

Geol. vjesnik	27	299—308	2 sl., 3 tabele, 1 tab.	Zagreb, 1974
---------------	----	---------	----------------------------	--------------

627.81:551(161.18.43)

VLADIMIR JURAK i ANTUN MAGDALENIC

### ISPITIVANJE HOMOGENOSTI PREGRADNOG PROFILA BRANE S OBZIROM NA VODOPROPUSNOST METODAMA NEPARAMETARSKOG TESTIRANJA

Na pregradnom profilu brane HE Salakovac na Neretvi izdvojena su područja različite vodopropusnosti. Ona predstavljaju statističke uzorke, čija je pripadnost istom osnovnom skupu ispitana metodama neparametarskog testiranja. Međusobnim uspoređivanjem uzoraka želi se doznati da li je razlika među njima sigifikantna ili ne, čime se, zapravo, ispitala homogenost pregradnog profila s obzirom na vodopropusnost. Rezultati statističkog testiranja potvrđuju nehomogenost profila u horizontalnom i vertikalnom smislu.

#### UVOD

Pregradno mjesto buduće akumulacije HE Salakovac na Neretvi nalazi se cca 18 km uzvodno od Mostara. U sklopu istražnih radova za podizanje brane na pregradnom profilu je određivana vodopropusnost (VDP) metodom Lugeona na nizu istražnih bušotina. Radove je izvelo poduzeće »Geotehnika« — Zagreb.

Obale rijeke razlikuju se po geološkom sastavu, što ima za posljedicu i razlike u vodopropusnosti pojedinih dijelova profila, kako horizontalno, tako i po dubini. Već pri pogledu na hidrogeološki profil (tabla 1) zapaža se da izdvajanje područja različite vodopropusnosti ne predstavlja poteškoću (Magdalenic & Jurak, 1972). Upravo je takav primjer pogodan za pokušaj da se metodama statističkog testiranja potvrdi opravdanost izdvajanja pojedinih zona u samostalne cjeline određenih kategorija vodopropusnosti.

Zbog specifičnih problema i poteškoća tehničke naravi, koje se javljaju u postupku ispitivanja VDP, kao i zbog sumnji u vjerodostojnost apsolutnih vrijednosti, o čemu piše Boreli (1966), smatramo da je pri-

kazana metoda objektivna i vrlo prikladna za određivanje relativnih odnosa vodopropusnosti bilo u profilu, bilo prostorno. Ovakav pristup problemu može korisno poslužiti pri provođenju antifiltracionih mjera — projektiranju injekcione zavjese.

Ugodna nam je dužnost zahvaliti Z. Bakarić, višem predavaču RGN-fakulteta, na korisnim savjetima pri izradi ovoga rada.

### ISPITIVANJE HOMOGENOSTI PREGRADNOG PROFILA PO VODOPROPUSNOSTI

#### Geološki sastav i hidrogeološke prilike profila

Na pregradnom mjestu zastupljene su karbonatne stijene jure i krede, te kvartarni sedimenti (prema geološkim podlogama poduzeća »Energo-invest« — Sarajevo).

U pogledu geološkog sastava pregradni profil je asimetričan (tabla 1). Desnu obalu izgrađuju sedimenti gornje jure ( $J_3$ ), a sastoje se od vertikalne izmjene dobro uslojenih vapnenaca, dolomitčnih vapnenaca i dolomita s debljinom slojeva od 20—60 cm. Podlogu korita, lijevi bok i plato iznad rijeke grade gornjokredne naslage, koje se i morfološki razlikuju od prethodnih jurskih. Prisutni su neuslojeni vapnenci ( $K_2^{2-3}$ ) i dobro uslojeni vapnenci, često tanko uslojeni i pločasti s interkalacijama dolomita ( $K_2^3$ ). Tri litostratigrafska člana međusobno su u tektonskom dodiru — rasjedima su odvojeni u blokove. Kvartarne taložine uz samu rijeku tvore diluvijalnu terasu ( $Q_1$ ) na desnoj obali, a zastupljeni su šljunci, pijesci i konglomerati ukupne debljine do 39 m.

Opisane stijene su u cjelini vodopropusne, a poroznosti su pukotinske. Kvartarne tvorevine u statističkoj analizi nisu uzete u obzir. Vodopropusnost je osobito velika u razini oscilacija podzemnog vodostaja i iznad. Na hidrogeološkom profilu (tabla 1) vodopropusnost je izražena u Lugeonima (1 l/min/m' kod pritiska od 10 atm). Tamo gdje nije postignut pritisak od 10 atm ekstrapolirana je protoka za tu visinu tlaka. (To nije učinjeno s vrijednostima VDP za terasne materijale.)

Rezultati su u širokom rasponu vrijednosti, što je posljedica prirodne nehomogenosti sredine. Praćenje nivoa vode u piježometrima također ukazuje na različite kategorije vodopropusnosti pojedinih dijelova profila. Bokovi kanjona u pogledu vodopropusnosti nisu identični. Uočljivo je i generalno opadanje vodopropusnosti s dubinom.

#### Statistički tretman pregradnog profila

Za statističku analizu skup čine sve vrijednosti VDP u karbonatnim stijenama, izuzevši one iznad 125 m n. m. ( $N=278$ ). (Kota predviđenog maksimalnog uspora vode u akumulaciji je 125 m.) Kaverne, kao izrazito

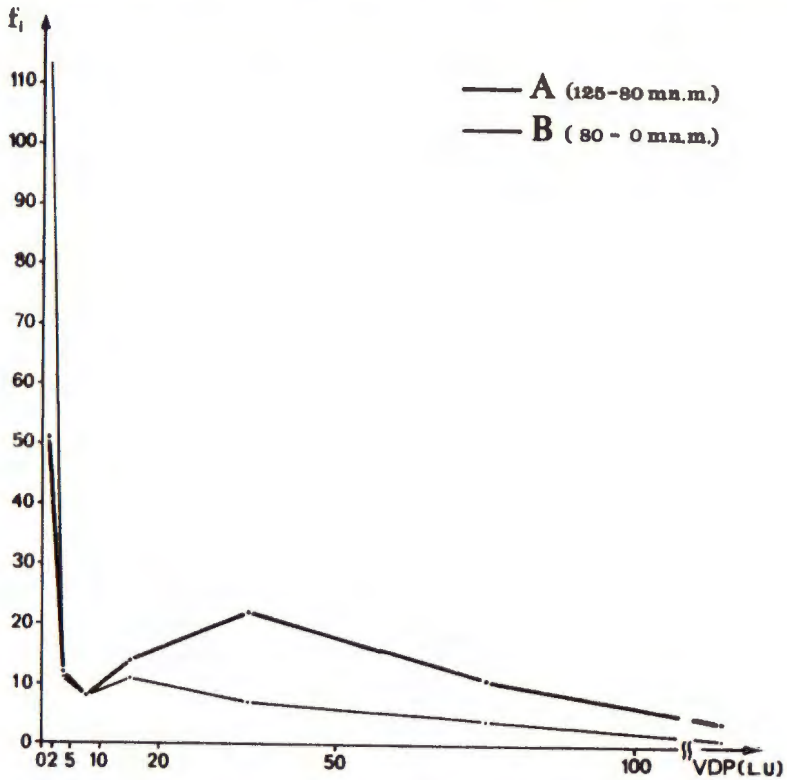
lokalne anomalije, zanemarene su prilikom usporedbi. Profil je prvotno podijeljen u dva dubinska intervala. — A (125—80 m n. m.) i B (80—0 m n. m.). Visina od 80 m n. m. predstavlja zonu kolebanja nivoa podzemne vode na većem dijelu profila. Između pojasa A i B ne postoji velika razlika u broju ispitanih etaža. U plićoj zoni (A) učestalije su više vrijednosti VDP, što je vidljivo u tabeli 1.

Tabela 1

razredi VDP (LU)	učestalost (f <sub>i</sub> )		skupna učestalost
	A	B	
0 — 2,0	51	114	165
2,1— 5,0	12	11	23
5,1— 10,0	8	8	16
10,1— 20,0	14	11	25
20,1— 50,0	22	7	29
50,1—100,0	11	4	15
>100,0	4	1	5
$\Sigma$	122	156	278

Općenito, najučestalije su niske vrijednosti VDP u rasponu od 0—2,0 Lugeona. Slika 1 prikazuje distribuciju frekvencija u oba dubinska intervala. Razdioba je izrazito nesimetrična, zbog čega su i odabrani nejednaki razredi. U ovakvom slučaju uobičajeni parametri skupa — aritmetička sredina i mjere disperzije — nisu reprezentanti skupa i njih ne računamo. Tako ni parametarske metode testiranja ne dolaze u obzir. Za uspoređivanje pojedinih izdvojenih područja po vodopropusnosti ostaju nam stoga neparametarski statistički testovi.

Izdvojena područja s vrijednostima VDP po geološkom i hidrogeološkom kriteriju predstavljaju pet uzoraka s nejednakim brojem elemenata. Unutar dubinskog intervala A izdvojena su tri uzorka: sve vrijednosti VDP u gornjojurskim naslagama (J<sub>2</sub>) desnog boka čine uzorak I, vrijednosti VDP lijevog boka u naslagama K<sub>2</sub><sup>2-3</sup> do rasjednog kontakta čine uzorak II, a uzorak III uključuje iznose VDP člana K<sub>2</sub><sup>2</sup>. U dubljem intervalu B elementi uzorka IV su sve vrijednosti VDP gornjojurskih naslaga do rasjednog dodira s krednim, kojih vodopropusnost čini uzorak V. Na slici 2 daje se shematski prikaz plana uzoraka. Pod pretpostavkom da se po kategoriji vodopropusnosti ispod 80 m n. m. naslage K<sub>2</sub><sup>2</sup> i K<sub>2</sub><sup>2-3</sup> bitno ne razlikuju, uzorku V su pridodate vrijednosti člana K<sub>2</sub><sup>2</sup> (Naža-



Sl. 1 Distribucija frekvencija VDP  
Text-fig. 1 Frequency distribution of water permeability

lost, zbog plitkih bušotina SB-15, SB-17 i SB-19 imali bismo samo 7 elemenata za formiranje šestog uzorka). Veličine uzorka prikazane su u tabeli 2 s uzlaznim poretком elemenata.

### Neparametarsko testiranje

Metodama neparametarskog testiranja ispituje se pripadnost dvaju ili više uzoraka istom osnovnom statističkom skupu. U konkretnom primjeru ispituje se međusobna pripadnost izdvojenih područja profila, odnosno ispituje se homogenost pregradnog profila s obzirom na vodopropusnost.

Polazi se od pretpostavke da svi uzorci pripadaju istom osnovnom skupu i to je tzv. nul-hipoteza. Testiranje se tako svodi na provjeravanje nul-hipoteze, koje se prihvaća ukoliko su izračunate vrijednosti manje od tabličnih za odnosnu metodu testiranja, odnosno odbacuje, ukoliko

Tabela 2

Red. br.	dubinski interval								
	A			B					
	uzorak I	uzorak II	uzorak III	uzorak IV	uzorak V				
1	0	0	0	0	0	41	7	0	1,2
2	0	0	0	0	0	42	8	0	1,2
3	0	0	0	0	0	43	11	0	1,2
4	0	0	0	0	0	44	12	0	1,5
5	0	0	0	0	0	45	12	0	1,5
6	0	0	0	0	0	46	14	0	1,5
7	0	4	0	0	0	47	21	0	1,7
8	0	6	0	0	0	48	27	0	2
9	0	6	0	0	0	49	27	0	2
10	0	10	0	0	0	50	31	0	3
11	0	11	0	0	0	51	31	0	3
12	0	11	0,4	0	0	52	31	0	3
13	0	13	1,4	0	0	53	34	0,3	4
14	0	19	1,5	0	0	54	37	0,4	5
15	0	19	2	0	0	55	89	0,5	5,3
16	0	22	2,1	0	0	56	90	0,6	5,8
17	0	22	4	0	0	57	131	0,8	9
18	0	22	5,2	0	0	58	—	0,8	10
19	0	23	8	0	0	59		0,8	10
20	0	29	11	0	0	60		0,9	11
21	0	35	12	0	0	61		1	11
22	0	40	13	0	0	62		1	11
23	0	47	16	0	0	63		1,4	14
24	0,2	54	17	0	0	64		1,4	15
25	0,5	54	26	0	0	65		1,7	17
26	1,2	58	28	0	0	66		2,1	20
27	1,4	73	29	0	0,4	67		2,2	20
28	1,4	77	31	0	0,5	68		2,4	23
29	1,7	120	32	0	0,6	69		2,9	33
30	1,9	176	47	0	0,6	70		3,5	40
31	2,1	220	62	0	0,7	71		5	41
32	2,1	—	67	0	0,7	72		9	45
33	2,5		71	0	0,7	73		10	51
34	2,8		84	0	0,8	74		10	55
35	4	—		0	0,8	75		14	56
36	4,8			0	0,9	76		16	75
37	4,9			0	0,9	77		20	133
38	5			0	0,9	78		23	—
39	5			0	1	79		30	
40	6,2			0	1				

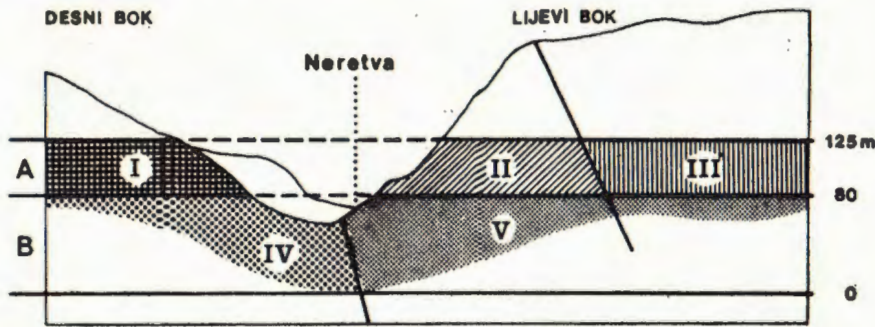
 $n_I = 57$  $n_{II} = 31$  $n_{III} = 34$  $n_{IV} = 79$  $n_V = 77$

su te vrijednosti veće, a sve uz određeni rizik (1 ili 5%) da učinimo pogrešku pri odlučivanju. U prvom slučaju kažemo da razlika među uzorcima nije signifikantna i nul-hipotezu prihvaćamo, u protivnom je razlika značajna i mogućnost pripadnosti istom osnovnom skupu odbacujemo. Zbog veće sigurnosti pri odlučivanju testiranje se obično provodi istovremeno s nekoliko metoda. Za upoznavanje postupka testiranja upućujemo na radove Z. Bakarić (1970, 1973). U ovom radu testiranje nul-hipoteze je provedeno testom medijana, testom redoslijeda, Wilcoxon-ovim testom rangiranja i Kruskal-Wallis-ovom jednofaktorskom disperzionom analizom ranga. Rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3

Ispitivanje pripadnosti uzoraka	T E S T O V I			Kruskal- Wallis-ova jedno- faktorska disperz. analiza ranga
	Test medijana	Test redo- slijeda	Wilcoxonov test rangiranja	
I, II, III, IV i V				H = 48,59
I i IV	$\chi^2 = 73,02$	A = 42,22 B = 11,08 C = 14,54	A = 7,80 B = 10,22 $ \xi - M  = 13,39$	
II i V	$\chi^2 = 17,67$	A = 16,20 B = 8,23 C = 10,76	A = 9,31 B = 12,21 $ \xi - M  = 18,36$	
III i V	$*\chi^2 = 3,46$	A = 18,17 B = 8,69 C = 11,46	*A = 9,01 B = 11,81 $ \xi - M  = 6,87$	
I, II i III				H = 12,66
I i II	$\chi^2 = 14,39$	A = 15,16 B = 8,34 C = 10,93	A = 7,24 B = 9,49 $ \xi - M  = 12,90$	
I i III	$*\chi^2 = 0,80$	A = 12,59 B = 8,68 C = 11,39	*A = 7,03 B = 9,21 $ \xi - M  = 4,52$	
II i III	$*\chi^2 = 3,05$	A = 12,40 C = 10,25 B = 7,83	A = 4,81 B = 6,31 $ \xi - M  = 4,97$	
IV i V	$\chi^2 = 16,03$	A = 41,00 B = 12,23 C = 16,02	A = 7,18 B = 9,42 $ \xi - M  = 14,40$	

\* nul-hipoteza se prihvaća, u ostalim slučajevima se odbacuje.



Sl. 2 Plan uzoraka  
Text-fig. 2 Plan of samples

Utvrđivanje istovremene pripadnosti svih uzoraka istom osnovnom skupu i testiranje uzoraka iz dubinskog intervala A (I, II i III) provedeno je *Kruskal-Wallis*-ovom jednofaktorskom disperzionom analizom ranga. Rezultat je u oba slučaja isti — izračunati  $H > \chi^2_{0.01}$ , pa se nul-hipoteza odbacuje s rizikom pogreške manjim od 1%. Time je potvrđena već poznata činjenica da pregradni profil u smislu vodopropusnosti nije homogen, a također i da se područja unutar pojasa A po parametru VDP signifikantno razlikuju.

Ima li opravdanja, sa statističkog gledišta, podijeliti pregradni profil na dvije etaže, provjereno je uspoređivanjem uzoraka obaju dubinskih intervala — ispitivana je pripadnost uzoraka I i IV, II i V, te III i V istom osnovnom skupu s po tri testa. Rezultati svih testova pokazuju da ni uzorci I i IV ni II i V ne pripadaju istom skupu, jer je  $\chi^2 > \chi^2_{0.01}$ .  $A > C$  i  $|\xi - M| > B$  pa se nul-hipoteza odbacuje s rizikom pogreške manjim od 1%. Izdvajanje područja III i V zahtijeva diskusiju, jer rezultati testiranja nisu jednoznačni. Naime, kako je  $\chi^2 < \chi^2_{0.01}$ , nul-hipotezu treba prihvatiti s vjerojatnošću do 95% da uzorci pripadaju istom osnovnom skupu; pošto je  $A > C$ , istu treba odbaciti uz rizik pogreške manji od 1%, i napokon, zbog  $|\xi - M| < A$  uzorak III pripada istom osnovnom skupu. U ovom slučaju pri donošenju odluke treba uzeti u obzir i ostale elemente (geološke i hidrogeološke).

Ispitivanje homogenosti dubinskih intervala A i B po vodopropusnosti provedeno je utvrđivanjem međusobne pripadnosti izdvojenih područja — uzoraka — u horizontalnom smislu. Uzorci I i II bitno se razlikuju; nul-hipoteza se za sva tri testa odbacuje s rizikom pogreške manjim od 1%. Uzorcima I i III pripadnost nije jednoznačno određena; prema medijalnom testu i *Wilcoxon*-ovom testu rangiranja razlika među njima nije značajna, te oni pripadaju istom skupu, dok je prema testu redosljeda suprotno. Slično je i s uzorcima II i III, koje zbog  $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$  ne bi

trebalo uzimati odvojeno, no jer je  $A > C$  i  $A < |\xi - M| < B$  nul-hipotezu treba odbaciti, u posljednjem uz rizik da pogriješimo između 1 i 5%.

I napokon, dubinski interval između 80 i 0 m n. m. (pojas B) također nije jedinstven u smislu vodopropusnosti, jer uzorci IV i V ne pripadaju istom osnovnom skupu. Rezultat sva tri testa je identičan — nul-hipoteza se mora odbaciti uz rizik pogreške manji od 1%.

### ZAKLJUČAK

Statističkim testiranjem pomoću metoda neparametarskih testova željelo se potvrditi da je pregradni profil nehomogen s aspekta vodopropusnosti, i to u vertikalnom i horizontalnom smislu. Drugim riječima, želimo znati ima li opravdanja podijeliti profil na dva dubinska intervala, kao i izdvojiti pojedine partije unutar njih na temelju vrijednosti VDP, izraženih u Lugeonima.

Rezultati pokazuju da se po karakteru vodopropusnosti moraju posebno tretirati pojas između 125 i 80 m n. m. (A) i onaj između 80 i 0 n. m. (B), kao i bokovi pregradnog mjesta buduće brane. Za većinu međusobnih kombinacija uzoraka dobiveno je da ne pripadaju istom osnovnom skupu, jer je razlika među njima značajna. Tako je i matematički potvrđena nehomogenost profila u vertikalnom i horizontalnom smislu. Rezultati testiranja nisu uvijek jednoznačni, pa u tim slučajevima treba uzeti u obzir i ostale momente (geološke, hidrogeološke i sl.) pri donošenju konačne odluke. Tako nema dovoljno argumenata za izdvajanje područja uzoraka I i III, ali se ona moraju smatrati posebnim cjelinama, jer su prostorno odvojena.

Kako prosječne vrijednosti VDP ne daju vjerodostojnu sliku o vodopropusnosti stijena na profilu, metode neparametarskog testiranja predstavljaju pomoćno sredstvo pri donošenju odluka. One omogućuju promatranje relativnih odnosa izdvojenih područja profila na objektivan način. Osobito mogu pomoći u slučajevima kad razlike u vrijednostima nekog parametra (ovdje je to VDP) nisu naglašene i lako uočljive.

Ovakav statistički tretman pregradnih profila može koristiti pri projektiranju injekcionih zavjesa.

Primljeno 20. 02. 1973

Zavod za opću i primijenjenu  
geologiju  
Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu,  
41000 Zagreb, Pierottijeva 6



LITERATURA

- Bakarić, Z. (1970): Stratigrafsko uspoređenje triju karbonatnih stijena metodama statističke analize. — Zbornik radova RGN fak., 149—154. Zagreb.
- Bakarić, Z. (1973): Ispitivanje homogenosti dvaju geoloških uzoraka i njihove međusobne pripadnosti. — Nafta, 1973/2, 59—70. Zagreb.
- Boreli, M. (1966): O gubicima vode iz kraških akumulacija. Akumulacija Buško Blato. — Saopštenja, 36, 17—30. Beograd.
- Magdalenić, A. & Jurak, V (1972): HE Salakovac. Hidrogeološka interpretacija pregradnog mjesta. — Arhiv Hidroelektrane na Neretvi, Mostar.

VLADIMIR JURAK and ANTUN MAGDALENIC

EXAMINING THE HOMOGENEOUSNESS OF THE DAM DIVISION SITE AS REGARDS WATER PERMEABILITY BY USING NONPARAMETRIC TEST METHODS

The division site of the future storage basin of the hydroelectric power plant of Salakovac on the River Neretva is about 18 km upstream from Mostar. The anticipated elevation of the water level in the storage basin is 125 m.

The river banks differ in geological structure. The right flank consists of Upper Jurassic limestones, dolomitic limestones and dolomites in vertical alternation (J<sub>1</sub>), and the right flank is built of Upper Cretaceous deposits; K<sub>2</sub><sup>2-3</sup> are unbedded limestones, and K<sub>2</sub><sup>2</sup> bedded limestones with intercalations of dolomites. Quaternary deposits of the Pleistocene terrace plain (Q<sub>1</sub>) are not taken into consideration in the statistical analysis.

As regards water permeability, the canyon flanks are not identical either. Nonhomogeneous of the division site is present both vertically and horizontally. It has been noticed that water permeability decreases with depth. In a number of wells water permeability has been tested by the Lugeon method. The values are shown in plate 1, and they are expressed in Lugeons (1 l/min/m' at the pressure of 10 atm). In case the pressure of 10 atm has not been achieved, the flow has been extrapolated for that pressure value.

The site was divided into two depth intervals — A (125—80 m a. s. l.) and B (80—0 m a. s. l.). The 80 m elevation represents the changing zone of the ground water level in the larger part of the site. The frequency of the individual categories of water permeability is shown in table 1, and fig. 1 shows the frequency distribution for the intervals A and B. Because of the nonsymmetrical distribution, nonparametric methods of testing can be used. Fig. 2 shows the plan of statistical samples, of which there are five with different numbers of (n) elements. The value of elements are given in table 2 in the ascending order.

The methods of nonparametric testing are used in order to find out whether two or more samples belong to the same population. This paper examines the mutual coherence of the parts of the site to the same population as regards water permeability. We proceed from the assumption that all

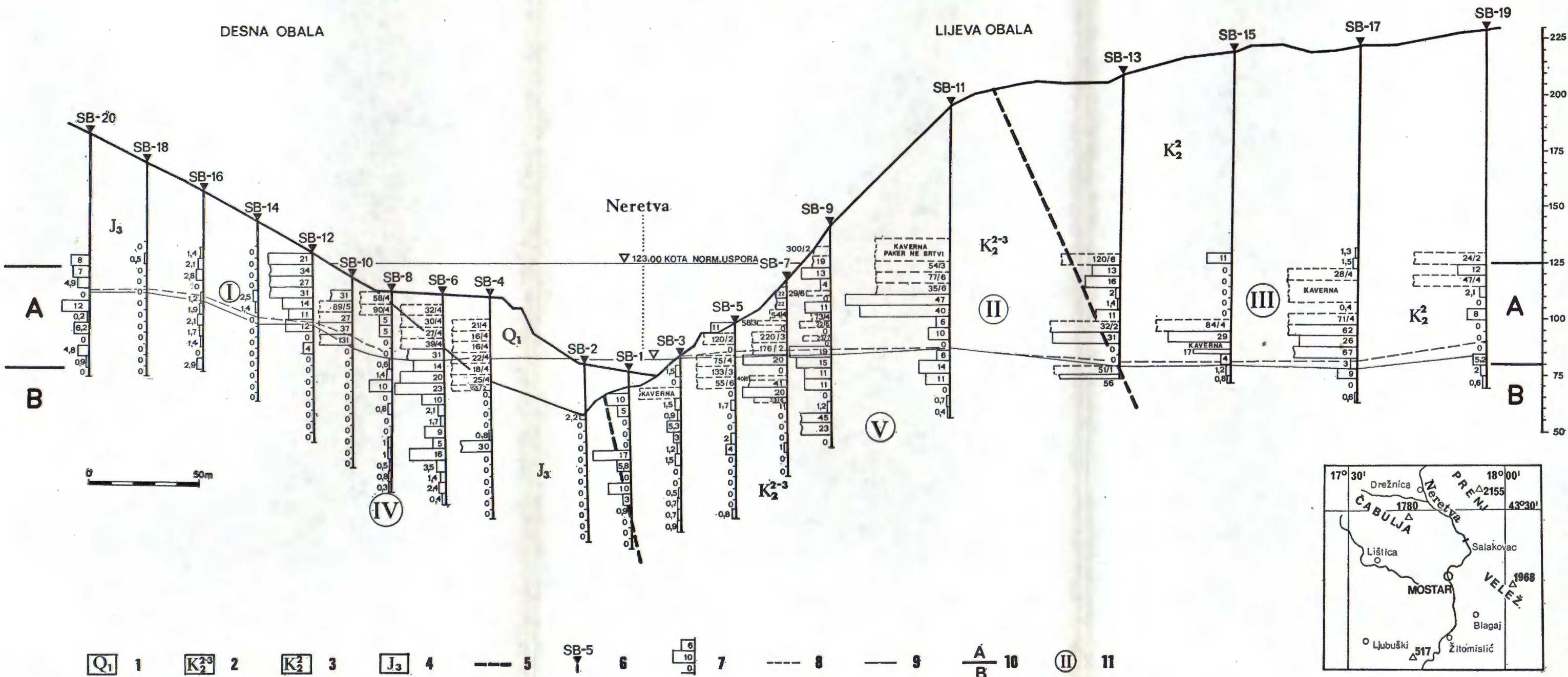
samples belong to the same population and this is the so-called null-hypothesis. Thus testing is reduced to checking null-hypothesis and is carried out by the Median test, the Runs test, the Wilcoxon ranks test and the Kruskal-Wallis One-way Analysis of Variance by Ranks. Table 3 shows the results of testing; in cases marked by an asterisk (\*) the null-hypothesis is accepted, while in others it is rejected.

The results confirm that because of the character of water permeability, the depth intervals A and B must be treated separately, as well as the site flanks. Thus the site nonhomogeneousness in the vertical and horizontal sense is confirmed. Such statistical treatment of division sites can be used in designing grout curtains.

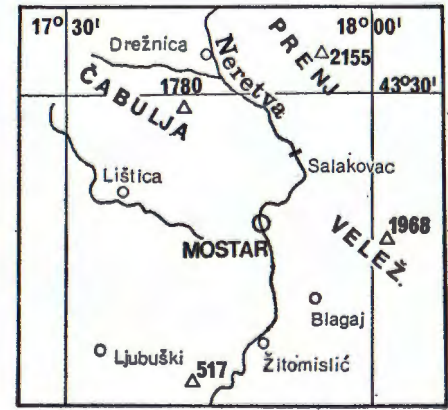
*Received 20 February 1974.*

*Department of General and Applied  
Geology,  
Faculty of Mining, Geological  
and Petroleum Engineering  
University of Zagreb,  
41000 Zagreb, Pierottijeva 6*

**HIDROGEOLOŠKI PROFIL PREGRADNOG MJESTA S VRIJEDNOSTIMA VDP (LU)**  
**HYDROGEOLOGIC CROSS-SECTION**



Q<sub>1</sub> 1   
 K<sub>2-3</sub> 2   
 K<sub>2</sub> 3   
 J<sub>3</sub> 4   
 --- 5   
 SB-5 6   
 10 7   
 --- 8   
 --- 9   
  $\frac{A}{B}$  10   
 (II) 11



Crtala:  
 Drawn by: **A. TRUHAN**

- 1 — kvartar — šljunci, pijesci, konglomerati;  
 Quaternary — gravels, sands, conglomerates;
- 2 — gornja kreda — vapnenci;  
 Upper Cretaceous — limestones;
- 3 — gornja kreda — vapnenci;  
 Upper Cretaceous — limestones;
- 4 — gornja jura — vapnenci i dolomiti;  
 Upper Jurassic — limestones and dolomites;

- 5 — rasjed;  
 Fault;
- 6 — istražna bušotina;  
 Exploratory well;
- 7 — VDP u Lugeonima (l/min/m' kod 10 atm);  
 Water permeability in Lugeons (l/min/m' at 10 atm);
- 8 — nivo podzemnog vodostaja 19. V 72. — max.;  
 Elevation of ground water level May 19, 1972 — max.;

- 9 — nivo podzemnog vodostaja 20. III 72. — min.;  
 Elevation of ground water level March 20, 1972 — min.;
- 10 — dubinski intervali; A (125—80 m n. m.), B (80—0 m n. m.);  
 Depth intervals; A (125—80 m a. s. l.), B (80—0 m a. s. l.);
- 11 — broj uzorka.  
 Number of sample.