

Robert TARKA*
Stanisław STAŚKO*

**ZASILANIE WÓD PODZIEMNYCH
NA OBSZARZE MASYWU ŚNIEŻNIKA**
GROUND WATER RECHARGE AT THE ŚNIEŻNIK MASSIF , SW POLAND

Słowa kluczowe: wody podziemne, zasilanie, skały krystaliczne

Abstract

Preliminary results of ground water recharge in mountainous region form by metamorphic gneiss and schist formation are presented. Ground water run off evaluated by Wundt method indicated value from 32 up to 50 % of precipitation. Field measurements at the 860 m asl. at Śnieżnik at lisymeter massif indicate correspondence of the infiltration rate and moisture contents at soil profile. Main volume of infiltration occurred during early spring. Response for significant amount of precipitation was recorded at lisymeter at the flow rate 0.4 m/d. Detailed study are continue in order to estimate relationship between snow cover melting and other factors such as temperature, vegetation and soil profile.

WSTĘP

Obszary górskie ze względu na wysokie opady atmosferyczne oraz niskie parowanie terenowe odznaczają się znacznym zasilaniem wód podziemnych. Prawie 50% obszaru Sudetów zbudowane jest ze skał krystalicznych, do których zaliczyć można skały magmowe i metamorficzne na wyższych stopniach metamorfizmu (mezo i kata). Stąd tak istotne dla tego regionu jest szczegółowe poznanie obiegu wody w masywach zbudowanych z tego typu skał. Badania nad zasilaniem wód podziemnych przeprowadzono na obszarze Masywu Śnieżnika należącego do Sudetów. Masyw Śnieżnika budują utwory metamorficzne, pokryte niewielkiej miąższości pokrywą utworów zwietrzelinowych. W obrębie utworów metamorficznych wyróżnia się serię suprakrystalną oraz infrakrystalną serię gnejsową. Seria suprakrystalna składa się ze zmiennego zespołu paragnejsów i łupków łuszczkowych z wkładkami kwarcytów, marmurów i amfibolitów, W obrębie serii infrakrystalnej wyróżnia się migmatyczne gnejsy gieraltowskie i oczkowe gnejsy śnieżnickie.

DOTYCHCZASOWE WYNIKI I ICH WSTĘPNA INTERPRETACJA

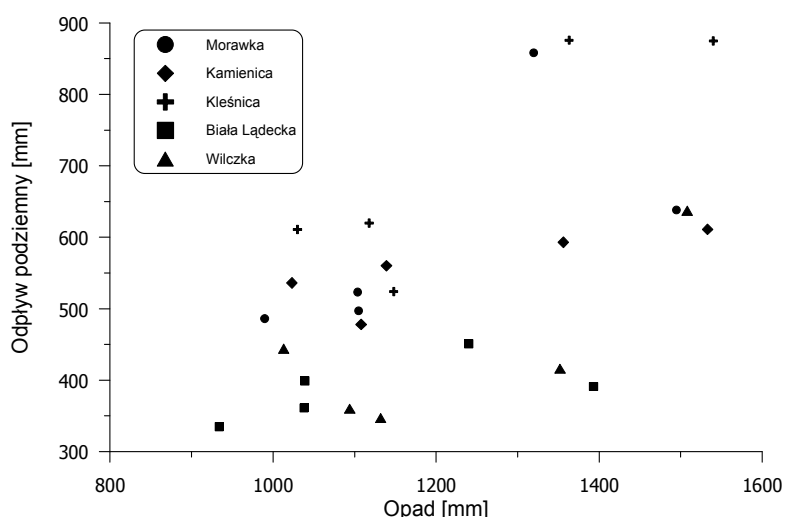
Najistotniejszym procesem prowadzącym do powstania zasobów wód podziemnych jest infiltracja opadów. Lokalny system krążenia, jakim jest zlewnia o powierzchni do kilkuset

*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Hydrogeologii Podstawowej

km², zbiera w postaci odpływu podziemnego najczęściej 80-90% całkowitego zasilania wód podziemnych (Herbich 1991). Stąd wartość infiltracji można ocenić przez analizę odpływu podziemnego. Obliczony metodą Wundta, jako średni z najniższych miesięcznych przepływów, dla pięciu zlewni z obszaru Masywu Śnieżnika dla pięciolecia 1976-80 odpływ podziemny wynosi od prawie 400 do 700 mm (tab. 1), co stanowi od 32 do ponad 50 % opadów.

Zauważa się wyraźny wzrost odpływu podziemnego, a tym samym zasilania, wraz ze wzrostem rocznych opadów (ryc. 1). Bardziej wyraźny wzrost odpływu podziemnego ma miejsce w zlewniach Kamienicy i Kleśnicy. W przypadku zlewni Białej Łądeckiej wzrost zasilania ze wzrostem opadów jest znacznie mniejszy. Związane jest to niewątpliwie z różnicą warunków termicznych na obszarze tych zlewni a tym samym ze zróżnicowaniem ewapotranspiracji.

Dużemu zasilaniu wód podziemnemu w masywach krystalicznych towarzyszy zróżnicowana zdolność retencyjna. Jeżeli przyjąć, że pokrywa utworów zwietrzelinowych na średnio 3 m miąższości, a jej współczynnik odsączalności wynosi 0,1, to może ona zmagazynować 300 mm słupa wody.



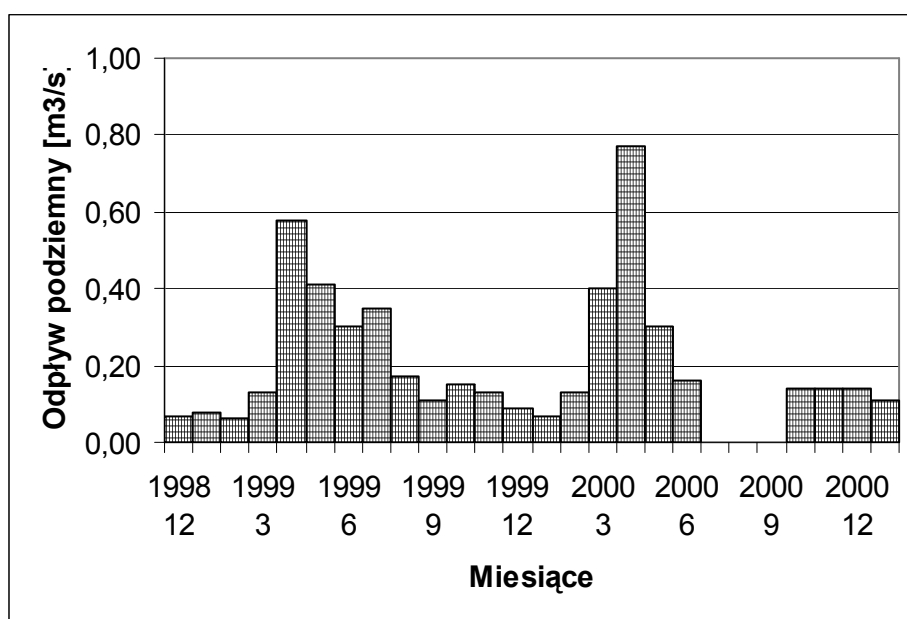
Rycina 1. Wzrost odpływu podziemnego ze wzrostem wysokości rocznych opadów
Fig.1. Ground water run off increase as a function of precipitation amount

Tab. 1. Odpływ podziemny z wybranych zlewni Masywu Śnieżnika dla okresu 1976-80.
Tab.1. Ground water run off for selected catchment at Śnieżnik massif, 1976-1980 year

Zlewnia	Obszar [km ²]	Średnia wysokość [m]	Odpływ podziemny [mm]	Opad [mm]	Współcz. odpływu podziemnego [%]
Morawka	17,5	828	600	1170	50,7
Kamienica	14,3	843	556	1221	45,5
Kleśnica	14,5	858	692	1228	56,4
Biała Łądecka	166,0	733	382	1114	32,0
Wilczka	35,1	862	441	1221	34,5

Odpowiednio dla spękanego masywu skalnego o miąższości 50 m i odsączalności równej 0,001 wartość ta wynosi 50 mm ale dla współczynnika odsączalności 0,01 otrzymujemy 500 mm słupa infiltrujących wód. Stąd widać, że pojemność retencyjna Masywu Śnieżnika jest równa lub niższa od rocznego zasilania wód podziemnych. W lokalnym systemie krążenia może dojść do sezonowej lub rocznej wymiany wód. Z tych względów istotna jest analiza sezonowej zmienności zasilania wód podziemnych. Analizując miesięczne wartości odpływu podziemnego z górnej części zlewni rzeki Kamienicy (ryc. 2) można zauważyć, że główne zasilanie wód podziemnych następuje na wiosnę od marca do czerwca a nawet lipca. W pozostałej części roku zasilanie jest znikome i następuje szczyptywanie wcześniej zgromadzonych zasobów wód podziemnych.

Duże zasilanie wód podziemnych na obszarach zbudowanych ze skał krystalicznych należy, oprócz wysokich opadów i korzystnych warunków termicznych, wiązać bezpośrednio z korzystnymi właściwościami hydrogeologicznymi utworów zwietrzelinowych do przewodzenia wody (Staśko, Tarka 1993). Średnia wartość współczynnika filtracji dla zwietrzelin gnejsów różnego typu i łupków łyszczykowych zawiera się w przedziale od niewiele poniżej 1 m/d do około 5 m/d (tab. 2). Znajduje się więc w przedziale 10^{-4} - 10^{-5} m/s i należą do grupy utworów o średnich właściwościach filtracyjnych (Pazdro, Kozerski 1990). Wyższymi właściwościami filtracyjnymi charakteryzują się zwietrzeliny marmurów, dla których współczynnik filtracji wynosi około 8 m/d ($1 \cdot 10^{-4}$ m/s). Przy pozostałych wydzieleniach litologicznych brak jest wyraźnego zróżnicowania współczynnika filtracji. Pomimo dużego zróżnicowania strukturalnego utworów pokrywowych obserwuje się stosunkowo niewielką zmienność współczynnika filtracji. Nie obserwuje się przy tym zależności współczynnika filtracji od miejsca położenia (wysokość bezwzględna, wysokość nad dnem doliny, nachylenie stoku, ekspozycja stoku). Pozwala to stwierdzić, że na przeważającej części Masywu Śnieżnika, pomijając szczytowe partie Śnieżnika i wychodnie soczewek marmurów, właściwości filtracyjne pokryw są podobne (Tarka 1997).

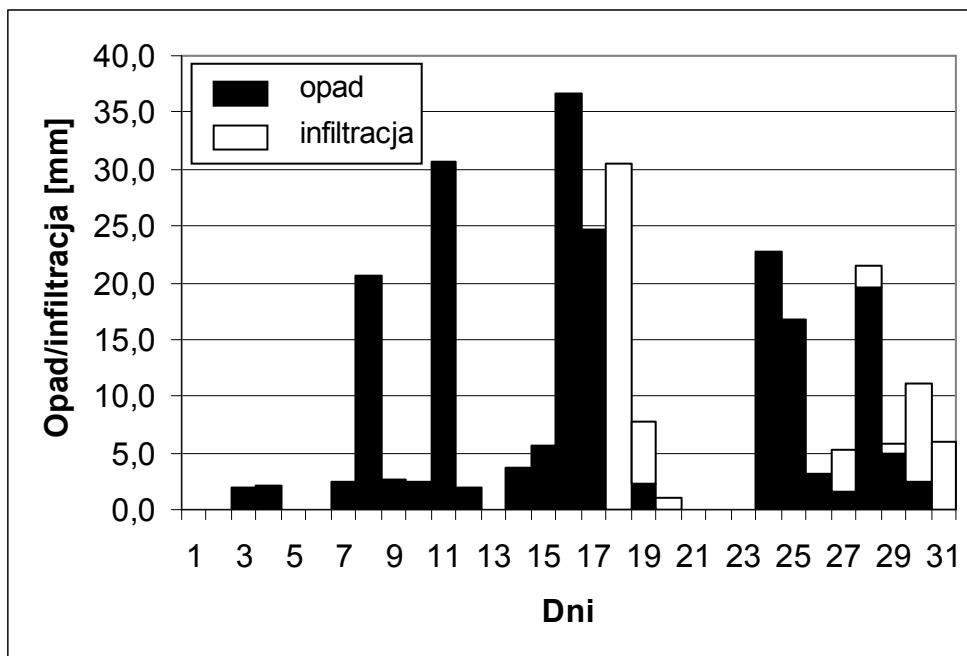


Ryc. 2. Odpływ podziemny z górnej części zlewni Kamienicy
 Fig.2 Ground water run off calculated for the top part of Kamienna river.

Tabela 2. Wyniki oznaczeń współczynnika filtracji utworów powierzchniowych na obszarze Masywu Śnieżnika.

Tab.2 Results of hydraulic conductivity calculation for weathering zone at Śnieżnik massif

Nr punktu	Współczynnik filtracji [m/d]
Gnejsy śnieżnickie	
P 2	2,4
P 4	0,7
P 5	1,8
P 6	2,9
P 7	3,9
P 16	4,0
Gnejsy przejściowe i mieszane	
P 1	10,2
P 10	1,7
P 14	3,5
Łupki łuszczkowe	
P 8	2,1
P 9	4,2
P 11	0,7
P 13	2,4
P 15	2,9
Marmury	
P 3	7,0
P 12	8,7



Rycina 3. Dobowe wartości opadu i infiltracji w lipcu 2000 roku dla infiltrometru przy sztolni (Masyw Śnieżnika)

Fig.3. Daily value of precipitation and infiltration in July 2000 measured in lysimeter at gallery Śnieżnik

Tabela 3. Objętości infiltrującego opadu [%] opadu w utwory pokrywowe w zależności od natężenia opadu i czasu jego trwania.

Tab.3. Volume of infiltrating precipitation into weatehing zone as % of precipitation in relation to precipiatation rate and time of occurrence.

Próba	Utwory	Natężenie opadu [mm/h]				
		50		100		
		Po czasie [h]				
		1	2	5	1	2
Przy wilgotności początkowej 20%						
P1	Gnejsy przejściowe	100	100	100	100	100
P3	Marmury	100	100	100	100	100
P4	Gnejsy śnieżnicke	100	93,6	72,5	66,0	55,7
P8	Łupki łyszczkowe	100	100	100	100	100
P10	Gnejsy przejściowe	100	100	100	100	100
P11	Łupki łyszczkowe	100	97,6	78,6	67,3	58,3
P12	Marmury	100	100	100	100	100
Przy wilgotności początkowej 40%						
P1	Gnejsy przejściowe	100	100	100	100	100
P3	Marmury	100	100	100	100	100
P4	Gnejsy śnieżnicke	94,2	81,2	60,8	57,6	48,0
P8	Łupki łyszczkowe	100	100	100	100	99,8
P10	Gnejsy przejściowe	100	100	100	96,8	92,4
P11	Łupki łyszczkowe	97,2	84,6	66,9	59,2	49,6
P12	Marmury	100	100	100	100	100

Tak duża wartość współczynnika filtracji utworów pokrywowych powoduje, że nawet opady o dużym natężeniu w całości infiltrują i rzadko dochodzi do formowania się spływu powierzchniowego na całej powierzchni stoku. Przykładem tego mogą być obliczenia objętości infiltrującego opadu w zależności od natężenia opadu i czasu jego trwania (tab. 3) przeprowadzone za pomocą modelu Greena i Ampta (Tarka 1997).

O istotnej roli utworów pokrywowych w zasilaniu wód podziemnych świadczą szczegółowe badania infiltracji. W infiltrometrze zlokalizowanym przy sztolni zainstalowano przyrząd mierzący ilość infiltrującej wody dwa razy w ciągu doby. Analiza wielkości dopływu wody (ryc. 3) wskazuje, że zasilanie wód podziemnych ma charakter gwałtowny i następuje szybko po opadach.

Cała objętość infiltrującej na głębokość 0,8 m. wody dociera do urządzenia pomiarowego w kilkanaście, kilkadziesiąt godzin po opadzie. Analizując dobowe wartości opadu i infiltracji największą zgodność pomiędzy wystąpieniem opadu a dopływem wody do infiltrometru uzyskuje się po dwóch dniach od rozpoczęcia opadu. Analizując rycinę 3 łatwo zauważyć, a potwierdza to również wcześniejsze obserwacje (Sawicki 2000), że aby rozpoczęło się przesiąkanie wody przez monolit gruntu, musi w nim nastąpić wypełnienie porów pewną porcją wody odpowiadającą opadowi inicjującemu proces infiltracji. J. Sawicki (2000) podaje, że opad inicjujący jest zależny od pory roku i rodzaju pokrycia roślinnego oraz rodzaju gruntu. W przypadku gruntów bez roślinności wynosi on od 10 mm w październiku od około 50 w lipcu, w pozostałych miesiącach letnich jest zbliżony do około 30.

Tabela 4. Zestawienia wartości opadów i infiltracji

Tab.4. Comparison of precipitation and infiltration values.

Okres	Opad [mm]	Infiltracja [mm]	Różnica [mm]
14-20.07.2000	70,5	37,0	33,5
24.07-2.08.2000	71,4	23,6	47,5
6-10.08.2000	33,0	3,6	29,4
4-10.11.2000	39,5	1,8	37,7
25-29.11.2000	22,3	1,8	20,5

Dla gruntu porośniętego trawą odpowiednie wartości wynoszą: od 20 mm we wrześniu do około 70-80 w lipcu o sierpniu i 60 mm w pozostałych miesiącach letnich. Przeprowadzone wstępne badania wskazują, że opad inicjujący na badanym obszarze wynosi od 20 do prawie 50 mm opadu (tab. 4.). Zależy on od warunków pogodowych nie tylko w ciągu 2 dni przed dotarciem wody do przyrządu pomiarowego ale w dłuższym okresie.

Chcąc powiązać zasilanie z warunkami pogodowymi w dłuższym okresie czasu przed początkiem infiltracji wykorzystano wskaźnik wilgotności Lambora (1962) zdefiniowany jako:

$$I_L = \left(\frac{1}{120} \sum_{i=1}^{15} a_i \sqrt{P_i} \right)^2$$

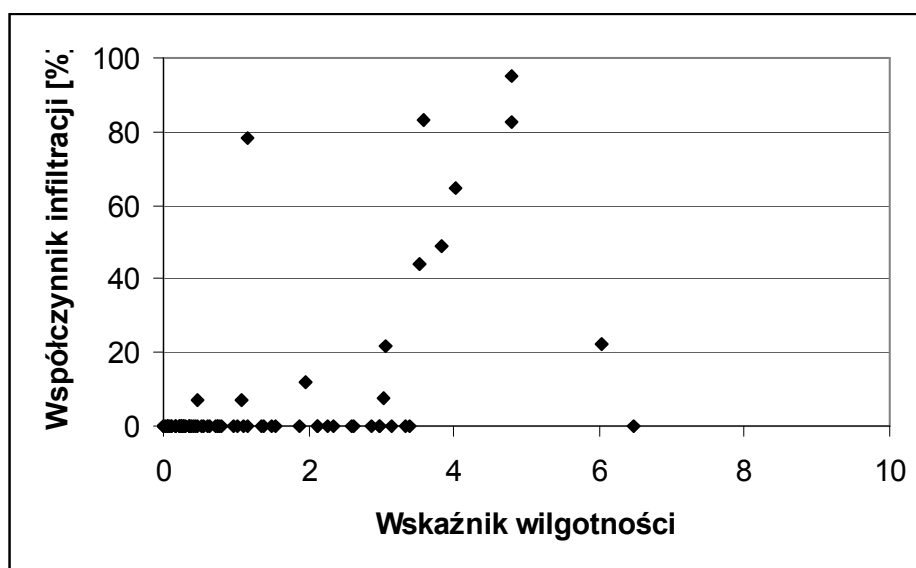
gdzie P_i - opad w i -tym dniu poprzedzającym dzień, dla którego oblicza się wskaźnik, a_i - waga i -tego dnia.

Obliczenie wskaźnika wilgotności polega na zsumowaniu dobowych wielkości opadów z 15 dni poprzedzających dzień dla którego prowadzi się obliczenia, pomnożone przez odpowiednie wagi. Wagi przyjmuje się w ten sposób, że dla opadu z dnia bezpośrednio poprzedzającego dzień, dla którego oblicza się wskaźnik, przyjmuje się $a_1=15$ dla drugiego $a_2=14$, itd.

Tabela 5. Miesięczne wartości opadu i infiltracji

Tab.5. Monthly values of precipitation and infiltration

Miesiąc	Opad [mm]	Infiltracja [mm]	Wskaźnik infiltracji [%]
VI/2000	70,0	0	0
VII	209,0	57,9	27,7
VIII	56,9	6,2	10,9
IX	73,5	0	0
X	28,1	0	0
XI	74,4	3,6	4,8
XII	59,0	0	0
I/2001	-	2,3	-
II	-	-	-
III	-	-	-



Rycina 4. Zależność współczynnika dobowej infiltracji od wskaźnika wilgotności.
 Fig. 4 Correlation between daily value of infiltration and moisture contents.

Obliczone dla okresu od 1.06 do 31.12.2000 roku wskaźniki wilgotności zmieniają się w zakresie od 0 do 8,02. Na rycinie 4 zestawiono wskaźnik wilgotności z procentem infiltrującego opadu. Ponieważ jak wynika ze wstępnych interpretacji dopływ wody do infiltrometru zachodzi po około dwóch dniach od wystąpienia opadu, więc do obliczenia procentu infiltrującego opadu wzięto dane z infiltrometru po dwóch dobach w stosunku do opadu.

Z analizy ryciny 4 widać, że prędkość i natężenie infiltracja wzrasta, gdy wskaźnik wilgotności osiąga wartości około 2,8-3,0. Im wyższa jest wartość tego wskaźnika, tym więcej wody infiltruje w stosunku do aktywującego ten proces opadu.

Szczegółowe badania infiltracji potwierdzają również wcześniejszy stwierdzenia, że infiltracja w okresie późnego lata, jesienią i wczesną zimą jest niewielka (tab. 5) i jest to okres intensywnego drenażu wód podziemnych (Tarka 1997).

PODSUMOWANIE

Bazując na najniższych miesięcznych przepływach, dla pięciu zlewni z obszaru Masywu Śnieżnika dla okresu 1976-80 odpływ podziemny określono w wysokości od 400 do 700 mm, co stanowi od 32 do ponad 50 % opadów. Infiltracja zachodzi głównie w okresie wczesnej wiosny a w okresie późnego lata, jesienią i wczesną zimą jest niewielka. Wtedy następuje głównie intensywny drenażu wód podziemnych. Wielkość infiltracji jest funkcją nie tylko przepuszczalności osadów lecz głównie stanem wilgotności strefy nienasyceń. Jak wykazały wstępne szczegółowe interpretacje pomiarów lizymetrycznych tempo przemieszczania się wody wolnej jest niskie i wynosi od 0.4 m/d. Kontynuacja badań pozwoli na analizę przebiegu zjawiska infiltracji w zależności nie tylko od opadów atmosferycznych lecz również od tajania pokrywy śniegowej oraz zmian temperatur i porycia szatą roślinną.

LITERATURA:

- Herbich P.: 1991 - Ocena przewodności wodnej i odsączalności metodą analizy regresji odpływu podziemnego. V-te Ogólnop. Symp. „Współczesne Problemy Hydrogeologii” T. 48. Jachranka - Warszawa.
- Lambor J.: 1962 - Metody prognoz hydrologicznych. Wyd. Komunik i Łączn., Warszawa.
- Pazdro Z., Kozerski B.: 1990 - Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Sawicki J.: 2000 - Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstwy wodonośnej pod wpływem głębokiego górniczego drenażu. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
- Staśko S., Tarka R.: 1993 - Wstępne wyniki badań zasilania wód podziemnych w obszarze Masywu Śnieżnika. Współczesne Problemy Hydrogeologii T. VI. Wrocław
- Tarka R.: 1997 - Zasilanie wód podziemnych w górskich masywach krystalicznych na przykładzie masywu Śnieżnika w Sudetach., Acta Univ. Wratisl. Prace Geol.-Mineral. nr LVI, Wrocław.