

Geol. vjesnik	28	357—361	1 tabla	Zagreb, 1975
---------------	----	---------	---------	--------------

551.46:551.781(16.1.15/16.44/45)

PAVAO MILETIĆ, SLAVKA MACAROL, GORDANA TURIC  
i MARIJA HEINRICH

### RAZMATRANJA O STATISTIČKOJ ANALIZI KORELACIJE VODOSTAJA U RIJECI I VODOSTAJA U PODZEMLJU NA PRIMJERU MJERENJA U ZAGREBU

U radu su prikazani rezultati statističke analize vodostaja na Savi i vodostaja u aluvijalnom vodonosnom horizontu metodom korelacione analize. Korištena je linearna korelacija, nakon što je u radnom procesu dokazano da parabolična korelacija ne daje značajno bolju aproksimaciju krivulje regresije. Iznijeto je i objašnjenje malih vrijednosti koeficijenta korelacije za opažачke točke udaljene od rijeke, odnosno za nepovoljne prirodne uvjete.

#### UVOD

Metoda analize korelacije koristi se za nalaženje statističke zavisnosti i zakona zavisnosti između raznih slučajnih pojava. Vrijednost koeficijenta korelacije pokazuje jakost zavisnosti, odnosno povezanost pojava. Jakost veze je, dalje, pokazatelj fizičke komunikacije između područja na koja se odnosi korelacija. U našem slučaju to bi značilo, da veliki koeficijent korelacije između vodostaja u rijeci i vodostaja u podzemlju pokazuje tijesnu povezanost te dvije sredine. Analogno, mala vrijednost koeficijenta korelacije morala bi značiti nepostojanje takve povezanosti.

Polazeći od toga, izvršena je korelaciona analiza vodostaja u podzemlju i vodostaja Save, za 1966/67. i 1967/68. godinu. Rezultati prve analize objavljeni su ranije (Borčić i dr., 1968), dok se rezultati druge analize nalaze u Fondu stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja u Zagrebu (Čapar, 1968). U oba slučaja izvršena je linearna korelacija, a rezultati su pokazali veliku vrijednost koeficijenta korelacije isključivo u uskom pojasu uz Savu. Za pojas udaljen od Save korelacija se je pokazala slabom. Postavljeno je stoga pitanje, ne bi li za šire pod-

ručje kvadratna korelacija dala bolje rezultate. Da se dobije odgovor na to pitanje, a istodobno da se na osnovi rezultata statističke analize pokuša reducirati pijezometarska mreža, izvršena je ponovljena opsežna statistička analiza 1974. g. Zbog učestalosti opažanja (svakodnevna mjerenja) i dostupnosti podataka i tom su prilikom obrađena mjerenja iz 1967/68. godine.

Ugodna nam je dužnost zahvaliti se mr. dipl. inž. O. Bonacci na opaskama u vezi ranije objavljenih obrada, te Vodovodu grada Zagreba, Republičkom savjetu za naučni rad SRH i Skupštini grada koji su, koristeći rezultate rada, snosili materijalne troškove.

### OPIS IZVRŠENOG RADA

Za razliku od statističke obrade izabranih parova vodostaja Save i vodostaja u pijezometru, prilikom ponovljene obrade podataka pripremljen je program za elektronsko računalo UNIVAC 1106. Obradom je obuhvaćeno:

— ispitivanje opravdanosti primjene linearne u odnosu na paraboličnu korelaciju;

— izračunavanje vrijednosti koeficijenta korelacije za parove vodomjer-pijezometar sa svakodnevnim rezultatima mjerenja (za pijezometre mjerenje šest puta tjedno, sedmi podatak umetnut je kao aritmetička sredina prethodnog i slijedećeg mjerenja). Izračunavanje vrijednosti koeficijenta korelacije izvedeno je za svaki mjesec posebno;

— korelacija svakog para vodomjer-pijezometar izvedena je za isti dan, zatim za mjerenje na pijezometru za slijedeći dan pa sve do 11 dana zakašnjenja, tako da se utvrdi najveća vrijednost koeficijenta korelacije u odnosu na zakašnjenje vodnog vala u podzemlju.

### OPIS REZULTATA IZVRŠENE ANALIZE

Metodom analize varijance kvadratne regresije vodostaja u pijezometrima u ovisnosti o vodostaju Save, testirana je putem F testa značajnosti doprinosa linearnog člana varijanci regresije u odnosu na doprinos kvadratnog člana. Ustanovljeno je da se, nakon uklapanja kvadratne regresije u odnosu na linearnu, varijanca ne mijenja značajno. To znači, da uklapanje parabole regresije ne daje bitno bolju aproksimaciju krivulja regresije. Zbog toga je daljnja obrada podataka provedena kao što je opisano u prethodnom poglavlju.

Na temelju rezultata, izdvojeni su pojasevi aluviona sličnih osobina (tab. I). Kod toga su uzete u obzir vrijednosti koeficijenta korelacije i vrijeme zakašnjenja reakcije na istom pijezometru kroz svih 12 mjeseci u godini. Usporedbom ove i već objavljene karte (Bo r č i ć i dr.,

1968) opaža se, uglavnom, podudarnost rezultata provedenih proračuna. Nova obrada dala je, međutim, nešto veće vrijednosti koeficijenta korelacije, što je normalno, jer je korišten veći broj podataka, a analiza je provedena po mjesecima – znači, indirektno su uzeti u obzir periodi visokih i niskih vodostaja.

Analiza postignutih rezultata ukazuje na postojanje dviju zona – s obzirom na različitu reakciju podzemnih voda u odnosu na Savu.

Prvoj (užoj) zoni pripadaju pijezometri, koji imaju općenito bolju korelaciju u svim mjesecima, i to, s većim koeficijentom korelacije i s vrlo malim zakašnjenjem tijekom visokih vodostaja i s manjim koeficijentom korelacije i s većim zakašnjenjem tijekom nižih vodostaja Save (prva četiri pojasa na karti).

U drugoj (široj) zoni situacija je bitno drugačija. U periodima velikih oscilacija vodostaja u Savi, korelacija je vrlo slaba ili je nema. To znači, da veći koeficijenti korelacije, dobiveni za vrijeme niskih vodostaja, nisu odraz dobre povezanosti podzemnih voda te zone i Save, već su posljedica općeg pada razine vode u obje sredine.

### ZAKLJUČAK

Rezultati statističke obrade vodostaja u Savi i vodostaja u podzemlju pokazuju da, u ovom slučaju, parabolična korelacija ne daje izrazito bolje rezultate od linearne korelacije. Drugo, premda je sigurno, da je aluvijalni vodonosni horizont na obuhvaćenju površini neprekinuta hidraulička cjelina, koeficijent korelacije na velikom dijelu područja pokazuje vrlo slabu ili nikakvu povezanost te cjeline s glavnim izvorom prihranjivanja. To se može protumačiti time, što je veza vodostaja u podzemlju i u rijeci funkcionalna. Veličina promjene razine podzemne vode ( $s$ ) u odnosu na amplitudu oscilacija vodostaja u rijeci ( $s_0$ ) je rješena, i za slučaj harmonijskih promjena vodostaja u rijeci, dana je jednadžbom (Ferris, 1963):

$$s = 2 s_0 e \exp \left[ -x \sqrt{(\pi S)/(t_0 T)} \right]$$

Eksponecijalna funkcija u ovoj jednadžbi predstavlja prigušenje amplitude oscilacija razine vode u horizontu, prouzrokovano udaljenošću točke opažanja od rijeke ( $x$ ), koeficijentom transmisibiliteta ( $T$ ) i koeficijentom uskladištenja ( $S$ ) horizonta, te trajanjem vodnog vala u rijeci ( $t_0$ ).

Iako korišteni podaci mjerenja ne pokazuju potpuni sklad prirodnih uvjeta s početnim uvjetima gornjeg rješenja, navedeni izraz daje objašnjenje rezultata statističke analize i u našem slučaju. To znači, da u nepovoljnim uvjetima, a time podrazumijevamo velike udaljenosti pijezometara od rijeke, veliki koeficijent uskladištenja, odnosno efektivne

poroznosti vodonosnog horizonta, te kratko trajanje vodnog vala u rijeci – koeficijenti korelacije mogu biti tako mali, da ne indiciraju povezanost horizonta s izvorom punjenja.

Bolja korelacija između rijeke i udaljenih pijezometara za period niskih vodostaja, u slučaju provedene analize, odraz je relativnog mirovanja vodostaja u obje sredine, a ne i njihove bolje povezanosti.

Prema tome, statistička metoda korelacije vodostaja ne može uvijek biti siguran indikator povezanosti i neprekinutosti riječi pridruženog vodonosnog horizonta, niti osnovica za ekstrapolaciju podataka.

Primljeno 26. ožujka 1975.

*OOOR Institut za primijenjenu  
geologiju i mineralne sirovine,  
Rudarsko-geološko-naftnog  
fakulteta Sveučilišta u Zagrebu,  
Pierottijeva ul. br. 6, 41000 Zagreb*

#### LITERATURA

- Borčić, D., Capar, A., Čakarun, I., Kostović, K. & Miletić, P. (1968): Noviji podaci o zavisnosti vodostaja podzemne vode i vodostaja Save na području Zagreba. – Geol. vjesnik, 21, 311-316, Zagreb.
- Capar, A. (1968): Zagreb, Hidrogeološki izvještaj 1967/68. – Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- Ferris, J. G. (1963): Cyclic Water-Level Fluctuations as a Basis for Determining Aquifer Transmissibility. – U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper, 1536-1, 305-318, Washington.
- Miletić, P., Švel, B., Turić, G., Blašković, I., Mayer, D., Macarol, S. & Heinrich, M. (1975): Procjena rezervi podzemnih voda aluvijalnih taložina na području između Podsuseda i Siska. – Fond stručne dokumentacije Zavoda za opću i primijenjenu geologiju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb.

P. MILETIĆ, S. MACAROL, G. TURIĆ and M. HEINRICH

#### CONSIDERATIONS ON STATISTICAL CORRELATION ANALYSIS BETWEEN THE WATER LEVEL IN THE RIVER AND THE GROUND WATER LEVEL IN THE AREA OF ZAGREB

A correlation analysis was made between the measured values of water levels in the Sava river and ground water levels in the alluvial waterbearing layer within the area of Zagreb.

A test to determine the applicability of the parabolic correlation was made. It was found, by applying the F test, that the inclusion of regression parabola does not substantially improve the approximation of the regression curve. For this reason the linear correlation was applied and it has been established that the correlation coefficients sharply decrease at increased distances from the river.

The explanation of this phenomenon derives from the solution of the fundamental equation for the linear flow of water in an aquifer, induced by the harmonic water level changes of a stream. Each water level variation in the river induces an adequate variation of the water level in the ground. However, the magnitude of the variation in the ground is being increasingly damped with the growing distance from the river. Damping is defined by means of the function (Ferris, 1963):

$$e \exp \left[ -x \sqrt{(\pi S)/(t_0 T)} \right]$$

When »unfavourable« conditions exist, such as: great distances from the river ( $x$ ), high storage ( $S$ ), low transmissibility ( $T$ ) and short duration of water wave in river ( $t_0$ ); such a rapid damping appears that the statistical correlation method does not represent the real physical relation between two observed points.

Received 26 March 1975.

*Institute for applied geology and  
mineral resources  
Faculty of mining, geology & oil  
engineering, Pierottijeva 6, 41000 Zagreb*