

Robert TARKA\*

**ROZBIEŻNOŚCI W OCENIE ZASOBÓW ODNAWIALNYCH  
WÓD PODZIEMNYCH A PRZEPUSZCZALNOŚĆ  
SKAŁ STREFY PRZYPOWIERZCHNIOWEJ**  
DISCREPANCY IN GROUNDWATER RESOURCES ESTIMATION AND  
PERMEABILITY OF THE SURFACE ZONE

**Słowa kluczowe:** odnawialność wód podziemnych, infiltracja,

Abstract

This paper presented divergences in estimation groundwater renewal in dependences from used materials characterizing lithology of subsurface rocks and from accepted classification of binding infiltration coefficient from type of rock. Appointed effective groundwater recharge on central and eastern parts of North Sudetic Synclinorium range from 116, 8 mm to 268, 5 mm what states from 17, 0 % to 39, 1 % of precepitation. In spite, that for Schnaider classification obtained greater convergences among value of hydraulic conductivity and infiltration coefficient, this results obtained at used Pazdro classification appear nearer real. To use in Pazdro classification different kind of materials characterizing litologie of subsurface rocks in slight manner influences on final result of estimation of effective infiltration. Differences carry out only a dozen percentage.

1. WSTĘP

Jedną z podstawowych metod oceny zasobów odnawialności wód podziemnych jest wyznaczenie infiltracji efektywnej. Obliczenie infiltracji efektywnej dla zlewni jest często utożsamiane z odpływem podziemnym (Pleczyński 1981). Z kolei chcąc analizować odpływ podziemny należy poza litologią uwzględnić takie czynniki, jak: morfologia, opad, spływ powierzchniowy, parowanie, kondensacja pary wodnej itp. Wypadkową tych czynników jest ilość wody przyjęta jako iloczyn opadów i wskaźnika infiltracji (Bieniaszewska 1973):

$$H_w = w \cdot P$$

gdzie  $H_w$  - część opadu infiltrującego w skałę,  $w$  - wskaźnik infiltracji danej skały,  $P$  - opad.

W literaturze spotkać można różne klasyfikacje wiążące wskaźnik infiltracji z typem skały. (np. klasyfikacja Pazdry, Paczyńskiego czy Schneidera). Najczęściej stosowaną jest klasyfikacja Pazdry (Pazdro 1983). Wydziela ona tylko 4 typy utworów w zależności od

---

\*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Hydrogeologii Podstawowej

przepuszczalności i im przyporządkowuje wskaźnik infiltracji. W klasyfikacji tej wskaźniki infiltracji zostały dobrane bez szczegółowej analizy procesu infiltracji. Natomiast wskaźniki infiltracji Schneidera zostały określone empirycznie na podstawie badań lizymetrycznych (Zaluski 1973).

Wyznaczona na podstawie wskaźnika infiltracji wartość zasilania efektywnego ma charakter szacunkowy, co w praktyce wyklucza możliwość jednoznacznego charakteryzowania zmienności przestrzennej zasilania traktowanego jako wskaźnik zasobów odnawialnych. Sumaryczne zasilanie zlewni w oparciu o wartość opadu i wskaźnik infiltracji powinno być kontrolowane wartością odpływu podziemnego z całej zlewni. Jednak przeprowadzone na ich podstawie obliczenia odpływu podziemnego w porównaniu z wynikami uzyskanymi z innych metod wykazały dużą zgodność (Bieniaszewska 1973).

W celu wyznaczenia wskaźnika zasobów odnawialnych wód podziemnych na dowolnym obszarze należy wykonać szczegółową mapę litologiczną. Szczególnie do tego nadają się mapy glebowe wykonane w dużych skalach, przedstawiające stosunkowo dokładnie charakterystykę utworów pokrywających analizowany obszar. W przypadku prowadzenia analizy odnawialności wód dla dużych zbiorników wód podziemnych mapy te należy w pierwszym etapie poddać generalizacji lub oprzeć się na dostępnych źródłach takich jak mapy geologiczne czy glebowe w małej skali. Zastosowanie każdego rodzaju mapy niesie za sobą pewne uproszczenie panujących warunków co przekłada się na dokładność oceny zasobów odnawialnych wód podziemnych.

Intencją przeprowadzonych prac było porównanie oceny odnawialności wód podziemnych dokonanej w oparciu o analizę mapy geologicznej w skali 1:50 000 oraz mapy glebowej w skali 1:300 000 i 1:500 000. W następnym etapie starano się zweryfikować dokładność odwzorowania warunków zasilania (wyznaczonego wskaźnika infiltracji) przez zestawienie go z wartościami współczynnika filtracji charakteryzującego poszczególne wydzielania litologiczne. Badania przeprowadzono na obszarze synklinorium północnosudeckiego ograniczając obszar analizy do jego części wschodniej i środkowej po rzekę Kwisę. Powierzchnia tego obszaru wynosi 380 km<sup>3</sup>.

Powierzchnia synklinorium jest wzniesiona średnio na wysokość 200-260 m n.p.m. W morfologii dominują kredowe wzgórza piaskowcowe sięgające do 330 m n.p.m. Obniżenia w obrębie kredowej powierzchni utworzone są z margli i mułowców marglistych. Osady czwartorzędowe na obszarze synklinorium północnosudeckiego stanowią utwory aluwialne i fluwioglacjalne. Cały analizowany obszar objęty został zasięgiem zlodowaceń południowopolskiego i środkowopolskiego. We wschodniej części synklinorium przeważają aluvia rzeczne, które osiągają miąższość do 25 m. Szerokość dolin rzecznych nie przekracza 2,3 km. Poza korytami rzecznych czwartorzęd wykształcony jest jako zwietrzelina utworów starszych. W zachodniej części obszaru utwory czwartorzędowe występują głównie jako gliny zwałowe, piaski i żwiry z przewarstwieniami mułków.

## 2. WYNIKI BADAŃ

Efektywne zasilanie infiltracyjne wód podziemnych w centralnej i wschodniej części synklinorium północnosudeckiego obliczono na podstawie trzech map: geologicznej w skali 1:50 000 oraz map glebowych w skalach 1:300 000 i 1:500 000. Dla każdej z tych map wydzielono klasy infiltracji utworów powierzchniowych. Podziału tego dokonano według

klasyfikacji Pazdry oraz Schneidera. Następnie analizowany obszar badań podzielono na dwa regiony opadowe, charakteryzujące się średnimi rocznymi sumami opadów 675 i 725 mm (ryc. 1). Na podstawie tych danych obliczono sumaryczne zasilanie na analizowanym obszarze (tab. 1).

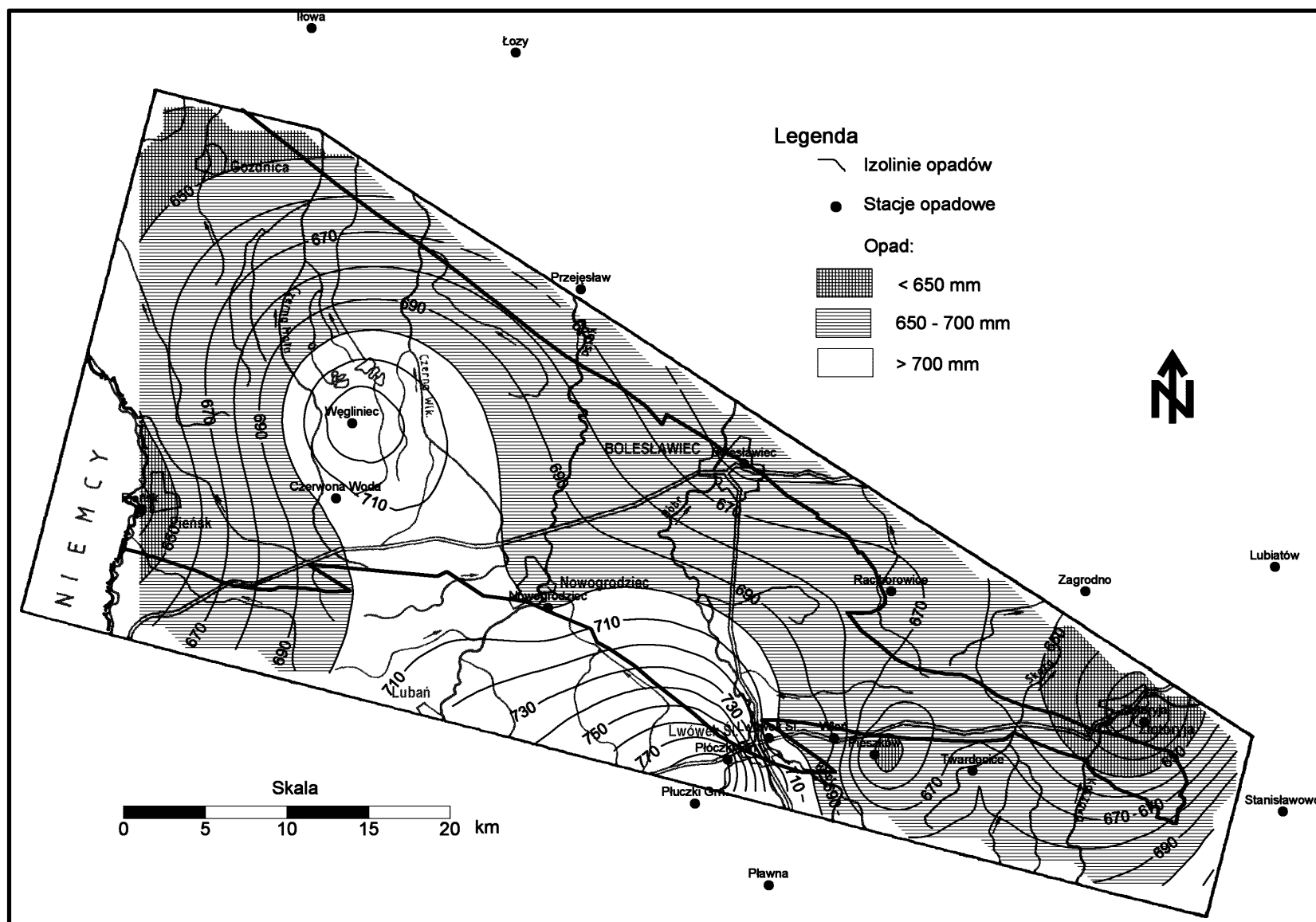
Wyznaczona infiltracja efektywna na analizowanym obszarze mieści się w szerokim zakresie od 116,8 mm do 268,5 mm co stanowi od 17,0% do 39,1% wartości średnich opadów. Najniższą wartość ilości wód pochodzących z infiltracji efektywnej, przy wykorzystaniu do obliczeń klasyfikacji Pazdry, otrzymano dla mapy glebowej w skali: 1:500 000 i wynosi ona 116,8 mm, natomiast najwyższą wartość infiltracji uzyskano dla mapy geologicznej w skali: 1:50 000, to jest 134,7 mm. Obie jednak te wartości różnią się jedynie o kilkanaście procent. Otrzymano więc, pomimo zastosowania różnych podkładów charakteryzujących wykształcenie litologiczne warstw przypowierzchniowych, bardzo zbliżone do siebie oceny zasobów odnawialych wód podziemnych. Przyjmując wartość infiltracji efektywnej 116,8 mm na rok otrzymuje się moduł zasobów dla całego analizowanego obszaru równy 3,7 l/s/km<sup>2</sup>.

W przypadku zastosowania klasyfikacji Schneidera do wyznaczenia wskaźnika infiltracji warstw przypowierzchniowych uzyskano wyższe wartości infiltracji efektywnej. Dodatkowo otrzymane wyniki wykazują większe zróżnicowanie, niż przy wykorzystaniu klasyfikacji Pazdry, w zależności od zastosowanej mapy. Najwyższą wartość infiltracji efektywnej wynoszącą 268,5 mm, otrzymano z obliczeń wykonanych na mapie geologicznej w skali 1:50000. Wielkość ta jest wyższa o około 80 % od wyników uzyskanych przy analizie map glebowych. Na tak dużą różnicę wpływa fakt, że na mapie geologicznej głównym wydzieleniem na analizowanym obszarze są piaski i żwiry wodnolodowcowe charakteryzujące się w przypadku klasyfikacji Schneidera bardzo wysoką wartością wskaźnika infiltracji wynoszącą 55%. Na mapach geologicznych na tych samych obszarach wydzielane są z kolei piaski gliniaste, dla których przyjęto wskaźnik infiltracji jak dla piasków pylastych (10%).

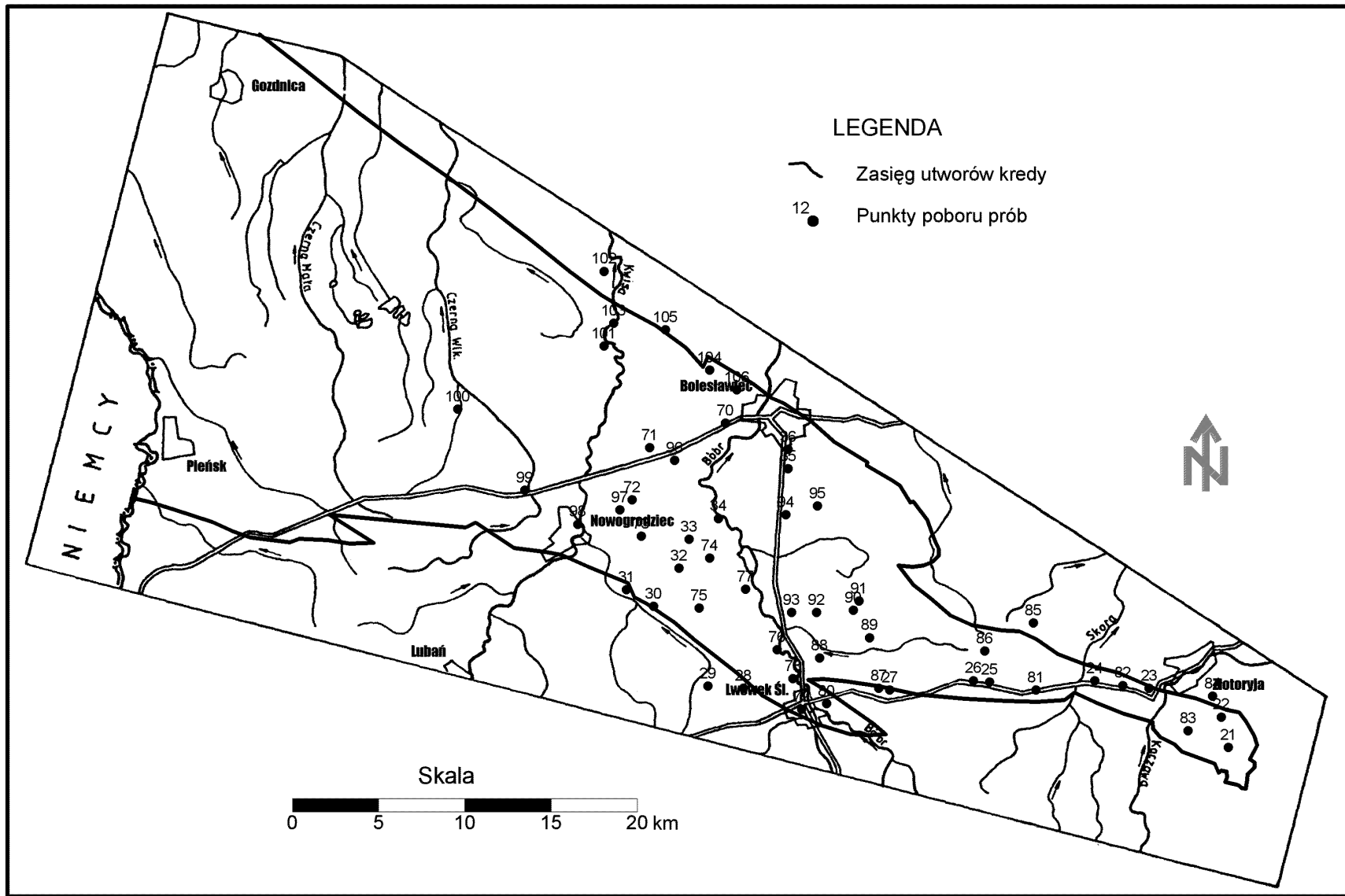
Ponieważ uzyskano bardzo dużą rozbieżność oceny zasilania wód podziemnych w zależności od wykorzystanej mapy oraz przyjętej klasyfikacji wskaźnika infiltracji od typu skały, podjęto badania nad oceną przepuszczalności strefy przypowierzchniowej. W tym celu określono współczynnik filtracji na 56 próbach skał. Lokalizację miejsc poboru prób przedstawia rycina. 2. Badania wykonano w aparacie ICW firmy Eijkelkamp metodą stałego ciśnienia na próbach o nienaruszonej strukturze. Próby pobierano w wykonanych otworach z głębokości około 1 m. Na podstawie tych oznaczeń dla poszczególnych wydziałów litologicznych i glebowych obliczono średnie wartości współczynnika filtracji. Wyniki zestawiono w tabelach 2, 3 i 4.

TABELA 1. Ocena zasilania środkowej i wschodniej części synklinorium północnosudeckiego metodą efektywnego zasilania infiltracyjnego.

Rodzaj mapy	Ocena zasilania [mm] na podstawie klasyfikacji	
	Pazdry	Schneidera
geologiczna 1:50 000	134,7	268,5
glebowa 1:300 000	131,4	164,2
glebowa 1:500 000	116,8	152,7



RYCINA 1. Mapa średnich rocznych opadów na podstawie wielolecia 1891-1930



RYCINA 2. Mapa lokalizacji miejsc poboru prób do badania współczynnika filtracji strefy aeracji

Tabela 2. Porównanie współczynników filtracji ze wskaźnikami infiltracji dla mapy geologicznej w skali 1:50000

Symbol	Litologia	Ilość prób	Współczynnik filtracji [m/d]				Wskaźnik infiltracji %	
			min.	max.	średnia arytm.	średnia geom.	Wg Pazdry	Wg Schneidera
d	piaski i żwiry deluwialne	4	0,392	2,810	1,456	1,014	20	40
fH+fB	muły, piaski rzeczne	6	0,660	36,550	7,339	1,126	20	40
fgS1+fS1+sS2	piaski wodnolodowcowe i rzeczne	12	0,024	31,610	5,822	1,900	30	55
gzS1+lgB	gliny zwałowe i gliny pylaste	10	0,003	5,970	0,850	0,095	5	20
kcn+kst+kt1	piaskowce	8	0,006	2,380	0,696	0,103	20	35
kt2+cn	margle ilaste	2	0,021	0,620	0,321	0,114	5	10

Tabela 3. Porównanie współczynników filtracji ze wskaźnikami infiltracji dla mapy glebowej w skali 1:300000

Numer	Litologia Gleby utworzone z:	Ilość prób	Współczynnik filtracji [m/d]				Wskaźnik infiltracji %	
			min.	max.	średnia arytm.	średnia geom.	Wg Pazdry	Wg Schneidera
17	utworów lessowatych	4	0,021	0,791	0,378	0,170	20	10
20	piasków; luźne	2	1,920	2,250	2,085	2,078	30	55
21	piasków; słabo gliniaste	6	0,090	36,550	12,288	2,391	30	50
22	piasków; gliniaste	13	0,441	12,510	4,089	2,702	25	40
26	glin poch. rzeczno i wietrzeniowego	2	0,006	0,023	0,014	0,012	5	20
28	utworów pyłowych poch. wodnego	14	0,001	2,380	0,454	0,087	20	10
30	z utworów lessowatych	2	0,014	0,037	0,026	0,023	20	10
31	z różnych skał masywnych	9	0,001	2,810	0,810	0,096	5	10

Tabela 4. Porównanie współczynników filtracji ze wskaźnikami infiltracji dla mapy glebowej w skali 1:500000

Symbol	Litologia	Ilość prób	Współczynnik filtracji [m/d]				Wskaźnik infiltracji %	
			min.	max.	średnia arytm.	średnia geom.	Wg Pazdry	Wg Schneidera
psg	piaski słabogliniaste	7	0,570	36,550	11,194	3,967	30	50
pgl	piaski gliniaste lekkie	5	0,441	4,140	2,254	1,585	25	40
pg	piaski gliniaste	7	0,009	8,780	2,311	0,405	25	40
up	utwory pyłowe	2	0,320	0,790	0,555	0,503	20	10
ulp	utwory lessowe i pyłowe	10	0,003	0,791	0,160	0,034	20	10
m.	mady	5	0,001	4,140	1,482	0,189	20	10
gl	gliny lekkie	3	0,090	1,600	0,807	0,540	5	20
g	gliny	12	0,002	6,550	1,310	0,155	5	20
gc	gliny ciężkie	1	0,001	0,001	0,001	0,001	5	20

Ponieważ rozkład współczynnika filtracji zbliżony jest do rozkładu logarytmiczno-normalnego, do porównania przyjęto wartości średnie geometryczne. Najwyższe wartości pomierzonego współczynnika filtracji odnotowano dla utworów charakteryzujących się najwyższymi wskaźnikami infiltracji. Są nimi piaski wodnolodowcowe i rzeczne. Dotyczy to zarówno zestawień dla mapy geologicznej jak i map glebowych. Średnie wartości współczynnika filtracji wynoszą dla tych utworów od 1 do prawie 4 m/d ( $1,2 \cdot 10^{-5}$  -  $4,6 \cdot 10^{-5}$  m/s). Natomiast większe różnice wynikające z porównania wielkości wskaźnika infiltracji i średniego współczynnika filtracji zachodzą w przypadku gleb powstałych z utworów lessowatych i pyłowych oraz glin. Wynika to między innymi z faktu, że różnie została potraktowana zdolność infiltracyjna tych utworów w klasyfikacjach Pazdry i Schneidera. W przypadku klasyfikacji Pazdry gliny charakteryzują się najniższymi wskaźnikami infiltracji. Inaczej jest w klasyfikacji Schneidera, gdzie utwory te mają lepsze własności do infiltracji wód od piasków pylastych, pyłów i mułków. Generalnie uzyskano dużą zbieżność pomiędzy wartością współczynnika filtracji a wartością wskaźnika infiltracji. Dotyczy to szczególnie mapy geologicznej 1:50 000. W przypadku mapy glebowej 1:300 000 pomimo uzyskania dużej zbieżności pomiędzy wartością współczynnika filtracji i wskaźnika infiltracji dla obu klasyfikacji, trudniej jest korelować te wielkości, gdyż gleby utworzone z glin zajmują sporadyczną część obszaru badań i reprezentowane są tylko przez dwie próby. Największe różnice pomiędzy współczynnikiem filtracji i wskaźnikiem infiltracji zaznaczyły się dla mapy glebowej 1:500 000 w przypadku utworów lessowatych i pyłowych oraz glin. Różnice te dotyczą porównania szczególnie w obrębie klasyfikacji Pazdry. Pomierzone wartości współczynnika filtracji dla wydzielen glin były wyższe niż dla wydzielen utworów lessowatych i pylastych. W przypadku tej klasyfikacji gliny charakteryzują się najniższymi wskaźnikami infiltracji niż utwory pylaste i lessowate. Przeprowadzone obserwacje wskazują na właściwsze zobrazowanie zdolności do infiltracji tego typu skał w klasyfikacji Schneidera, gdzie gliny zwałowe mają lepsze własności do infiltracji wód od piasków pylastych, pyłów i mułków.

### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują na dużą rozbieżność oceny zasobów odnawialnych wód podziemnych w zależności od wykorzystanej informacji (mapy) charakteryzującej litologię warstw przypowierzchniowych oraz od zastosowanej klasyfikacji wiążące wskaźnika infiltracji od typu skały. Uzyskane wyniki obliczeń efektywnego zasilanie wód podziemnych na analizowanym obszarze mieszczą się w szerokim zakresie od 116,8 mm do 268,5 mm co stanowi od 17,0% do 39,1% wartości średnich opadów. Tak duża rozbieżność w ocenie infiltracji efektywnej wynika z różnego opisu litologicznego tych samych utworów na różnych mapach. Ponieważ ocena zasobów odnawialnych powiązana jest z ustalaniem zasobów dyspozycyjnych, a przy rozpoznaniu obszarowym niekiedy również i zasobów eksploatacyjnych (Paczyński et al. 1996) zmusza to do podjęcia prac nad opracowaniem standardów w stosowaniu metody efektywnego zasilania infiltracyjnego wód podziemnych. Jest to o tyle istotne, że stosowana w powyższej pracy klasyfikacja Pazdry wiążące wskaźnik infiltracji z typem skały dotyczy obszaru Niżu Polskiego i brak jest w literaturze szerszych opracowań uzasadniających stosowanie jej na innych obszarach.

Przeprowadzane prace nad oceną zasobów odnawialnych i przepuszczalnością skał strefy przypowierzchniowej na obszarze wschodniej i środkowej części synklinorium północnosudeckiego pozwalają na sformułowanie przesłanek dotyczących wiarygodności oceny zasobów odnawialnych.



- Klasyfikacja Schneidera wiążące wskaźnik infiltracji z typem skały jest klasyfikacją stosunkowo szczegółową. Dla tej klasyfikacji i mapy geologicznej 1:50 000 uzyskano największą zgodność wskaźnika infiltracji i średniego współczynnika filtracji charakteryzującego poszczególne wydzielania litologiczne. Jednak tak znaczna szczegółowość w powiązaniu z dużą generalizacją g opisu litologicznego utworów przypowierzchnowych na poszczególnych mapach powoduje, że dla klasyfikacji tej uzyskano największe rozbieżności w ocenie zasobów odnawialnych w zależności od zastosowanej mapy charakteryzującej litologię warstw przypowierzchniowych. Różnice sięgają 80%.
- Bardziej ogólną, a tym samym bardziej uśredniającą warunki infiltracji jest klasyfikacja Pazdry o czym świadczy niewielkie zróżnicowanie oceny zasobów odnawialnych w zależności od zastosowanego podkładu charakteryzującego litologię warstw przypowierzchnowych wynoszące jedynie kilkanaście procent
- Porównanie otrzymanych wyników oceny zasobów odnawialnych dla obszaru wschodniej i środkowej części synklinorium północnosudeckiego z analizą zasobów dynamicznych przeprowadzonych metodą analizy siatki hydrodynamicznej (Zielski 1999), gdzie otrzymano wartość zasobów równą 79,4 mm pozwala na stwierdzenie, że klasyfikacja warunków infiltracji Pazdry pozwala na wiarygodną ocenę zasobów odnawialnych również na tym obszarze. Stosunkowo dużą wiarygodność uzyskanej oceny zasobów odnawialnych przy wykorzystaniu klasyfikacji Pazdry potwierdzają również inne badania infiltracji efektywnej z obszaru Dolnego Śląska (Gregorczyk, Sawicki 1992, Tarka 1997).

## LITERATURA

- Bieniaszewska H., 1973: *Metody obliczeń odpływu gruntowego na przykładzie małej zlewni*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, nr 277.
- Gregorczyk T., Sawicki J., 1992: *Wyniki bezpośrednich pomiarów infiltracji opadów w obszarze górniczym KWB „Turów”*. Mat. Konf. „Problemy Hydrogeologiczne Płd.-Zach. Polski. Wrocław.
- Paczyński B., Macioszczyk T., Kazimierski B., Mitrega J., 1996: *Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny*. Wyd. TRIO, Warszawa.
- Pazdro Z., 1983: *Hydrogeologia ogólna*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.
- 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.
- Załoski M., 1973: *Odnawialność wód podziemnych w świetle wybranych elementów i obliczeń bilansowych*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, nr 277.
- Zielski T., 1999: *Zasobność kredowego zbiornika wód podziemnych na obszarze niecki północnosudeckiej*. Arch. ING Uniw. Wroc.

