

PRIOLOG POZNAVANJU PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU ZAGREBA

S 1 prilogom

Prikazan je pregled stanja podzemnih voda na području Zagreba s osvrtom na uzajamnu ovisnost površinskih i podzemnih voda.

Izneseno stanje odnosi se na situaciju u podzemlju u rasponu savskog vodostaja na limnigrafu Zagreb od +324 m do -101 m.

UVOD

Rezultati prikazani u ovom radu odnose se na problematiku podzemnih voda koja je rješavana nakon poplave Save u Zagrebu u novembru 1964.

Podaci o vodonosnom sloju tzv. »pješčano-šljunčanom« ili »aluvi-jalnom« vodonosnom horizontu publicirani su na drugom mjestu (Nowinska N., Miletic P., Borčić D., Tufekčić D., 1966).

Hidrogeološki radovi su izvođeni tokom g. 1965. i 1966. u okviru »Hidrogeološke studije poplavnog područja Zagreba«. Osnovnu namjenu ove studije predstavljalo je prikupljanje, selekcija i obrada hidrogeoloških podataka sa svrhom upoznavanja hidrogeoloških prilika zagrebačkog područja. Konačni cilj istraživanja, koja su još u toku, je organizacija sistematskog i dugogodišnjeg prikupljanja onih podataka koji su nužni za konačna rješenja zaštite grada od poplavnih voda, zatim za projektiranje urbanističkog razvoja grada te zaštite i korištenja podzemnih voda.

Rezultati postignuti tokom dosadašnjeg rada pružili su mogućnost za uočavanje kvalitativnih odnosa površinskih i podzemnih voda. Sirtetizirani na jednom mjestu oni predstavljaju doprinos poznavanju hidrogeologije užeg zagrebačkog područja, tim više što su to prvi radovi takve vrste koji su ovdje izvedeni.

Tokom istraživanja korištena je susretljivost svih zainteresiranih organizacija kao: Vodovoda grada Zagreba, Gradskog geodetskog zavoda, Direkcije za Savu, Hidrometeorološkog zavoda, Gradske kanalizacije itd.

Naročito se ovdje moramo zahvaliti pojedinim predstavnicima gornjih organizacija čiju je stručnu i ostalu pomoć teško dovoljno istaknuti. To su na prvom mjestu ing. M. Roudnicki, Dr. ing. E. Svetličić, ing. M. Selanec i ing. S. Reštarević čija smo mišljenja, savjete i iskustvo koristili za čitavo vrijeme rada.

Značajnu pomoć kod prikupljanja i korištenja podataka pružili su nam i D. Vukovojać, ing. G. Spigelski, ing. V. Pofak kao i mnogi drugi.

Svima njima se ovdje posebno zahvaljujemo.

IZVOR I PODACI MJERENJA PODZEMNIH VODA

Na istraživanom području vršena su do g. 1965. uglavnom nesistemska i povremena mjerenja razina podzemnih voda. Pri tome se misli na površinsku i vremensku neujednačenost mjerenja.

Tokom 1965. Institut za geološka istraživanja uspostavio je uz već postojeća još 53 nova osmatračka mjesta. Tako su ovim osmatračkim bušotinama ispunjene praznine koje su postojale na području istraživanja do tog vremena (prilog 1).

Mjerenja podzemnih voda kroz duži vremenski period, a za koja postoji sređena dokumentacija, vršili su Vodovod grada Zagreba, Hidrometeorološki zavod SRH i Geodetski zavod grada Zagreba.

Vodovod grada Zagreba opažao je razinu podzemne vode u neposrednoj blizini aktivnih i perspektivnih crpilišta na ukupno 74 lokaliteta. U Maloj Mlaci mjerenja su započela 1962. godine; na Žitnjaku 1964. godine; kod Mosta Slobode 1961. i u Klari 1959. godine.

Hidrometeorološki zavod SRH vršio je mjerenja od 1959. na ukupno 9 bunara.

Geodetski zavod grada Zagreba registrirao je razine podzemnih voda od 1964. na 24 opažачka mjesta.

Gornja mjerenja, kao što vidimo, vremenski nisu sinhronizirana, a i gustina mjerenja se kod raznih opažачa znatno razlikuje. Vodovod grada Zagreba i Hidrometeorološki zavod SRH vršili su mjerenja jednom tjedno, a Geodetski zavod grada Zagreba jednom mjesečno. Dani mjerenja na bušotinama između Vodovoda grada Zagreba i Hidrometeorološkog zavoda SRH također su se razlikovali: Hidrometeorološki zavod SRH mjerio je svakog ponedjeljka a Vodovod grada Zagreba nije imao jedinstveni dan mjerenja na svim područjima.

Osmatranje razina podzemnih voda na 53 lokaliteta, koje je izvršio Institut za geološka istraživanja započeto je krajem svibnja g. 1965. Mjerenja na ovim lokalitetima vršena su 2 puta tjedno.

STANJE PODZEMNIH VODA I ODNOS POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA
NA TEMELJU POZNATIH PODATAKA

U prethodnom poglavlju prikazan je izvor podataka korištenih u ovom radu. Iz teksta je vidljivo da unatoč relativno dugotrajnih mjerenja podzemne vode veći dio podataka nema značenja za regionalni hidrogeološki pregled zbog razbacanosti lokaliteta i vremenske neujednačenosti mjerenja. U stvari za izradu karte hidroizohipsi moglo se je služiti isključivo podacima prikupljenim tokom drugog polugodišta 1965. i prvog polugodišta 1966.

Kod korištenja karte hidroizohipsi potrebno je iz tih razloga imati u vidu činjenicu da je ona konstruirana na osnovu jednogodišnjih mjerenja. Ova mjerenja nisu zahvatila niti maksimalne, a niti minimalne do sada ustanovljene vode rijeke Save. Apsolutni maksimum Save registriran u Zagrebu 26. 10. 1964. iznosio je +514, a maksimum na koji se oslanja priložena karta je +324 registriran 13. 12. 1965. Apsolutni minimum registriran 23. i 24. 10. 1947. u Zagrebu iznosi -204, a minimum na koji je vezana ista karta je -101 registriran 4. 11. 1965. Priložena karta hidroizohipsi (prilog 1) pokazuje stanje podzemnih voda u vrijeme visokih i niskih voda Save, registriranih u periodu od 1. 6. 1965. do 31. 5. 1966. godine.

Visoke odnosno niske vode određene su prema podacima vodornjera Podsused i to za prve stanje 13. 12. 1965., a za druge 4. 11. 1965.

Dan za koji je prikazano stanje visokog vodostaja određen je obzirom na ponovljene visoke vodne valove na Savi u 12. mjesecu, što je po našem mišljenju moralo pokazati realnije stanje za visoke vode u podzemlju nego što bi to bilo u slučaju da su izabrani kraći visoki vodni valovi, registrirani u prvoj polovici sedmog i prvoj polovici i krajem devetog mjeseca, a koji su po apsolutnoj vrijednosti viši od odabranog.

Datum snimanja situacije niskih voda u podzemlju uzet je 4. 11. 1965. kao krajnja tačka konstantnog sniženja nivoa Save i vode u podzemlju u periodu od približno mjesec dana.

Hidroizohipse lijeve i desne obale spojene su preko Save tanjim linijama, jer poslije novih regulativnih i drugih zahvata nije snimljen i utvrđen pad Save na ovom potezu. Kote površine Save na priloženoj karti su linearno interpolirane između dva visinski određena vodornjera. Premda tako dobiveni podaci ne predstavljaju egzaktnu vrijednost, smatra se da su dovoljno tačni za svrhu za koju su korišteni.

Površina istraživanja pokrivena je isključivo savskim nanosom koji je po svom sastavu pretežno grubo klastičan. Jasno je da takova lito-loška sredina mora biti po čitavoj površini u direktnoj hidrauličkoj vezi s izvorom hranjenja vodonosnog horizonta. Gledajući priloženu kartu hidroizohipsi takvo stanje je nesumnjivo kako u periodu visokih tako i u periodu niskih voda Save odnosno podzemlja.

Suprotno mišljenju da u periodu visokih voda Sava hrani podzemlje, a u periodu niskih voda da podzemlje hrani Savu, iz priložene karte je vidljivo da Sava u cjelini hrani podzemni vodonosni horizont kako za vrijeme visokih tako i za niskih vodostaja. Neposredni utjecaj sniženja vode u Savi na smjer tečenja vode u podzemlju kreće se prema karti (prilog 1) do prosječne udaljenost od 1 km. To međutim ne osporava činjenicu, da i onaj dio podzemne vode, koji je okrenuo smjer tečenja prema Savi, kao i onaj, koji je zadržao prethodni smjer, potječe iz uzvodnog dijela savskog korita.

Skretanja podzemne vode za vrijeme niskih voda u Savi pokazuju najužu zavisnost sa smjerom toka rijeke Save. To naročito vrijedi za južnu obalu, gdje u vrijeme niskog vodostaja Sava hrani podzemlje u onom dijelu toka na kojem teče u smjeru sjeveroistoka, a prima vodu iz podzemlja u dijelu gdje teče prema jugoistoku. Analogno, obrnutu situaciju trebalo bi očekivati na sjevernoj obali. Ovdje su međutim registrirana odstupanja, koja su vjerojatno u vezi s prilivom podzemne vode s obronaka Zagrebačke terase i potoka Medvednice. Ovi zaključci vrijede za vodostaj Save na limnigrafu Zagreb od cca - 100. Kod nižeg vodostaja situacija bi se kod relativno kratkotrajnih niskih voda vjerojatno znatno promijenila. Za dugotrajne niske vode uz stabilizaciju analognog niskog vodostaja u podzemlju Sava bi međutim ponovno hranila podzemlje i to zbog nižeg topografskog položaja prirodnih drena podzemne vode južne obale.

Utjecaj Male Mlake na stanje vodostaja u podzemlju je vrlo jak u neposrednoj blizini crpilišta. Ima međutim i elemenata koji ukazuju na znatno veću udaljenost utjecaja crpilišta u vrijeme niskog vodostaja. Taj utjecaj može se zapaziti do hidroizohipse od +115,00 m. Uzvodno od gornje hidroizohipse utjecaj Save na tečenje podzemne vode za vrijeme niskog vodostaja znatno je veći od utjecaja nizvodno od ove hidroizohipse. Veličinu utjecaja kao i tačniju daljinu teško je međutim sa sigurnošću odrediti jer upravo kod hidroizohipse +115,00 m Sava povija prema sjeveroistoku i na taj način iz čisto morfološko-topografskih razloga smanjuje mogućnost hranjenja vodom iz podzemlja.

Utjecaj crpilišta kod visokog vodostaja daleko je manje izražen. Uz odnosno mjerilo karte i tačnost podataka jedva da ga možemo naslutiti do hidroizohipse +112,00 m.

Na priloženoj karti ucrtani su generalni smjerovi tečenja podzemnih voda za odnosno stanje razine vode u podzemlju. Iz rasporeda hidroizohipsi je vidljivo da se u osnovnim crtama smjer tečenja podzemne vode - naročito južno od Save ne mijenja bitno unutar granica maksimalnog i minimalnog vodostaja obrađenog na ovom mjestu.

Prema prikupljenim podacima nesumnjiva je direktna veza visine podzemne vode i vodostaja Save.

U svrhu sticanja uvida u brzinu tog utjecaja obzirom na udaljenost od Save izrađena su četiri profila vodostaja podzemne vode kroz pijezometrijske bušotine. Profili su vezani na savske vodomjere i locirani približno okomito na podzemni tok.

Prvi profil na južnoj obali Save (limnigraf Podsused – bunar PV-X) pokazuje na udaljenosti od 200 m reakciju na promjenu vodostaja Save istog dana; na udaljenosti cca 1000 m okomito na površinski tok reakcija na vodostaj Save kasni 4 dana, na udaljenosti od cca 3000 m okomito na površinski tok reakcija kasni oko 7 dana. Na udaljenosti od preko 5000 m reakcija se ne može ustanoviti u vezi s vodnim valovima na Savi već se manifestira kao rezultat opće situacije u podzemlju.

Drugi profil (limnigraf Zagreb – pijezometar PI-34) pokazuje sljedeće: na udaljenosti od približno 1000 m reakcija na vodostaj u Savi kasni 2 dana na udaljenosti od 2500–3000 m reakcija kasni cca 6 dana.

Na sjevernoj obali izrađena su također dva profila. Na profilu (limnigraf Podsused – pijezometar PI-9) vidimo da na udaljenosti od 1000 m od Save reakcija kasni 8 dana, a na udaljenosti 2000 m kasni za 9 dana.

Drugi profil (vodomjer Jakuševac – pijezometar PI-42) pokazuje na udaljenosti od 2000 m zakašnjenje reakcije od 5 dana.

Prema podacima ovih profila proizlazi da je utjecaj vodostaja Save na sjevernoj obali mnogo sporiji.

Za izradu gornjih profila korišteni su podaci mjerenja Instituta za geološka istraživanja i Vodovoda grada Zagreba koji se razlikuju u gustini mjerenja i te razlike dovode do izvjesnih odstupanja. Zaključak o reakciji vodostaja otežan je osim toga i utjecajem crpilišta, i vodnih tokova (rukavaca Save i podvirnih potoka koji teku preko terena), koji se može odrediti i limitirati samo vremenski mnogo detaljnijim i prostorno gušćim opažanjima.

Gornji podaci nam ipak dozvoljavaju općenito zaključivanje koje pokazuje da se kod visokih vodnih valova utjecaj u podzemlju na južnoj obali mora očekivati u roku od 7 dana i na najudaljenijim mjestima ispitivanog područja. Također se može zaključiti da je reakcija u podzemlju na promjene vodostaja Save na sjevernoj obali sporija i vremenski više izjednačena.

Bilo bi zgodno da se je na osnovu postojećih podataka mogao odrediti korelativni odnos vodostaja u Savi i onog na pijezometrima. Pokušaj korelacije u ovoj fazi poznavanja je propao jer podaci nisu bili istovremeni i vremenski dovoljno gusto prikupljeni. Da se ispravi ovaj nedostatak podataka u drugoj polovici 1966. pristupilo se istovremenom i svakodnevnom mjerenju razina voda na većem broju pijezometara.

ZAKLJUČAK

Dokazano je da postoji vrlo uska veza stanja podzemnih voda i površinskog toka rijeke Save kao i to da Sava u svakom slučaju – za vrijeme visokih i niskih voda (do —104 m) – hrani podzemlje. Za vrijeme niskih voda podzemna voda mijenja smjer prema Savi samo u najužem potezu uz rijeku i to oko 1 km.

Registrirano skretanje pokazuje najužu ovisnost o geografskoj orijentaciji Save. Gledano vrlo uopćeno – u okviru mogućnosti koje nam pružaju podaci, Sava hrani podzemlje i za vrijeme niskih vodostaja u onom dijelu toka koji je skrenut prema sjeveroistoku, a drenira ga u području kada teče prema jugoistoku. To vrijedi za južnu obalu Save. Na sjevernoj obali situacija bi trebala biti obrnuta ali su primijećena mnoga odstupanja što možemo dovesti u vezu sa jačim prilivom vode s obronaka Zagrebačke gore.

Posljedice koje izaziva rad crpilišta Mala Mlaka na tok podzemne vode prema podacima prikupljenim 1965/66 nisu značajne. Utjecaj Male Mlake uglavnom je ograničen do hidroizohipse +112,00 za vrijeme visokih i +115,00 za vrijeme niskih voda.

Smjer toka podzemne vode na širem području istraživanja je dijagonalan na površinski tok za vrijeme visokih voda i paralelan do dijagonalan na površinski tok Save za vrijeme niskih voda.

Brzina reakcije podzemne vode na podizanje vodostaja u Savi veća je na južnoj obali s time da se reakcija javlja sa zakašnjenjem u vezi s udaljenošću od Save. Posljednje opažane tačke reagiraju sa zakašnjenjem od 7 dana.

Na sjevernoj obali reakcija je sporija ali više ujednačena.

Primijeno 12. 11. 1966.

*Zavod za opću i primjenjenu geologiju,
Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
Zagreb, Pierottieva 6
Institut za geološka istraživanja,
Zagreb, Kupska 2.*

LITERATURA

- Domaćinović, Z. (1958): Novi vodovod – M. Mlaka – Zagreb. Tunel ispod Save. Vodovod grada Zagreba, Geodetski zavod grada Zagreba, Arh. br. 433.
- Dukić, D. (1957): SAVA – potamološka studija. Izdanje Srpske akademije nauka, Beograd.
- Nowinska, N., Miletić, P., Borčić, D., Tufekčić, D. (1966): Prilog poznavanju aluvijalnog vodoravnog horizonta na užem području Zagreba. Geološki vjesnik 20, Zagreb.
- Roudnicky, M. (1957): Crpilište Mala Mlaka, Vodovod grada Zagreba, Zagreb.

- Srebrenović, D. (1969): Regulacija Save u Zagrebu - studija. Projekt, Arh. Elektroprivredne zajednice, Zagreb.
- Svetličić, E. (1955): Idejni projekt regulacije rijeke Save i obalnog pojasa od Zagreba do Podsuseda. Hidroprojekt, Zagreb.
- Svetličić, E. (1956): Područje lokacije aerodroma Pleso u hidrološkom smislu, Arh. »Hidrotehna«, Zagreb.
- Svetličić, E. (1959): Luka Zagreb, Hidrotehna, Zagreb.
- Zgaga, M. (1964): Vodoistražni radovi Zagreb - Stupnik. Geofizika, Zagreb.

P. MILETIĆ and D. BORČIĆ

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF GROUND WATER IN THE AREA
OF THE CLOSE PRECINCTS OF ZAGREB

A study of hydrogeological data and some hydrogeological investigations were undertaken in the period immediately after the great flood, which had occurred in Zagreb on November 24th, 1964.

A preliminary hydrogeologic study comprehended elements important for the correlation of the surface and the ground water levels. Consequently, the data obtained are to be the basis for an efficient protection of ground waters from pollution, as well as for a protection of the area from floods initiated by the rising of ground water level. A preliminary report and maps and graphs attached to this paper are being published because of their importance as the very first regional hydrogeologic picture of this area, although further and more detailed investigations are in progress.

During the investigation it was established that a very close relation exists between the surface water of the Sava River and underground waters in the broader area of Zagreb. It was also established that the Sava River feeds ground water horizons during the highest, as well as the lowest, water level recorded in the period of study (1964/1965 - the lowest water level recorded - 104 cm.). Only in the very vicinity of the river banks ground water flow is locally influenced by the river level, but such a situation does not diminish the fact that the water returning toward the river is coming from the upper part of the river and not from the ground water horizon as a whole.

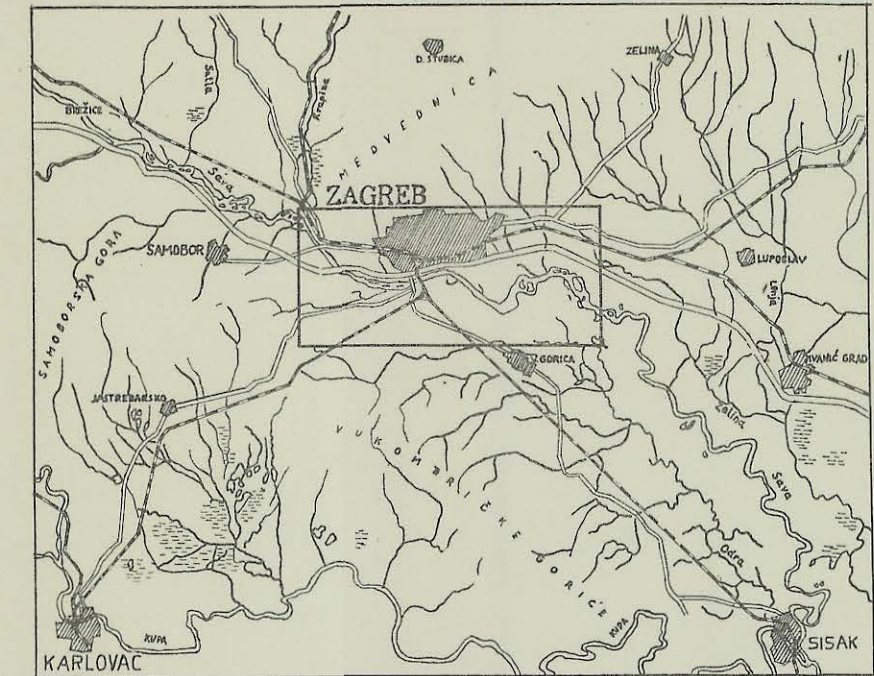
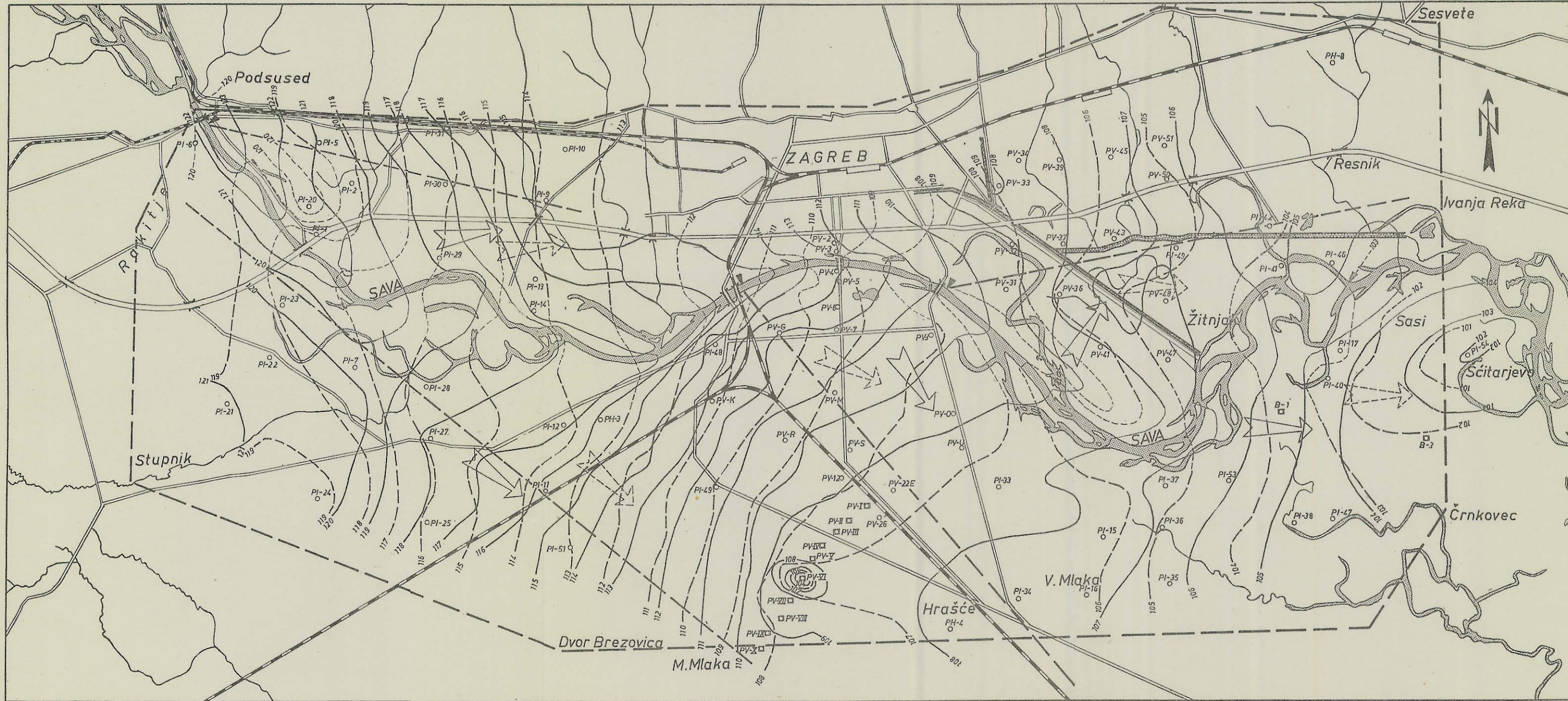
The other data can be easily found in the attached maps and graphs and will not be discussed in this short summary.

Received 12th November, 1966.

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

*Institute of Geology,
Zagreb, Kuška 2.*

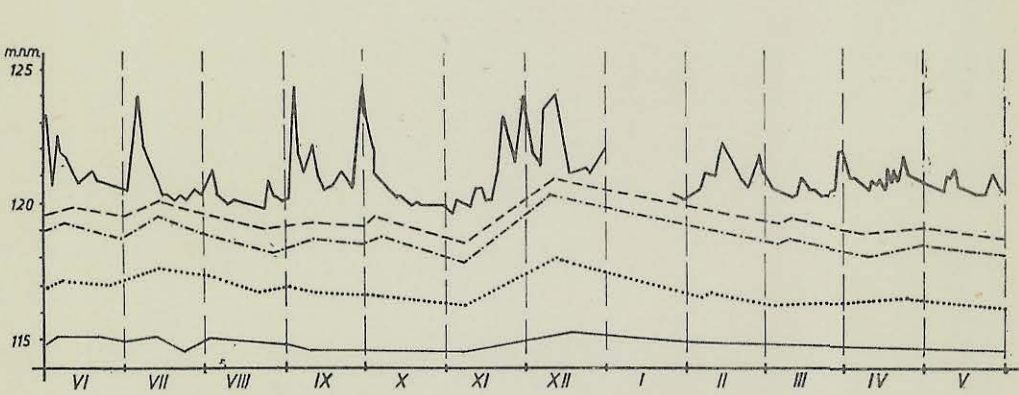
KARTA PODZEMNE VODE
Područje Zagreb
MAP OF THE GROUND WATER - Area of Zagreb



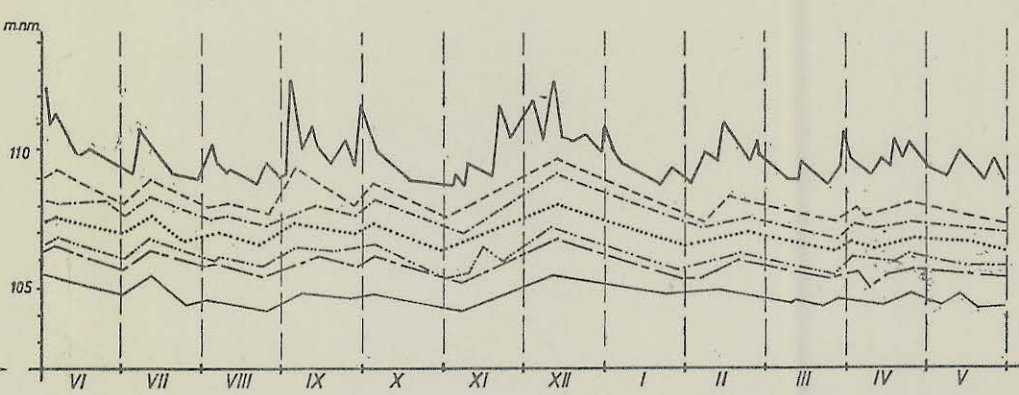
LEGENDA

- max. - 13.XII 1965. HIDROIZOHIPSE DNEVNIH NIVOVA
CONTOUR LINES OF THE DAILY GROUND WATER LEVEL
- - - min. - 4.XI 1965.
- - - PROFIL PROMATRANIH OSCILACIJA NIVOVA VODE NA PIJEZOMETRIMA I VODOMJERIMA
PROFILE WHERE THE OSCILATIONS OF GROUND WATER LEVEL WERE OBSERVED
- LINIJE PODZEMNOG KRETANJA VODA ZA VRIJEME MAKSIMUMA
MAXIMUM ELEVATION OF THE GROUND WATER LEVEL
- LINIJE PODZEMNOG KRETANJA VODA ZA VRIJEME MINIMUMA
MINIMUM ELEVATION OF THE GROUND WATER LEVEL
- PI PIJEZOMETRI
OBSERVATION WELLS
- PV
- PH
- ▼ VODOMJER
STAFF GAGE OR RECORDING GAGE
- BUNAR
DUG WELL

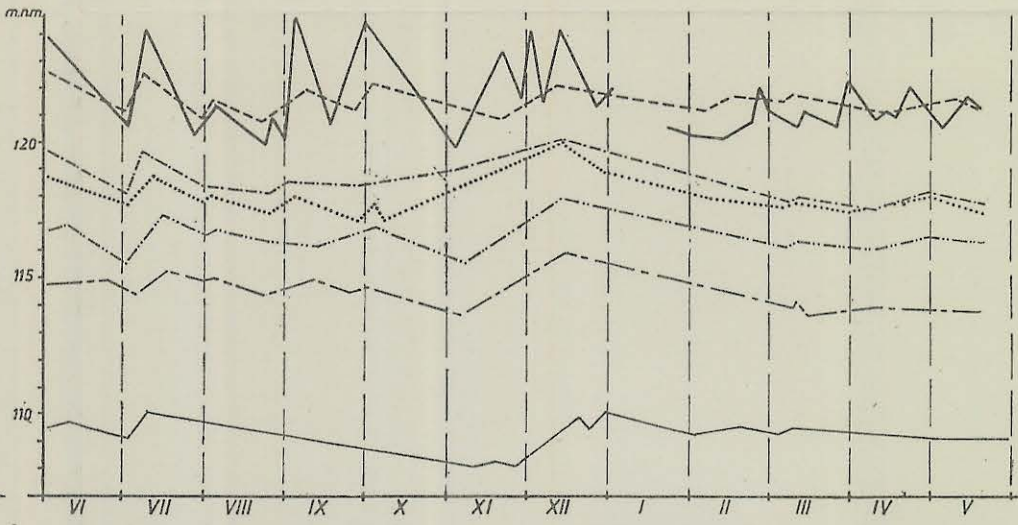
MJERILO
SCALE 1 2 3 4 5 6 Km



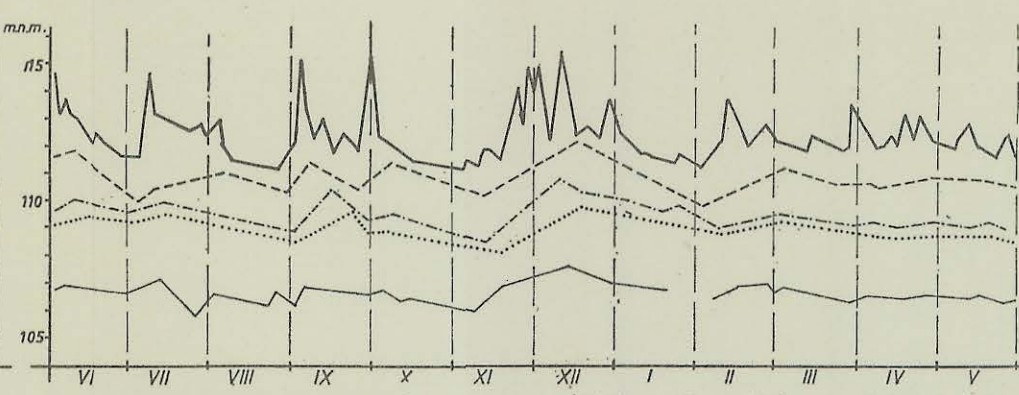
Profil: „vodomjer Podsused - PI-9“ „O“ piježometra-vodomjera udaljenost od Save



Profil: „vodomjer Jakuševac - PI-42“ „O“ piježometra-vodomjera udaljenost od Save



Profil: „vodomjer Podsused - PV-X“ „O“ piježometra-vodomjera udaljenost od Save



Profil: „vodomjer Zagreb - PI-34“ „O“ piježometra-vodomjera udaljenost od Save

LEGENDA:
LEGEND

— vodomjer Podsused	120,48 m	1236 m
- - - PI-5	122,29	1550
- - - PI-2	121,21	1550
- - - PI-30	121,55	1680
- - - PI-9	115,85	2030

LEGENDA:
LEGEND

— vodomjer Jakuševac	108,61 m	600 m
- - - PV-31	111,53	1320
- - - PV-32	112,74	1980
- - - PV-37	111,30	2670
- - - PV-43	109,71	1800
- - - PV-49	109,23	1100
- - - PI-42	107,39	

LEGENDA:
LEGEND

— vodomjer Podsused	120,48 m	240 m
- - - PI-6	123,70	900
- - - PI-23	122,04	1150
- - - PI-7	120,98	2340
- - - PI-27	120,69	2420
- - - PI-11	117,39	5560
- - - PV-X	111,99	

LEGENDA:
LEGEND

— vodomjer Zagreb	112,26 m	1040 m
- - - PV-G	114,91	2500
- - - PV-M	114,08	3320
- - - PV-S	113,48	7000
- - - PI-34	109,74	