacja Badawcza IGiPZ PAN w Szymbarku, 2000-2015

**Table 1.** Annual precipitation totals, runoff total and average water levels in piezometers; IG&SO PAS Research Station at Szymbark, 2000-2015

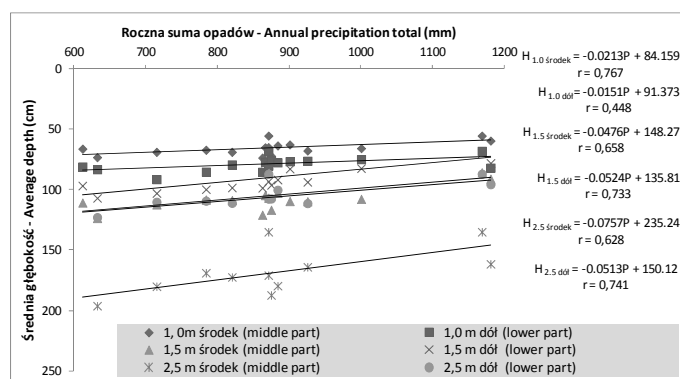
Rok Year	Suma opadów - Precipitation totals (mm)	Wysokość odpływu - Runoff total (mm)	Średnia głębokość zwierciadła wody Average depth of water table (cm)					
			1,0 m środek stoku middle part of slope	1,0 m dół stoku lower part of slope	1,5 m środek stoku middle part of slope	1,5 m dół stoku lower part of slope	2,5 m środek stoku middle part of slope	2,5 m dół stoku lower part of slope
2000	866,7	529,2	65,0	77,0	104,6	84,7	b.d.	b.d.
2001	1000,5	508,6	65,7	74,8	107,7	82,3	b.d.	b.d.
2002	901,0	354,7	62,7	76,5	109,5	82,7	b.d.	b.d.
2003	612,4	313,7	66,1	81,0	110,8	96,7	b.d.	b.d.
2004	862,8	375,0	73,5	85,4	120,8	98,5	b.d.	b.d.
2005	871,3	439,2	64,9	80,1	106,8	93,1	170,9	107,5
2006	820,5	425,1	68,8	79,2	108,8	98,3	172,3	111,0
2007	875,1	267,5	72,1	75,9	116,8	96,1	187,3	107,4
2008	884,1	406,5	63,5	77,5	102,8	91,7	179,5	100,1
2009	925,7	464,9	67,7	76,2	109,7	93,6	163,9	111,2
2010	1168,6	896,7	55,4	68,0	85,7	69,9	134,9	86,9
2011	871,3	437,3	55,4	68,0	85,7	69,9	134,9	86,9
2012	632,8	85,8	73,2	83,2	123,5	106,9	196,1	122,8
2013	784,3	322,2	67,1	85,2	108,3	99,8	168,8	109,2
2014	1180,7	431,5	59,5	81,9	91,0	78,0	161,4	95,6
2015	715,5	199,9	68,8	91,4	112,3	102,9	180,1	110,1
Średnia Average	873,3	403,6	65,4	78,0	106,2	89,5	167,0	103,9
Min	612,4	85,8	55,4	68,0	85,7	69,9	134,9	86,9
Max	1180,7	896,7	73,5	91,4	123,5	106,9	196,1	122,8
Cv	17,8	42,5	8,6	6,7	10,6	12,4	11,9	11,0

b.d. – brak danych / no data

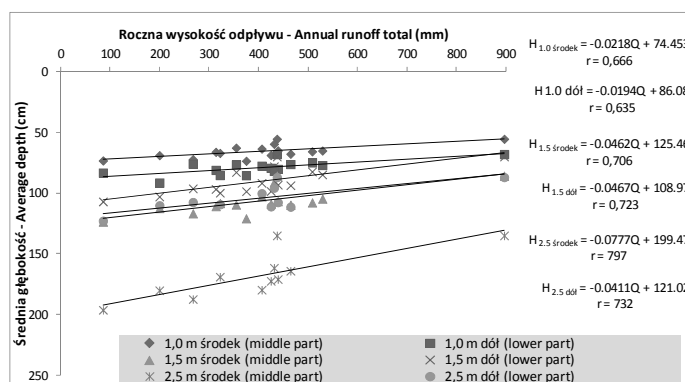
W piezometrach o głębokości 1,5 i 2,5 m średnie stany obliczone dla wielolecia wskazywały na występowanie wody na mniejszej głębokości w dolnej części stoku. W piezometrach 1,0 m woda płycej występowała w środkowej części stoku. Wpływ na zaistniałą sytuację miały lokalne warunki glebowe (płycej występujące gliny ciężkie w środkowej części stoku) (Adamczyk i in. 1973, Bochenek 2002).

Współczynnik zmienności (Cv) średnich rocznych stanów wody przyjął zbliżone wartości w piezometrach 1,5 i 2,5 m w środkowej i dolnej części stoku. W otworach najpłytszych (1,0 m) wartości tej miary zmienności były niższe.

Na podstawie danych zestawionych w powyższej tabeli 1 przeprowadzono analizę zależności średnich rocznych stanów wody w piezometrach od sum opadów (rys. 3) i warstwy odpływu ze zlewni Bystrzanki (rys. 4).



**Rys. 3.** Zależność między roczną sumą opadów a średnimi stanami wody w piezometrach  
**Fig. 3.** Relationship between annual precipitation total and average water level in piezometers



**Rys. 4.** Zależność między roczną wysokością odpływu a średnimi stanami wody w piezometrach  
**Fig. 4.** Relationship between annual runoff total and average water level in piezometers

Obliczono korelację średnich rocznych stanów wody w otworach piezometrycznych z obydwoma zmiennymi niezależnymi: sumą opadów i warstwą odpływu. Korelacje opisują umiarkowane ( $0,4 < r \leq 0,7$ ) i dość silne ( $0,7 < r \leq 0,9$ ) współczynniki, prawie wszystkie (z wyjątkiem korelacji sum opadu z rocznymi stanami w piezometrze 1,0 m w dolnej części stoku) są statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ). Wyższe współczynniki korelacji obserwowane są dla zależności stan wody – warstwa odpływu.

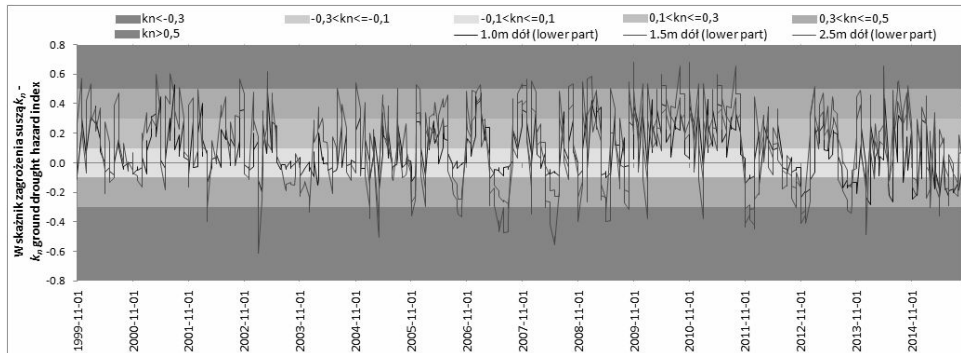
Na podstawie średnich dekadowych stanów wody w piezometrach obliczono wskaźnik zagrożenia suszą gruntową ( $k_n$ ), świadczący o warunkach wilgotnościowych w przypowierzchniowej warstwie gruntu (rys. 5). Charakterystyki statystyczne tego wskaźnika zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Charakterystyki statystyczne wskaźnika zagrożenia suszą gruntową  $k_n$   
**Table 2.** Statistical characteristics of the  $k_n$  ground drought hazard index

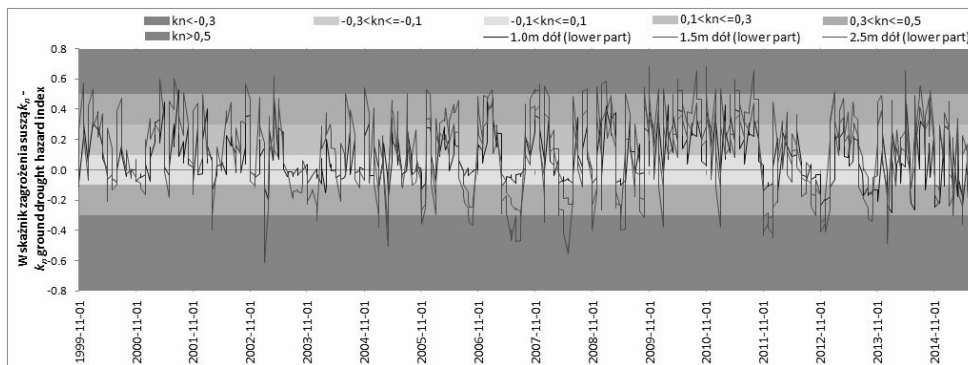
	1.0 m środek stoku middle part of slope	1.0 m dół stoku lower part of slope	1.5 m środek stoku middle part of slope	1.5 m dół stoku lower part of slope	2.5 m środek stoku middle part of slope	2.5 m dół stoku lower part of slope
Średnia / Average	0,10	0,08	0,11	0,13	0,10	0,09
min	-0,35	-0,28	-0,64	-0,61	-0,49	-0,45
max	0,73	0,53	0,75	0,68	0,72	0,51
odchyl. stand / STD	0,21	0,16	0,27	0,29	0,26	0,22

Obliczono częstość wyników wskaźnika  $k_n$  w poszczególnych jego klasach (rys. 6). Największą liczebność dekadowych wyników wskaźnika  $k_n$  stwierdzono w klasie "zagrożenie niżówką" ( $-0,1 < k_n \leq 0,1$ ) lub w klasie "brak zagrożenia niżówką" ( $0,1 < k_n \leq 0,3$ ). Najwięcej dekad z niżówką ( $k_n < -0,1$ ) stwierdzono w otworach piezometrycznych o głębokości 1,5 m, zarówno w środkowej jak i dolnej części stoku, która stanowiła odpowiednio 28,5 i 26,4% ogółu wyników.

Przeprowadzona została analiza równoczesnego występowania stanu niżówki gruntowej ( $k_n < -0,1$ ) we wszystkich otworach piezometrycznych na danym stanowisku w okresie 2005-2015. Na stanowisku w środkowej części stoku stwierdzono 38 dekad (10% czasu trwania) a na stanowisku dolnym 33 dekady (8% czasu trwania). Okresy występowania nadmiaru wody ( $k_n > 0,3$ ) we wszystkich otworach na danym stanowisku wystąpiły przez 55 dekad (14%) na stanowisku na środku stoku i 40 dekad (10%) na stanowisku na dole stoku.



a



b

**Rys. 5.** Dynamika średnich dekadowych wartości wskaźnika zagrożenia suszą gruntową  $k_n$  w piezometrach: środkowa część stoku (a), dolna część stoku (b)

**Fig. 5.** Dynamics of average 10-day values of  $k_n$  ground drought hazard index in piezometers: middle part of slope (a), lower part of slope (b)

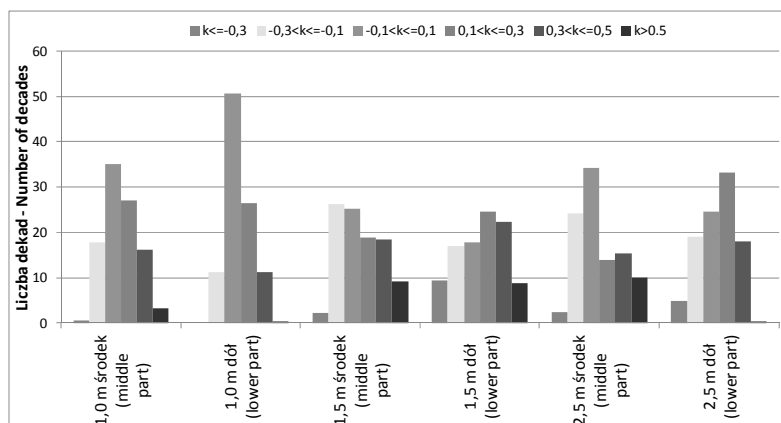
Najdłuższe okresy niżówki ( $k_n < -0,1$ ), obliczonej dla wszystkich otworów na danym stanowisku, trwały dziewięć dekad (10.04.-10.07.2007 r.) w środkowej części stoku i sześć dekad (1.11.-31.12.2012 r.) w dolnej części stoku. Najdłuższe okresy nadmiaru wody ( $k_n > 0,3$ ) na obydwu stanowiskach trwały przez pięć dekad, lecz w różnych okresach czasu: w środkowej części stoku – 1.11.-20.12.2007 r., a w dolnej części stoku – 1.01.-20.02.2007 r. (tabela 3). Uzyskane wyniki wykazują dużą zbieżność czasową z występowaniem okresów niżówek i nadmiaru wody w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej (Zdralewicz i Lejcuś 2008).



**Tabela 3.** Okresy maksymalnej długości niżówek gruntowych ( $k_n < -0,1$ ) i nadmiaru wody ( $k_n > 0,3$ ) w poszczególnych piezometrach

**Table 3.** Periods of maximum duration of ground drought ( $k_n < -0.1$ ) and excess of water ( $k_n > 0.3$ ) in each piezometer

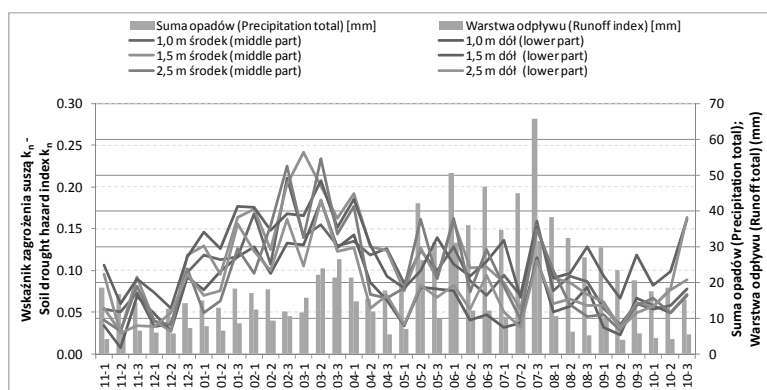
Piezometr Piezometer	Czas trwania (dekady) Duration (decades)	Daty początku i końca Start and finish dates
Niżówka gruntowa ( $k_n < -0,1$ ) Ground drought ( $k_n < -0.1$ )		
1,0 m środek / middle part	10	1.04.-10.07.2007
1,0 m dół / lower part	11	1.08.-20.11.2013
1,5 m środek / middle part	14	21.04.-30.09.2007
1,5 m dół / lower part	14	21.04.-30.09.2007
2,5 m środek / middle part	14	21.02.-10.07.2008
2,5 m dół / lower part	11	11.05.-20.08.2007
Nadmiar wody ( $k_n > 0,3$ ) Excess of water ( $k_n > 0.3$ )		
1,0 m środek / middle part	6	21.01.-10.03.2000
1,0 m dół / lower part	5	1.01.-10.02.2007
1,5 m środek / middle part	10	1.02.-10.05.2013
1,5 m dół / lower part	8	21.07.-10.10.2010
	8	21.07.-10.10.2011
2,5 m środek / middle part	5	11.05.-20.06.2010
	5	11.05.-20.06.2011
	5	1.11.-10.12.2007
2,5 m dół / lower part	6	21.10.-10.12.2007



**Rys. 6.** Rozkład wskaźnika zagrożenia suszą  $k_n$  w poszczególnych klasach jego wielkości  
**Fig. 6.** Distribution of the  $k_n$  drought hazard index in each class of its values

Maksymalne długości trwania okresów charakterystycznych są zróżnicowane. Okresy niżówki są znacznie dłuższe od okresów występowania nadmiaru wody w piezometrach. Najdłuższe okresy niżówki gruntowej wystąpiły w większości otworów piezometrycznych w okresie wiosennym i letnim w 2007 r., który również zaznaczył się występowaniem nadmiaru wody w okresie jesiennym. Długo-trwały nadmiar wody w większości otworów zaobserwowano w okresie ciepłego półrocza hydrologicznego w 2010 i 2011 r.

W ciągu roku występuje wzrost wskaźnika  $k_n$  we wszystkich otworach piezometrycznych między trzecią dekadą lutego a pierwszą dekadą kwietnia, będący efektem zasilania przez opady w okresie zimowym, w tym topnienie pokrywy śnieżnej, w warunkach ograniczonej ewapotranspiracji i odpływu korytowego (rys. 7).



**Rys. 7.** Przebieg wskaźnika zagrożenia suszą  $k_n$  w ciągu roku – średnie dekadowe wartości obliczone dla wielolecia 2000-2014

**Fig. 7.** Dynamics of  $k_n$  ground drought risk index in a year – 10-day average values calculated for multi-year period of 2000-2014

Od początku marca w niektórych piezometrach obserwowane jest obniżanie się wartości wskaźnika  $k_n$ , skutkujące występowaniem stanu "zagrożenia niżówką" ( $k_n < 0,1$ ) w niektórych otworach już w drugiej połowie kwietnia (rys. 7). Wskaźnik  $k_n$  wyraźnie, chociaż krótkotrwale wzrasta w trzeciej dekadzie czerwca i lipca. Ten wzrost wywołują letnie opady ulewne. Pod koniec roku hydrologicznego, mimo wzrostu wielkości retencji, wskaźnik  $k_n$  nie wzrasta, za sprawą niskich sum opadów w okresie jesiennym.

## WNIOSKI

1. Pokrywy stokowe odgrywają ważną rolę w retencjonowaniu wód opadowych i ich późniejszej dostępności dla funkcjonowania okrywy roślinnej.

2. Średnie roczne stany wody w otworach piezometrycznych są w umiarkowanym stopniu zależne od sum opadów, gdyż na kształtowanie poziomu wody wpływają dodatkowo takie czynniki jak: rozkład opadów w czasie, charakter opadów, temperatura powietrza w dużym stopniu determinująca wysokość ewapotranspiracji i inne. W okresach przepływów średnich i niskich w korycie rzeczonym woda występująca w pokrywach stokowych wpływa na wielkość odpływu, zasilając koryto rzeczne.

3. Na podstawie danych dla okresu 16 lat analizy obliczono dekadowe wskaźniki zagrożenia suszą gruntową  $k_n$ . Największą liczebność dekadowych wyników wskaźnika  $k_n$  stwierdzono w klasie "zagrożenie niżówką" ( $-0,1 < k_n \leq 0,1$ ) lub w klasie "brak zagrożenia niżówką" ( $0,1 < k_n \leq 0,3$ ). Najczęściej zagrożenie niżówką występowało w piezometrach o głębokości 1,5 m. Należy przypuszczać, iż jest to efektem "przejsiowości" pomiędzy zawieszonymi wodami pod powierzchnią gruntu a występowaniem swobodnego zwierciadła wody.

4. Czas trwania niżówek gruntowych ( $k_n < -0,1$ ) był dłuższy niż długość okresów z nadmiarem wody ( $k_n > 0,3$ ). Długość występowanie niżówek gruntowych w zależności od piezometru kształtowała się od 10 do 14 dekad, zaś czas trwania okresów z nadmiarem wody – od 5 do 10 dekad.

#### PIŚMIENNICTWO

- Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973. Gleby gromady Szymbark i jej wartość użytkowa. W: Gleby i zbiorowiska leśne okolic Szymbarku (Red. L. Starkel). Dokumentacja Geograficzna nr 1, s. 15-66.
- Bochenek W., 2002. Ocena możliwości retencyjnych pokryw glebowo-zwietrzelinowych na stoku pogórskim, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 3, s. 103-107, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Bochenek W., 2005. Krążenie wody i ługowanie pokryw w profilu podłużnym pogórskiego stoku fliszowego. Rozprawa doktorska (maszynopis), ss. 181.
- Gil E., 1979. Typologia i ocena środowiska naturalnego okolic Szymbarku. Dokumentacja Geograficzna nr 5, ss. 84.
- Guihéneuf N., Boisson A., Bour O., Dewandel B., Perrin J., Dausse A., Viossanges M., Chandra S., Ahmed S., Maréchal J.C., 2014. Groundwater flows in weathered crystalline rocks: Impact of piezometric variations and depth-dependent fracture connectivity, *Journal of Hydrology*, 511, 320-334.
- Herdera Ch., Custodio E., Chong G., Lambá L. J., Riquelme R., Wilke H., Jódar J., Urrutia J., Urqueta H., Sarmiento A., Gamboa C., Lictevout E., 2016. Groundwater flow in a closed basin with a saline shallow lake in a volcanic area: Laguna Tuyajto, northern Chilean Altiplano of the Andes, *Science of the Total Environment*, 541, 303-318.
- Jarząbek A., Kopacz M., Karpierz M., Karpierz O., Sacha M., Smoroń S., 2015. Analiza zjawiska suszy na obszarze regionu wodnego Dniestru, RZGW Kraków 2015, [http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/obwieszczenia/susza/dniestr/Analiza\\_suszy\\_Dniestr.pdf](http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/obwieszczenia/susza/dniestr/Analiza_suszy_Dniestr.pdf)
- Phillip G.M., Watson D.F., 1986. Automatic interpolation methods for mapping piezometric surfaces. *Automatica*, 22(6), 753-756.

- Słupik J., 1981. Rola stoku w kształtowaniu odpływu. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 142, s. 98.
- Starkel L., 1972. Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej), *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 10, 75-91.
- Thiery D., 1986. Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model, *Journal of Hydrology* 97, issue 1-2, s. 129-148
- Zabuski L., Wójcik A., Gil E., Mrozek T., Rączkowski W., 2009. Landslide processes in a flysch massif – case study of the Kawiory landslide, Beskid Niski Mts. (Carpathians, Poland), *Geological Quarterly*, 53(3), 317-332.
- Zdralewicz I., Lejcuś I., 2008. Wyznaczanie okresów niżówkowych wód podziemnych w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 9, 149-158.

## VARIABILITY OF DROUGHT RISK INDEX IN THE SOIL-MANTLE ROCK COVERS OF FLYSCH FOOTHILL SLOPE AT THE IG&SO PAS RESEARCH STATION IN SZYMBARK IN THE YEARS 2000-2015

*Witold Bochenek*

Institute of Geography and Spatial Organization PAS, Research Station  
38-311 Szymbark 430  
e-mail: [witold.bochenek@zg.pan.krakow.pl](mailto:witold.bochenek@zg.pan.krakow.pl)

**Abstract.** This paper presents an analysis of temporal dynamics of the abundance of water in the soil-mantle rock cover at piezometric positions in the middle and lower parts of the foothill flysch slope in Szymbark. The research was based on the value of the drought risk index ( $k_n$ ) which was calculated for periods of 10 or 11 days (decades) on the basis of daily measurements of water levels. In each of the two stations, four bore holes were dug to depths of 50, 100, 150 and 250 cm. and the measurements were made with the use of the well whistle. On the basis of these measurements, the occurrence of moderate and relatively strong relationships between average annual water levels and the sums of precipitation and runoff indicator were observed. The greatest number of ten-day results of the  $k_n$  rate was observed in the "low flow risk" class ( $-0.1 < k_n \leq 0.1$ ) or "no low flow risk" class ( $0.1 < k_n \leq 0.3$ ). The most common "low flow risk" occurred at a depth of 150 cm. The longest periods of low flow ( $k_n < -0.1$ ), calculated for each of the holes, lasted for nine decades, while the longest periods of excess water ( $k_n > 0.3$ ) in both stations continued for five decades. During the year, especially between the end of February and the beginning of April, an increase of  $kn$  index was observed in every piezometric hole. This occurred as a result of rainfall during winter, including the melting of snow cover, under conditions of reduced evapotranspiration and drainage runoff.

**Keywords:** piezometer, subsurface water, the  $kn$  ground drought hazard index, river Bystrzanka catchment basin