

DINKA BORČIĆ, ANDRIJA CAPAR, IVAN ČAKARUN,
KSENIJA KOSTOVIĆ i PAVAO MILETIĆ

NOVIJI PODACI O ZAVISNOSTI VODOSTAJA PODZEMNE VODE I VODOSTAJA SAVE NA PODRUČJU ZAGREBA

S 2 priloga

Izneseni su podaci o podzemnoj vodi na području Zagreba i to na temelju svakodnevnih mjerenja razina podzemne vode na 99 lokaliteta. Izvršena je i korelacija vodostaja u podzemlju ovisno o vodostaju Save. Zbog hitnosti približnog prognoziranja visina vodostaja u podzemlju upotrebljeni su samo jednogodišnji podaci, a iz istog razloga pretpostavljena je i linearna korelacija.

UVOD

Ovaj rad prikazuje rezultate mjerenja razina podzemnih voda na području Zagreba (prilog 1) i prognozu stanja podzemnih voda za visoki vodostaj Save, baziranu na matematsko statističkoj obradi podataka (prilog 2). Rad predstavlja nastavak studije podzemnih voda, čiji su početni podaci već publicirani (Miletić & Borčić, 1967).

Zahvaljujemo se susretljivosti zainteresiranih organizacija: Skupštini grada Zagreba, Geodetskom zavodu grada Zagreba, Hidrometeorološkom zavodu SRH, »Kanalizaciji« iz Zagreba, »Elektroprivredi« iz Zagreba itd., koje su sve zajedno omogućile provođenje i nastavak studije, a i na pomoći koju su nam pružile svojim podacima.

Posebno smo zahvalni pojedinim predstavnicima navedenih organizacija: ing. M. Roudnickom, dr ing. E. Svetličiću, ing. Z. Selancu i ing. S. Reštaroviću, koji su nam pomogli svojim savjetima i iskustvom u radu.

ISTRAŽNI RADOVI I PODACI MJERENJA RAZINA PODZEMNIH VODA

Na istraživanom području do godine 1965. nije bilo sistematskih mjerenja podzemnih voda, a tokom 1965/66. započeto je mjerenje na cca 100 lokaliteta 2 puta tjedno (vidi: Miletić & Borčić, 1966 i 1967).

Rezultati izneseni u ovom radu odnose se na mjerenja u sezoni 1966/67. (Capar i dr., 1967), (Čakarun i dr., 1967), kada je na 99 izabranih lokaliteta (vidi prilog 1) vršeno svakodnevno mjerenje razina podzemnih voda. Ovo razdoblje izabrano je za obradu prvenstveno zbog učestalosti mjerenja i raspona minimalnog i maksimalnog vodostaja Save i podzemne vode u tom periodu.

Maksimalni vodostaj Save za godinu 1966/67. registriran je 4. XII 1966. na vodomjeru Zagreb i iznosio je + 483 cm, a minimalni 28. IX 1966. na istom mjestu iznosio je — 103 centimetara.

Apsolutni maksimum registriran je na vodomjeru Zagreb 26. X 1964. godine i iznosio je + 514 cm, a apsolutni minimum 23. i 24. X 1947. godine iznosio je — 204 centimetara.

Tumač uz kartu hidroizohipsa — prilog 1

Karta hidroizohipsi konstruirana je za dan 6. XII 1966. godine — maksimum i za dan 28. IX 1966. godine — minimum.

U odnosu na ranije objavljenu kartu (Miletić & Borčić, 1967) ova karta predstavlja poboljšanje, jer je bazirana na temelju znatno gušćih mjerenja. Osim toga priložena karta odnosi se na raspon vodostaja na vodomjeru Zagreb + 483 do — 103 cm, dok je prethodne sezone raspon iznosio od + 324 do — 101 centimetar.

Napominjemo da je gornji maksimalni vodostaj za promatrani period bio 4. XII 1966., a karta je crtana prema stanju 6. XII, dakle u zakašnjenju od dva dana. Toliko je bilo potrebno, da se na najvećem dijelu zaleđa osjeti reakcija na povišeni vodostaj u koritu Save.

Zaključci koji se odnose na regionalno kretanje podzemnih voda na ovom području nisu znatno izmijenjeni u odnosu na publicirani rad (Miletić & Borčić, 1967). Zbog toga ih ovdje ne iznosimo ukoliko nisu potrebni za razumijevanje novih spoznaja.

Gledajući generalno lijevu obalu vidimo da je smjer tečenja podzemnih voda od zapada prema istoku, dakle gotovo paralelno površinskom vodotoku. Na desnoj obali je ustanovljeno manje-više dijagonalno tečenje. Oba slučaja jednaka su za niski i visoki vodostaj.

Lokalno imamo na desnoj obali dosta odstupanja. Tako npr. u području Podsused—Lučko vidimo da za vrijeme *niskog vodostaja* Sava skuplja vode iz zaleđa. U području od Remetinca do Mičevca primjećuje se intenzivno hranjenje podzemlja vodom iz Save. Za vrijeme *visokog vodostaja* imamo tok vode u podzemlje, koji je gotovo okomit na površinski tok Save. Još jedno interesantno područje je Petruševac—Vukomerec—Žitnjak. Tu se duboko uvlače hidroizohipse u unutrašnjost, što nam ukazuje na jaku drenažu tog područja. Utvrđeno je i skretanje podzemnih voda u smjeru velikog gradskog kolektora, koji ide od tvornica na Žitnjaku do Ivanje Reke. Sjeverno od toga dolazi do naglog zgušćenja hidroizohipsi, čemu je uzrok uzdizanje terena od cca 5‰ i prirodno dizanje vodnog lica s površinom terena. Ovdje imamo slučaj da je smjer tečenja podzemnih voda sasvim suprotan onome južnije, od Save do Petruševca.

Možemo ustvrditi da je reakcija podzemnih voda na piezometrima i bunarima na povišeni vodostaj Save znatno bolja i brža u istočnom nego u zapadnom dijelu terena, a isto tako da je bolja na desnoj nego na lijevoj obali Save.

Granice u kojima se kreće zakašnjenje reakcije idu do 11 dana, ali samo u ekstremnim slučajevima. Zakašnjenje je proračunato kao srednje zakašnjenje, a treba napomenuti da je stvarno to manje što je vodni val jači, odnosno ako je podzemlje zasićenije vodom. Uglavnom se očekuje na rubovima bazena (uz rub Zagrebačke gore i na jugozapadu uz rub Stupničke terase) zakašnjenje od cca 7 dana, pod pretpostavkom visokog vodnog vala. Podaci o zakašnjenju reakcija korišteni su prilikom matematske obrade podataka vodostaja Save i vode u zaleđu i bit će još govora o tome u daljnjem tekstu.

Zavisnost vodostaja Save i podzemlja — prognozna karta za visoke vode — prilog 2

Da bismo dobili očekivane vrijednosti vodostaja na određenim tačkama u zaleđu za bilo koji visoki ili neki drugi vodostaj Save, poslužili smo se korelacijom podataka metodom najmanjih kvadrata. Za ovu obradu pretpostavljeno je da je korelacija linearna i to zbog kratkoće vremena opažanja i karaktera problema. Prilikom računanja pravaca regresije i koeficijenata korelacije u ovom radu uzeti su u obzir parovi vrijednosti mjerenja piezometara i onih vodomjera na Savi, kojima gravitiraju vodostaji određenih piezometara. Za determinaciju koeficijenata korelacije r uzeto je da je korelacija jaka ako je $1,0 > r > 0,6$, ako je $0,6 > r > 0,4$ korelacija je dobra, a ako je $r < 0,4$ slaba (Pavlić, 1962).

Iz rezultata statističkog računa koeficijenata korelacije vidi se da od 95 lokaliteta njih 52 ima jaku korelaciju ($r > 0,6$), dobru korelaciju ima ih 25 ($0,6 > r > 0,4$), a slabu 18 ($r < 0,4$).

Gledajući raspored lokaliteta na karti (prilog 2) vidimo da su tačke mjerenja podzemnih voda s jakom korelacijom uvijek neposredno uz Savu. Krajnje tačke koje imaju jaku korelaciju udaljene su od Save između Podsuseda i Savskog mosta cca 1 km, kod Jakuševačkog mosta cca 2 km, a nizvodno i preko 3 kilometara. Dobra korelacija se osjeća kod Podsuseda na udaljenosti od Save do 2 km i prati se sve do poteza Jarun—Remetinec. Dalje se naglo širi, da bi se osjećala sve do sela Gornji Čehi i Odra na jugu, a na sjeveru istočno od Jaruna i potoka Kustošak. Slaba korelacija je primijećena samo u zapadnom dijelu područja. Na sjeveru ima granicu Jankomir—Špansko—Rudeš—Selska cesta (lokaliteti: PI-31, PI-30, PI-10, PI-9, PG-16, PG-34), a na jugu južno od linije Rakitje—Ježdovec—Lučko—Blato—Botinec—Gornji Čehi—Odra (lokaliteti: PI-18, PI-21, PI-22, PI-24, PI-28, PI-27, PI-25, PI-11, PI-12, PI-49, PI-51, PV-VII, PV-IX).

Opća konstatacija je opadanje veličine koeficijenata korelacije s udaljenošću od Save. Dok na lokacijama neposredno uz Savu imamo koefi-

cijente korelacije $r > 0,9$ (PV-4, PV-5, PVZ-43, PVZ-6, PV-47, PV-40, PV-41, PI-37, B-1, B-2, PI-17), *na najudaljenijima* (M. Mlaka, cca 5 km od Save) imamo koeficijente korelacije $r < 0,25$ (PV-VII, PV-IX).

Gledajući generalno čitavo područje, vidimo da je utjecaj Save na podzemne vode u zaleđu najslabiji u zapadnom dijelu, naročito od Podsuseda do Remetinca, dok je od Mosta Slobode na istok, sve do Šćitarjeva, taj utjecaj vrlo intenzivan.

Na temelju rezultata dobivenih korelacijom vodostaja izrađena je prognozna karta visokog vodostaja u podzemlju za pretpostavljeni vodostaj na Savi:

kod Podsuseda	126,00 mnm (+ 522 cm)
kod Jankomira	123,55 mnm (+ 599 cm)
kod Zagreba	116,96 mnm (+ 470 cm)
kod Jakuševca	113,58 mnm (+ 677 cm)
kod Mičevca II	111,96 mnm (+ 557 cm)
kod Šćitarjeva	107,67 mnm (+ 640 cm)

Pretpostavljeno je također da visoki vodostaj Save traje 2 dana, koliko je potrebno da se u zaleđu osjeti njegov jači utjecaj, te da je Sava regulirana prema planu regulacije Direkcije za Savu duž čitavog toka na promatranom području (Svetličić, 1965).

Prognozna karta (prilog 2) nacrtana je samo za područje dobre i jake korelacije vodostaja ($r > 0,4$ odnosno $r > 0,6$). Na karti su osim hidroizohipsi ucrtane i granice od kojih se osjeća jaka korelativna veza (puna linija) i granica preko kojih je ta veza slaba (isprekidana linija). Iz karte vidimo da se za pretpostavljene uvjete treba očekivati intenzivno hranjenje podzemlja vodom Save, jer su hidroizohipse zgusnute i paralelne duž korita Save. Prema rasporedu hidroizohipsi zaključujemo da će tok podzemnih voda imati generalni smjer dijagonalno od Save. Promatramo li, međutim, situaciju neposredno uz Savu, vidimo da tu postoje smjerovi toka okomito od Save u podzemlje u širini od cca 1 kilometar.

Na lokacijama PI-20 (nivo podzemne vode $> 120,88$), PI-1 ($> 120,10$), Pz-1 ($> 114,72$), PV-5 ($> 113,97$), PVZ-43 ($> 111,64$), PI-37 ($> 107,85$), PI-36 ($> 106,60$), PI-53 ($> 106,21$) izračunate pretpostavljene visine podzemnih voda nadmašuju visine kota terena. To ukazuje na ugroženost tih područja od podzemnih voda. Na nekim od ovih lokacija takva je situacija registrirana i tokom ovogodišnjih mjerenja, za vodostaj + 483 cm na Savi kod Zagreba (PI-20, PI-1, PVZ-43, PI-53). Očekuje se da bi se ta područja mogla povećati s povećanjem vodostaja Save.

Zadatak daljnjih mjerenja je da se u prvom redu odredi karakter korelativnih krivulja. Već sada naime možemo pretpostaviti da u po-

dručjima malog koeficijenta korelacije (prilog 2) linearna korelacija ne može zadovoljiti potrebnu tačnost.

Primljeno 8. 12. 1967.

Institut za geološka istraživanja,
Zagreb, Kupaska 2
Zavod za opću i primijenjenu geologiju,
Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
Zagreb, Pierottijeva 6.

LITERATURA

- Capar A., Borčić D., Čakarun I., Kostović K., Miletić P. & Tufekčić D. (1967): Zagreb, Hidrogeološki izvještaj, 1966/67. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Čakarun I., Borčić D., Capar A., Kostović K., Miletić P. & Tufekčić D. (1967): HE Srednje Save. Izvještaj o preliminarnim hidrogeološkim istraživanjima. Inst. geol. istr., arh. 58/67, Zagreb.
- Miletić P. & Borčić D. (1966): Hidrogeološka studija poplavnog područja Zagreba. Inst. geol. istr., arh. 158/66, Zagreb.
- Miletić P. & Borčić D. (1967): Prilog poznavanju podzemnih voda na području Zagreba. Geol. vjes. 20, Zagreb.
- Pavlić I. (1962): Matematička statistika. Izd. »Privreda« Zagreb.
- Svetličić E. (1965): Studija obrane od poplave Zagreba, Siska i Karlovca. Direkcija za Savu, Zagreb.

D. BORČIĆ, A. CAPAR, I. ČAKARUN, K. KOSTOVIĆ,
and P. MILETIĆ

NEW DATA ABOUT GROUND WATER IN THE AREA OF ZAGREB

On the basis of additional exploration work and available data, two maps have been constructed: a map of groundwater levels for the hydrologic year 1966/67 (plate I), and a map of groundwater levels for a supposed high water level of river Sava (water level at Podsused 126,0 m, Zagreb 116,96 m, Šćitarjevo 107,67 m — all values above sea level — plate II).

Assembled and interpreted data about groundwater indicate a very close relation between groundwater and surface water of the river Sava. It has been established that Sava feeds underground with water — during high and low water level. An exception is the right river bank down the river from Podsused and Lučko. A curving of groundwater level lines at a distance of 1 km from Sava, particularly in the western part, occurs during the low water level indicating a gentle drainage of the adjacent area (plate I).

In the North, the direction of groundwater flow is parallel to the Sava stream. Exception is the narrow strip beside Sava where the flow is diagonal from the river towards the underground. In the South it is always diagonal and this situation stays almost unchanged for different water levels.

The response velocity of the water level on the observation points varies, depending of their distance from the Sava. On the localities directly beside the Sava we have the response, the same day; on the most distant points we register it after 7 days.

The map of the supposed groundwater level lines for the high water level of river Sava has been constructed on the basis of the values obtained by applying the statistical methods. The correlation coefficient has been calculated for each location as well as the direction of the regression for corresponding water levels of groundwater and the Sava river (appendix № 2). The map has been constructed for such areas only good and strong correlations of water level could be established.

A linear correlative relation has been supposed during the interpretation. This is only approximately true and this should be taken into consideration when these data are being used. The calculation has been done on the basis of the least squares method.

We notice from the map (plate II) that *correlation is stronger in the eastern than in the western side*. Generally we can infer a decrease of values of correlation coefficients with the increase of distance from the Sava.

Next to the Sava we have correlation coefficients r bigger than 0,9; and at the most distant locations (M. Mlaka) r is less than 0,25 (PV—VII, PV—IX).

It should be mentioned that correlation is regularly strong or good to the East from Jarun, Remetinec and Odra, but it is dependant of the distance from the Sava.

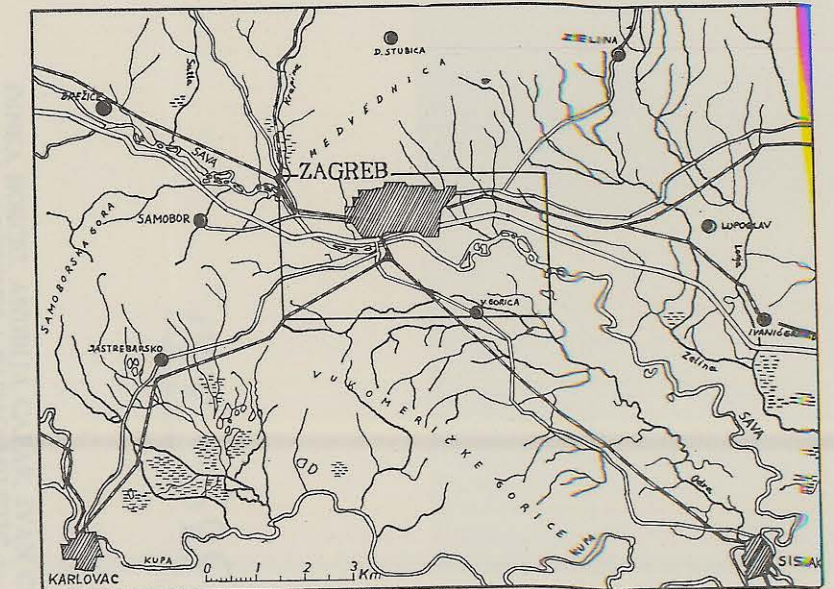
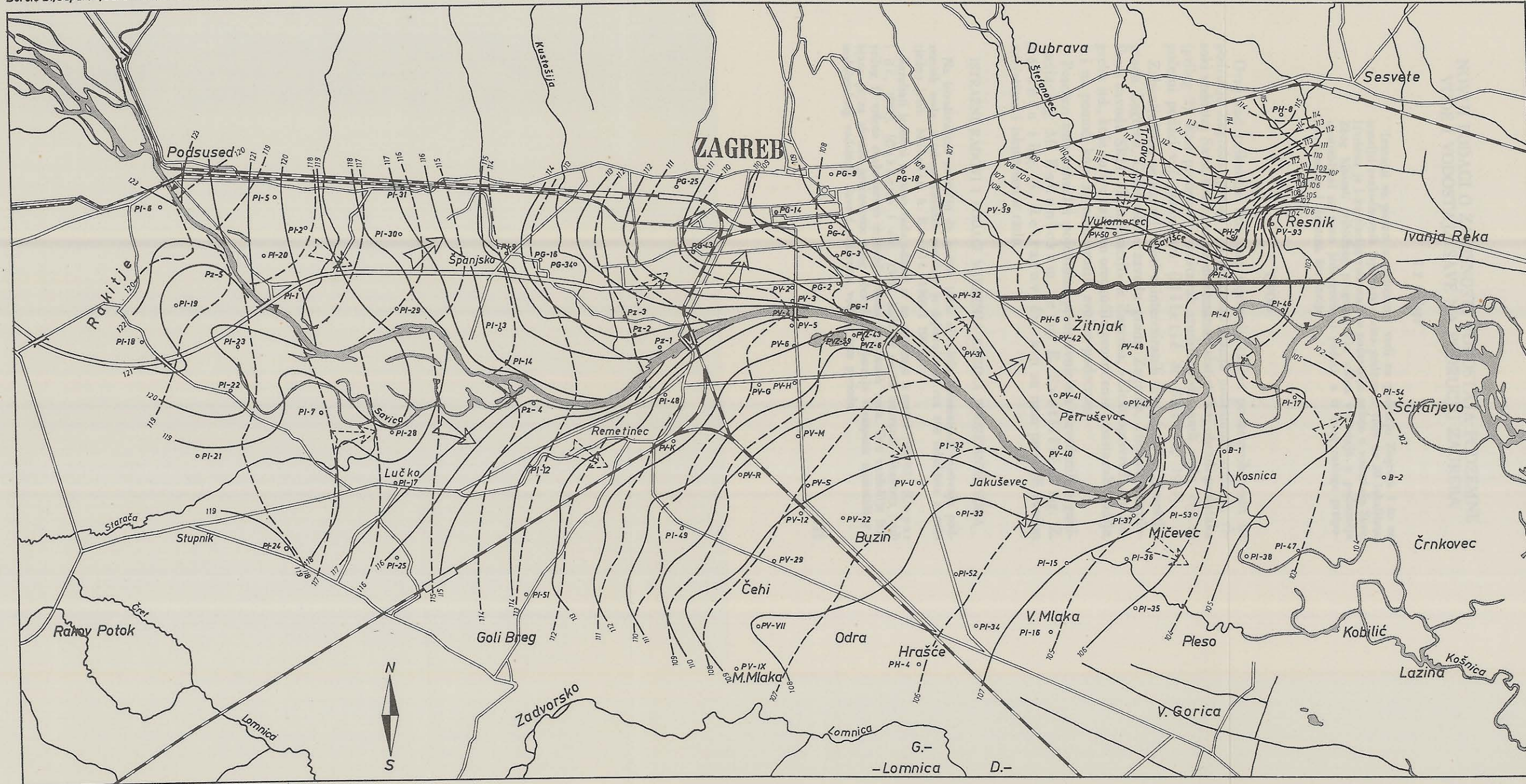
It is supposed that in cases of lower correlation coefficients, the relation is not linear. Further and prolonged observations are needed for determination of the more exact expression of the correlation relations. This will be the subject of our future studies.

According to the expectation map and to the groundwater level measurements to date we have some localities behind the damsites where ground water is above the surface level. In such cases *ground water flows out on the surface* between Podused and bridge at Jankomir (left bank), at the Students hall by the Sava (left bank), in Zapruđe and Mičevac (right bank). It can be expected that this area might be increased depending on the increase of water level of the Sava.

Received 8th December, 1967

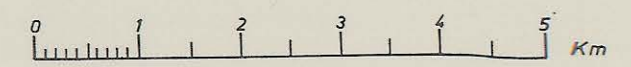
*Institute of Geology,
Zagreb, Kućska 2*

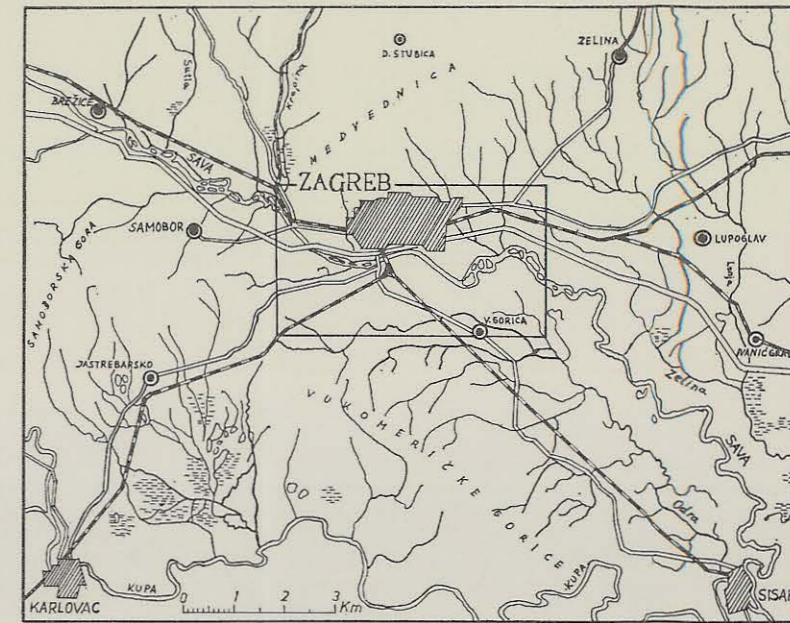
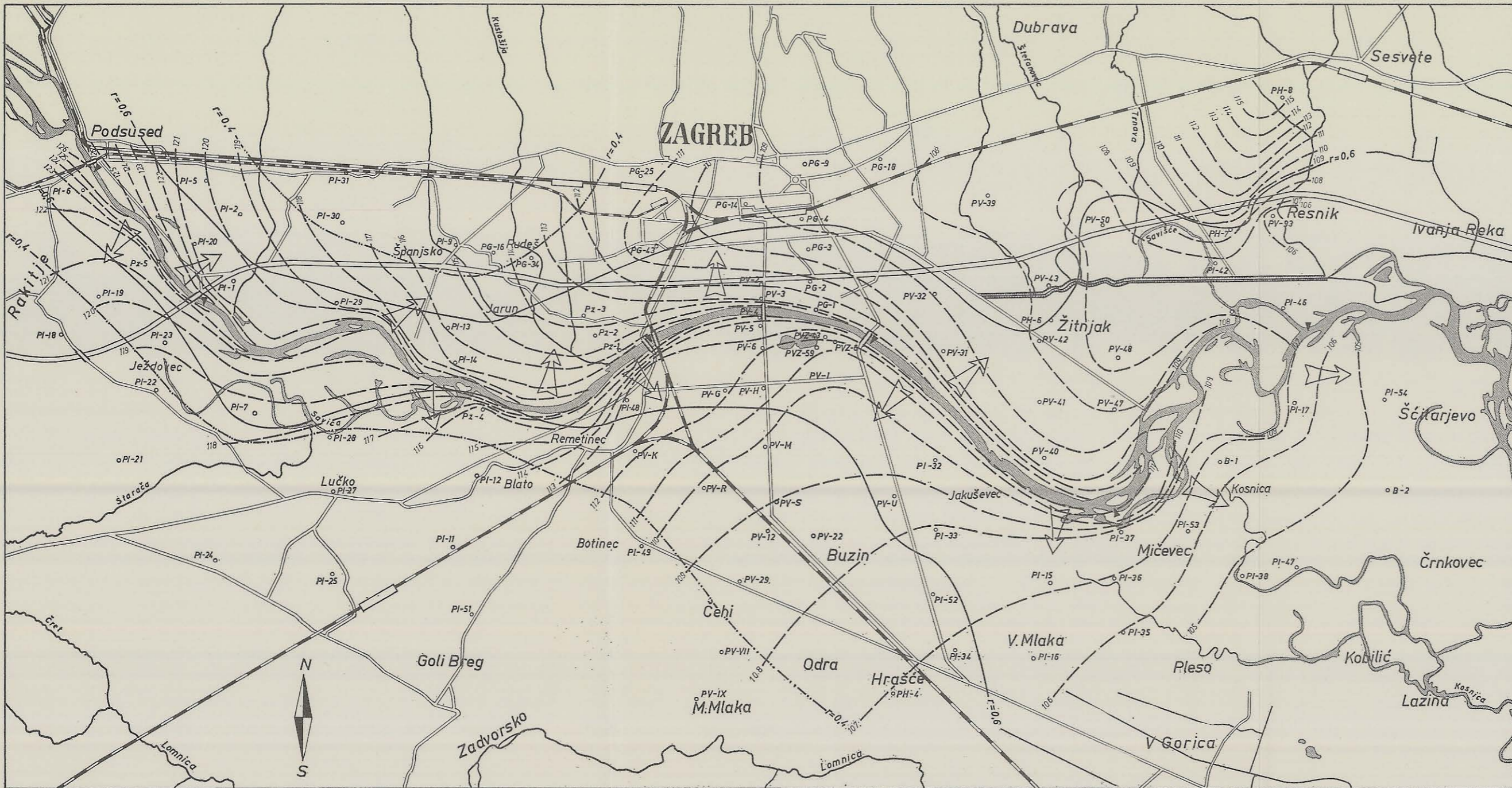
*Institute of General and Applied Geology,
Faculty of Mines, Geology and Petroleum,
Zagreb, Pierottijeva 6.*



LEGENDA
LEGEND

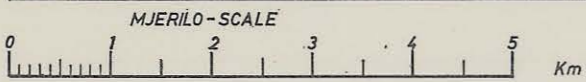
- max. — 6. XII 1966.
- - - - - min. — 28. IX 1966.
- PI
- PG
- PH
- PV
- PVZ
- Pz
- B
- ▼ VODOMJER
STAFF GAUGE
- ➔ PRAVCI PODZEMNOG KRETANJA VODA ZA VRIJEME MAKSIMUMA
DIRECTIONS OF GROUNDWATER FLOW FOR HIGH-WATER LEVEL
- ➔ PRAVCI PODZEMNOG KRETANJA VODA ZA VRIJEME MINIMUMA
DIRECTIONS OF GROUNDWATER FLOW FOR LOW-WATER LEVEL





**LEGENDA
LEGEND**

- 0,6 GRANICA JAKA — DOBRA KORELACIJA
BOUNDARY STRONG-GOOD CORRELATIONSHIP
- 0,4 GRANICA DOBRA — SLABA KORELACIJA
BOUNDARY GOOD-BAD CORRELATIONSHIP
- HIDROIZOHIPSE PRETPOSTAVLJENOG VODOSTAJA
SUPPOSED GROUNDWATER LEVEL COUNTOUR LINES
- PRAVCI PRETPOSTAVLJENOG KRETANJA PODZEMNE VODE
GROUNDWATER FLOW DIRECTIONS
- PI
PG
PH
PV
Pz
B
MJESTA OPAŽANJA RAZINE PODZEMNE VODE
OBSERVATION PLACES
- VODOMJERI
STAFF GAUGE
- $y = 0,323x + 63,567$
y vodostaj na tački mjerenja — observation place water level
pravac i jednačba pravca regresije
regression line
- x vodostaj na vodomjeru
water level on staff gauge



Pravci i koeficijenti korelacije — directions and correlation factors

Vodomjer Podsusjed:	PI-6 $y = 0,370x + 76,213$ $r = 0,782$	PI-20 $y = 0,290x + 72,052$ $r = 0,702$	Pz-5 $y = 0,420x + 68,680$ $r = 0,730$	PI-19 $y = 0,112x + 106,037$ $r = 0,401$	PI-5 $y = 0,227x + 91,546$ $r = 0,523$	PI-2 $y = 0,201x + 93,980$ $r = 0,450$	Vodomjer Jankomir:	PI-13 $y = 0,227x + 87,793$ $r = 0,631$	PI-1 $y = 0,376x + 73,930$ $r = 0,720$	PI-7 $y = 0,182x + 95,893$ $r = 0,606$	PI-29 $y = 0,405x + 68,600$ $r = 0,763$	PI-23 $y = 0,195x + 95,312$ $r = 0,572$	Pz-4 $y = 0,283x + 80,771$ $r = 0,569$	PI-14 $y = 0,423x + 61,590$ $r = 0,856$	Vodomjer Zagreb:	Pz-1 $y = 0,576x + 48,469$ $r = 0,254$	
	Pz-2 $y = 0,342x + 74,092$ $r = 0,776$	Pz-3 $y = 0,254x + 84,045$ $r = 0,774$	PG-25 $y = 0,072x + 102,62$ $r = 0,462$	PG-14 $y = 0,141x + 92,885$ $r = 0,509$	PG-4 $y = 0,186x + 87,029$ $r = 0,544$	PV-5 $y = 0,680x + 33,006$ $r = 0,921$	PVZ-43 $y = 0,633x + 38,523$ $r = 0,902$	PV-K $y = 0,208x + 87,802$ $r = 0,582$	PG-2 $y = 0,318x + 73,881$ $r = 0,701$	PV-3 $y = 0,547x + 49,987$ $r = 0,917$	PG-3 $y = 0,292x + 75,548$ $r = 0,693$	PV-1 $y = 0,327x + 72,504$ $r = 0,679$	PV-6 $y = 0,324x + 74,137$ $r = 0,741$	PV-R $y = 0,143x + 93,125$ $r = 0,419$	PV-29 $y = 0,139x + 92,427$ $r = 0,404$	PV-4 $y = 0,689x + 31,833$ $r = 0,937$	PV-H $y = 0,322x + 73,970$ $r = 0,693$
	PG-43 $y = 0,139x + 94,473$ $r = 0,523$	PV-2 $y = 0,448x + 59,609$ $r = 0,845$	PG-34 $y = 0,043x + 108,063$ $r = 0,254$	PG-9 $y = 0,145x + 91,502$ $r = 0,454$	PI-48 $y = 0,141x + 95,520$ $r = 0,664$	PV-6 $y = 0,415x + 63,464$ $r = 0,807$	PVZ-6 $y = 0,536x + 49,186$ $r = 0,901$	PV-M $y = 0,221x + 84,158$ $r = 0,597$	PV-22 $y = 0,165x + 89,044$ $r = 0,513$	PV-S $y = 0,170x + 89,272$ $r = 0,501$	PV-12 $y = 0,143x + 92,093$ $r = 0,441$	PH-4 $y = 0,151x + 81,421$ $r = 0,485$	PVZ-59 $y = 0,465x + 56,834$ $r = 0,833$	Vodomjer Mičevac:	PI-37 $y = 0,566x + 44,673$ $r = 0,920$	PI-36 $y = 0,405x + 61,540$ $r = 0,869$	PI-35 $y = 0,294x + 73,087$ $r = 0,818$
	PI-38 $y = 0,197x + 82,702$ $r = 0,541$	B-1 $y = 0,502x + 50,456$ $r = 0,931$	PI-53 $y = 0,457x + 55,602$ $r = 0,890$	PI-47 $y = 0,272x + 74,126$ $r = 0,824$	Vodomjer Jakuševac:	PV-41 $y = 0,472x + 54,775$ $r = 0,912$	PV-U $y = 0,259x + 79,016$ $r = 0,666$	PI-33 $y = 0,242x + 80,431$ $r = 0,707$	PV-48 $y = 0,259x + 77,314$ $r = 0,661$	PI-32 $y = 0,386x + 65,375$ $r = 0,762$	PV-40 $y = 0,519x + 50,718$ $r = 0,911$	PG-18 $y = 0,182x + 87,410$ $r = 0,536$	PV-32 $y = 0,415x + 61,931$ $r = 0,705$	PV-43 $y = 0,420x + 60,242$ $r = 0,498$	PV-39 $y = 0,265x + 77,647$ $r = 0,404$	PI-34 $y = 0,185x + 85,920$ $r = 0,519$	PI-15 $y = 0,339x + 66,541$ $r = 0,850$
	PV-42 $y = 0,374x + 65,251$ $r = 0,867$	PV-50 $y = 0,287x + 76,301$ $r = 0,641$	PH-6 $y = 0,297x + 73,531$ $r = 0,669$	PV-31 $y = 0,451x + 58,568$ $r = 0,811$	PV-47 $y = 0,476x + 53,664$ $r = 0,923$	PI-52 $y = 0,178x + 87,157$ $r = 0,532$	PI-16 $y = 0,195x + 84,003$ $r = 0,635$	Vodomjer Šćitarjevo:	PI-54 $y = 0,450x + 55,753$ $r = 0,847$	PI-17 $y = 0,648x + 36,659$ $r = 0,921$	PV-93 $y = 0,435x + 59,145$ $r = 0,616$	PI-46 $y = 0,546x + 47,452$ $r = 0,743$	PH-7 $y = 0,236x + 84,419$ $r = 0,341$	PH-8 $y = 0,263x + 87,629$ $r = 0,515$	PI-42 $y = 0,355x + 67,917$ $r = 0,636$	PI-41 $y = 0,486x + 53,973$ $r = 0,948$	B-2 $y = 0,398x + 46,479$ $r = 0,913$