

ZLATKO POLLAK:

## PRIMJENA SKRAĆENE METODE RAČUNA VODOPROVODNOSTI I KOEFICIJENTA FILTRACIJE

*S 1 tablom i 1 tabelom u prilogu*

Jedan od važnih i mnogo korištenih hidrogeoloških parametara je koeficijent filtracije. On se određuje na razne načine, a smatra se da u najvećoj mjeri zadovoljavaju podaci dobiveni pokusnim crpljenjem.

Ruski hidrogeolozi L. Tenenbaum i I. Grinbaum (1965) razradili su metodu pojednostavljenog računa koeficijenta filtracije stijenjena na osnovu jedinične specifične izdašnosti.

Ovdje se daje u skraćenom obimu prikaz te metode, te njezina prva primjena kod nas.

### 1. OPĆI PRIKAZ

Osnovne formule od kojih se pošlo kod proračuna su formule Dupaite-a za dotok vode u bunar kojim je kaptiran čitav vodonosni sloj. To je formula za slobodne podzemne vode i vodu pod pritiskom:

$$Q = \frac{k(2H-s)s}{\ln R - \ln r} \quad ; \quad Q = \frac{2kms}{\ln R - \ln r}$$

gdje je:  $Q$  = izdašnost (m<sup>3</sup>/sek.)

$k$  = koeficijent filtracije (m/sek.)

$H$  = debljina vodonosnog horizonta slobodne podzemne vode (m)

$m$  = debljine vodonosnog horizonta podzemne vode pod pritiskom (m)

$s$  = sniženje dinamičkog nivoa podzemne vode (m)

$R$  = radius depresionog konusa (m)

$r$  = radius ispitivane bušotine (m)

Za približni račun vodoprovodnosti<sup>1</sup> i koeficijenta filtracije E. Kerkis predlaže da se član  $\frac{2}{\ln R - \ln r}$  izjednači sa jedinicom, jer brojnici i nazivnik ovog izraza imaju bliske vrijednosti. U tom slučaju ćemo imati

<sup>1</sup> Termin vodoprovodnosti znači prema amer. literaturi »transmissibility« odnosno po rus. literaturi »vodoprovodnost«.

$$q \cong km \quad i \quad q \cong kH \left( 1 - \frac{s}{2H} \right)$$

Za relativno mala sniženja ( $s \leq 0,2 H$ ) može se posljednji član druge formule zanemariti, pa će vodoprovodnost u oba slučaja biti jednaka specifičnoj izdašnosti

$$kH \equiv q$$

Kako je član  $\frac{2}{\ln R - \ln r}$  u većini slučajeva manji od jedan, to gornja formula nije potpuno korektna.

Osim toga specifična izdašnost se u znatnoj mjeri mijenja u zavisnosti o crpljenim količinama na pojedinoj bušotini. Zbog turbulentnih gibanja u neposrednoj blizini bunara dolazi do smanjenja specifične izdašnosti u skladu sa ostvarenim sniženjem. Ostvarivanjem velikih sniženja dolazi do značajnih griješaka. Da se to izbjegne čitav proračun vodoprovodnosti, pa onda i koeficijenta filtracije, svodi se na podatak jedinične specifične izdašnosti uz uvođenje koeficijenta proporcionalnosti, koji je prema različitim autorima dobiven metodom korekcije. Prema tome vodoprovodnost je jednaka:

$$kH = Dq'$$

gdje je:  $kH$  = vodoprovodnost sloja ( $m^2/sek$ )

$D$  = koeficijent proporcionalnosti ( $D_{sr} = 1,30$ )

$q'$  = jedinična specifična izdašnost ( $m^3/sek/m'$ )

Jedinična specifična izdašnost ( $q'$ ) znači specifičnu izdašnost bunara kod ostvarenog sniženja dinamičkog nivoa podzemne vode od 1 m.

Za vodonosni horizont koji nije pod pritiskom, a debljina mu je 5 m ili manje, vodoprovodnost se određuje prema formuli

$$kH = \frac{Dq'}{1 - \frac{1}{2H}}$$

Primjena ove metode korištena je za bušotine gdje je kaptiran čitav vodonosni sloj. Ishodišna formula Dupuit-a bazira se na srednjoj vrijednosti koeficijenta filtracije, bez obzira na to da li je sloj jednoličnog ili nejednoličnog granulometrijskog sastava.

## 2. PRIMJENA RAZRAĐENE METODE

Izložena pojednostavljena metoda proračuna koeficijenta filtracije i vodoprovodnosti ima i nekoliko ozbiljnih prigovora. V. S. Aleksejev smatra da specifične izdašnosti u obilnoj mjeri zavise o tipu filtra te o otporu filtra u odnosu na vodopropusnost vodonosnog sloja. Drugi pri-

govor je također u zavisnosti o otporu filtra, ali u zavisnosti od vremena, jer se znade da tokom vremena dolazi do kolmatacije bušotine, što mužno ima za posljedicu smanjenje izdašnosti cjevnog bunara.

Da bi se to izbjeglo uzeti su u obzir kod proračuna samo oni podaci dobiveni istražnim radovima poduzeća »Geofizika«, gdje je pokusno crpljenje izvedeno na novom cjevnom bunaru, znači gdje još nije moglo doći do kolmatacije bušotine. Za kaptažu vodonosnog horizonta na svim objektima korišteni su rupičasti ili rezani filtri propusne moći 11—13%. Na taj su način pri pokusnom crpljenju ostvareni gotovo isti uvjeti otpora filtra.

Na nizu lokaliteta vršilo je poduzeće »Geofizika« vodoistražne radove u cilju vodoopskrbe pojedinih naselja ili industrijskih objekata.

Prilogom I dane su uz radilišta oznake bušotina sa odgovarajućim hidrogeološkim podacima dobivenih terenskim radovima. U zavisnosti od općih hidrogeoloških uslova kaptirane su slobodne te podzemne vode pod pritiskom. Strukturnim bušenjem utvrđena je, gdje je to bilo moguće, debljina vodonosnog sloja. Pokusnim crpljenjem konstatirana je izdašnost vodnog objekta  $Q = (m^3/\text{sek})$  uz odgovarajuće sniženje  $s$  (m).

Koristeći empirijske formule raznih autora u zavisnosti od karaktera podzemne vode izračunati su osnovni hidrogeološki parametri.

U tabelarnom prikazu nisu posebno označeni vodni objekti kojima je kaptiran čitav vodonosni horizont odnosno jedan njegov dio. Osim toga koeficijenti filtracije daju srednje vrijednosti bez obzira na jednoličnost ili nejednoličnost granulometrijskog sastava vodonosnog horizonta. Prilogom II daje se područje granulometrijskih sastava vodonosnih horizonta ispitivanih pokusnim crpljenjem. Vrijednosti koeficijenta filtracije računane su na bazi podataka crpljenja u tri različite faze, pri čemu je u svakoj fazi postignuto stacionarno stanje dinamičkog nivoa podzemne vode. Iz ovih podataka izračunate su srednje vrijednosti koeficijenta filtracije.

Iz zavisnosti izdašnosti ( $Q$ ) o ostvarenom sniženju ( $s$ ) u toku pokusnih crpljenja dobivene su vrijednosti jedinične specifične izdašnosti  $q'$  ( $m^3/\text{sek}/m'$ ).

Iz ovih osnovnih podataka dobivenih standardnim hidrogeološkim proračunima željela se dobiti komparacija sa vrijednostima opisane metode skraćenog postupka proračuna vodoprovodnosti odnosno koeficijenta filtracije. (Tenenbaum — Grinbaum).

U navedenom tabelarnom prikazu, prilog I, dane su uz oznaku lokaliteta i jedinične specifične izdašnosti, vrijednosti koeficijenta vodoprovodnosti ( $m^2/\text{sek}$ ), a za korekcionni faktor  $D$  uzeta je srednja teoretska vrijednost  $D_{sr}$ .

Simbolom  $k'$  označen je koeficijent filtracije dobiven skraćenim proračunom na osnovu formule:

$$k' = \frac{q'D}{H}$$

Prema literaturi faktor proporcionalnosti  $D$  ima srednju teoretsku vrijednost  $D_{sr} = 1,30$ .

Relativno odstupanje  $\Delta$  dobivenog koeficijenta filtracije —  $k'$ , u odnosu na srednji koeficijent filtracije dobiven pokusnim crpljenjem —  $k_{sr}$ , dan je u zasebnoj koloni priloga I.

S obzirom na skraćenu metodu proračuna koeficijenta filtracije i komparacijom sa podacima dobivenim pokusnim crpljenjem na navedenim lokalitetima, došlo se je do slijedećih općenitih konstatacija:

— Koeficijenti filtracije izračunati skraćenom metodom uglavnom odgovaraju vrijednostima dobivenim pokusnim crpljenjem.

— Relativno odstupanje je malo, ako je vodnim objektom kaptirana voda pod pritiskom, ili slobodna podzemna voda po čitavom dubinskom intervalu vodonosnog horizonta. Veće razlike nastaju kod korištenja formula raznih autora nego kod koeficijenata filtracije izračunatog skraćenom metodom. Kao primjer navesti ćemo upotrebu standardnih formula proračuna koeficijenta filtracije na radilištu Bosanski Brod. Uvrštavanjem podataka crpljenja u formulu Thiem-a dobivena je vrijednost  $k = 0,000183$  m/sek. Njihova srednja vrijednost iznosi  $k_{sr} = 0,00012$  m/sek, što je veoma blizu vrijednosti  $k' = 0,00011$  m/sek izračunatoj skraćenim postupkom.

— Veća odstupanja nastaju ako je vodonosni sloj pod pritiskom ili slobodan, samo djelomično zahvaćen filtrom, te u slučaju da je pokusnim crpljenjem ostvareno veće sniženje ( $s$ ) od  $0,2 H$ .

— Faktor  $D$  koji karakterizira korelacionu vezu vodoprovodnosti ( $kH$ ) sa jediničnom specifičnom izdašnošću ( $q'$ ) dobiven je grafičkom metodom i metodom korekcije te ima srednju vrijednost  $D_{sr} = 1,33$ . Za proračun ostalih parametara korištena je teoretska srednja vrijednost faktora proporcionalnosti  $D_{sr} = 1,3$ , zbog relativno malog broja analiziranih lokaliteta istraživanja.

### 3. ZAKLJUČAK

Prema pojednostavljenoj metodi računa vodoprovodnosti i koeficijenta filtracije na bazi jediničnih specifičnih izdašnosti (Tenenbaum, Grinbaum — 1965), obrađeni su podaci crpljenja stacionarnih stanja nekih lokaliteta istraživanja i razmatrane mogućnosti njihove praktične primjene.

Analizom podataka došlo se do slijedećih zaključaka:

1. Predložena metoda mnogo skraćuje račun vodoprovodnosti odnosno koeficijenta filtracije ispitivanja vodonosnog sloja.

2. Valjanost formule u velikoj mjeri zavisi o nekim hidrogeološkim uvjetima: vodonosni sloj treba biti kaptiran po čitavoj svojoj debljini; ostvareno sniženje ne smije biti veće od 0,2 H; kod proračuna koeficijenta filtracije nastaju znatna odstupanja ako se aproksimira vrijednost debljine vodonosnog sloja (H).

3. Korištenje vodopropusnosti na bazi jedinične specifične izdašnosti postignute pokusnim crpljenjem, može biti pouzdani kriterij za unificiranu ocjenu izmjene filtracionih svojstava i vodoobilnosti stijena u cilju prognoznih hidrogeoloških kartiranja.

4. Ova metoda naročito je pogodna za forme prikazivanja vodoprovodnosti (kH) kao rezultata pokusnih crpljenja kod vodonosnih horizonta pukotinske poroznosti i u području krša, gdje je samo iznimno moguće odrediti debljinu vodonosnog sloja (H).

Na kraju zahvaljujem svima onima koji su mi pomogli u nastojanju da se ovaj rad objavi, poduzeću »Geofizika« čije sam podatke koristio, te napose dipl. inž. Mirku Zgagi na korisnim savjetima.

Primljeno 25. 4. 1967.

»Geofizika«, Zagreb, Kupka 2

#### KORIŠTENA LITERATURA

- Alekseev V. S. (1966): Ob opredelenii vodoprovodimosti porod po jediničnomu udelnomu debitu skvažin. Raz. ohr. neдр № 8, Moskva.  
 Aljtovski M. E. (1962): Sprovočnik gidrogeologa. Gosgeoltehzdat, Moskva.  
 Grinbaum I. I., Tenenbaum L. J. (1965): Uprošćenij metod račeta vodoprovodimosti i koeficienta filtracii porod na osnove edinočnogo udelnogo debita otkaeček. Raz. Ohr. Neдр № 2 — Moskva.  
 Mutschmann J., Stimmelmayer F. (1962): Snabdevanje vodom. Gradj. knjiga, Beograd.  
 Todd D. K. (1960): Ground Water Hydrology. John Wiley & Sons, Inc. New York.  
 Todd D. K. (1961): Podzemnaja gidrodinamika. Gospotehzdat — Moskva.  
 (1961—1967): Hidrološka istraživanja. Fond dokumenata »Geofizika« — Zagreb.

#### Z. POLLAK

##### APPLICATION OF THE SIMPLIFIED METHOD OF ESTIMATION OF TRANSMISSIBILITY AND COEFFICIENT OF PERMEABILITY

The purpose of this report is to present the fundamental data of the Tenenbaum-Grinbaum's method of estimation transmissibility and the coefficient of permeability according to unit specific yield. Besides I wanted to verify the data, which we obtained through test pumping, and compare them with suggested simplified method of estimation. We carried estimations on several drilled wells in different hydrogeological conditions, and used following equation:

$$kH = Dq'$$

where is

- k = coefficient of permeability (m/sec.)  
 H = depth of waterbearing horizon (m)

$D$  = coefficient of correction (average value  $D_0 = 1,30$ )  
 $q'$  = unit specific yield ( $m^3/sec/m'$ )

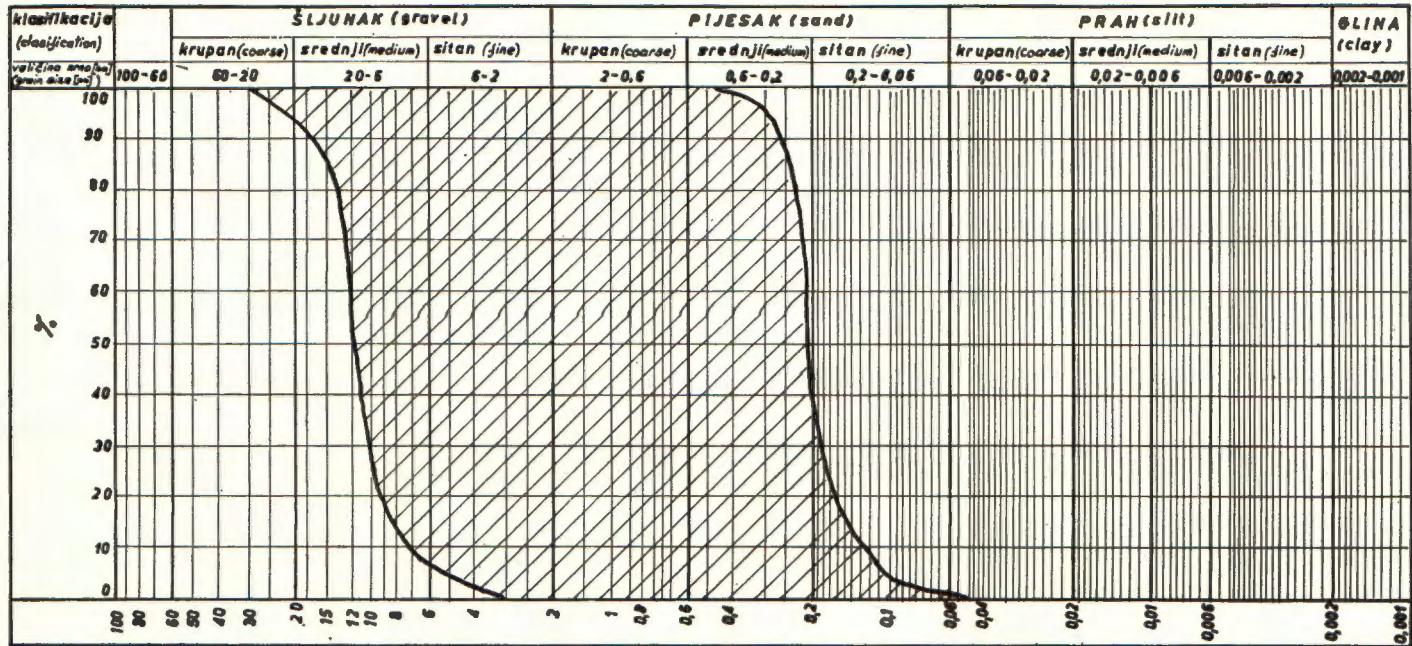
We could make the following conclusions:

- this method gives us the possibility to estimate fundamental hydrogeological data by means of test pumping in very short time
- suggested equation satisfies us, if all the waterbearing horizon, is caught by the screen, and if the drawdown does not exceed the value of  $0,2 H$
- this short method is very convenient for estimation of transmissibility on karstic area in this country
- transmissibility estimated through unit specific yield can be reliable criterion for the appreciation of hydrogeological quality of waterbearing horizons in making hydrogeological maps.

Received 25<sup>th</sup> April 1967.

»Geofizika«, Zagreb, Kupska 7

GRANULOMETRIJSKI SASTAV KAPTIRANIH VODONOSNIH HORIZONATA  
 DISTRIBUTION OF GRAIN SIZE OF CAPTURED WATERBEARING HORIZONS



Lokacija	Oznaka bunara	Sniženje s[m]	Izdašnost Q [m <sup>3</sup> /sek]	Debljina vodonosnog horizonta H [m]	Koeficijent filtracije (prema pokusnom crpljenju k [m/sek])	Vodoprovodnost kH [m <sup>3</sup> /sek]	Jedinična specifična izdašnost q [m <sup>3</sup> /sek/m]	Vodoprovodnost (prema jediničnoj specifičnoj izdašnosti) kH' [m <sup>3</sup> /sek]	Koeficijent filtracije (prema skraćenoj računskoj metodi) $k' = \frac{Dq'}{H}$ [m/sek]	Relativno odstupanje $\Delta = \frac{k'-k}{k} \cdot 100$	Tip podzemne vode
Location	Well No	Drown-down	Yield Q [m <sup>3</sup> /sec]	Depth of waterbearing horizon H [m]	coefficient of permeability according to test pumping) k [m/sek]	Transmissibility kH [m <sup>3</sup> /sec]	Unit specific yield q [m <sup>3</sup> /sec/m]	Transmissibility (according to unit specific yield) k'H [m <sup>3</sup> /sec]	Coefficient of permeability (according to short method of estimation) $k' = \frac{Dq'}{H}$ [m/sek]	Relative retreat $\Delta = \frac{k'-k}{k} \cdot 100$	Type of groundwater
Bos. Brod	BOB-1	1,35 1,93	0,0059 0,0075	55,25	0,0001224	0,00676	0,0047	0,0061	0,00011	— 10,1	Slobodna podzemna voda
Đurđenovac	ĐDB-2	1,09 1,96 2,48	0,00674 0,0113 0,0132	17,65	0,0000464	0,0082	0,0067	0,0087	0,000494	+ 6,5	Subart. podzemna voda
	ĐDB-3	1,94 2,68	0,0113 0,01349	16,20	0,0005	0,0081	0,006	0,0078	0,00048	— 4,0	„
Orahovica	OOB-1	11,22 6,06 2,02	0,0012 0,00073 0,00038	10,40	0,00002856	0,000297	0,0002	0,000026	0,000025	— 12,5	„
	OOB-2	11,24 6,48 3,26	0,002 0,0013 0,00081	10,40	0,00002996	0,000312	0,00048	0,0000624	0,00006	+ 100	„
Glogovac	GMB-1	4,59 8,41 11,10	0,002 0,0039 0,0057	4,10	0,000146	0,0006	0,00048	0,000624	0,000152	+ 4,1	„
Dvor na Uni	B-2	1,19 2,04	0,014 0,020	~ 40	0,00602	0,241	0,012	0,0156	0,00039	— 93,35	Slobod. podz. voda
Glina	GPB-1	1,03 1,73 2,72 4,62	0,0015 0,003 0,0055 0,0063	3,10	0,00196	0,00608	0,00145	0,00188	0,00061	— 69,0	Subart. podz. voda
Bos. Brod	BOB-2	1,54 2,45 2,85	0,017 0,0243 0,0276	59,75	0,00048	0,0277	0,0125	0,0162	0,000272	— 43,0	„
Sijekovac	ZZ	1,24 3,46 6,22	0,003 0,006 0,010	38,50	0,00037	0,0142	0,0028	0,00364	0,000095	— 77,0	„
Garešnica	GMB-1	6,42 10,29 12,53	0,00272 0,00326 0,00375	8,55	0,00004	0,000342	0,001	0,0013	0,000162	+ 305	Arteška podzemna voda
Derventa	DOB-1	1,88 2,91 3,99	0,0052 0,0078 0,0101	5,10	0,00184	0,00937	0,003	0,0039	0,000765	— 58	Subart. podzemna voda
Hrastovac	B-2	2,03	0,0025	5,71	0,00014	0,0008	0,0014	0,00182	0,000319	+ 128	„
V. Mlinska	GMB-3	14,24	0,0015	16,60	0,0000079	0,000131	0,00023	0,00029	0,000018	+ 128	„
Čazma	ČOB-1	2,79 6,13 9,25	0,0014 0,0033 0,0043	13,35	0,000056	0,000747	0,0006	0,00078	0,0000585	+ 4,5	„
	ČOB-2	2,92 5,73 7,72	0,0031 0,0057 0,0074	60,00	0,000047	0,00282	0,0014	0,00182	0,0000304	— 35,4	„
	ČTB-3	3,42 7,26 8,31	0,002 0,0035 0,0041	34,55	0,000021	0,000725	0,00085	0,0011	0,000032	+ 52,4	„
Modriča	MRB-2	0,60 0,71 0,91	0,00075 0,00093 0,00127	~ 50	0,001	0,05	0,0142	0,0185	0,00037	— 63,0	Slobodna podzemna voda
	MRB-3	1,80 3,75 4,93	0,006 0,0088 0,012	~ 50	0,00039	0,0195	0,004	0,0052	0,000104	— 73,4	„
Derventa	DOB-4	1,82 2,92 3,67 4,94	0,0048 0,0063 0,0071 0,0084	4,60	0,0063	0,029	0,004	0,0052	0,00113	— 82,1	Subart. podzemna voda