

Geol. vjesnik	30/2	657—663		Zagreb, 1978
---------------	------	---------	--	--------------

551.48/49+550.82(091)(497.1)

## Razvoj inženjerske geologije i hidrogeologije u SR Hrvatskoj od 1951—1976. god.

Stjepan BAHUN,<sup>1</sup> Antun MAGDALENIĆ<sup>2</sup> i Pavao MILETIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Geološko-paleontološki zavod, Prir.-mat. fakultet,  
Soc. revolucije 8, YU—41000 Zagreb*

<sup>2</sup> *Zavod za inženjersku geol., hidrogeol. i geol. nafte i ugljena,  
Rud.-geol.-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU—41000 Zagreb*

Inženjerska geologija i hidrogeologija u našoj Republici, kao i u čitavoj našoj zemlji, nemaju dugu tradiciju, tako da proteklih dvadesetpet godina za obje ove geološke discipline obuhvaćaju kako početak razvoja, tako i njihovu afirmaciju u praktičnoj primjeni i znanstvenom vrednovanju.

**Inženjerska geologija:** Pod inženjerskom geologijom podrazumijevat ćemo grupu naučnih disciplina koje se bave istraživanjem terena za potrebe prostornog planiranja, projektiranja i izgradnje u oblasti građevinarstva, rudarstva, energetike, poljoprivrede i šumarstva.

Poznavanje stanja i promjene reljefa, sastava i strukture terena, razni pokreti u Zemljinoj kori i njihove posljedice u terenu, građevinska upotrebljivost stijena, stabilnost i nosivost terena za gradnju, erozioni procesi, utjecaj vode na sredinu i uvjete rada u terenu, omogućuju bolje planiranje i ulaganje sredstava za razvoj pojedinih područja.

U našoj zemlji se tek prije 25 godina počela sistematski razvijati nova geološka disciplina — inženjerska geologija. Za ovo kratko vrijeme ona je postigla vidne rezultate u praktičnoj primjeni i u znanstvenom razvoju.

Pedesetih godina pristupa se reorganizaciji i modernizaciji odgoja geoloških kadrova. Na Tehničkom fakultetu u okviru Rudarskog odjela formira se geološko usmjerenje za odgoj inženjergeologa. U privrednim organizacijama i ustanovama osnivaju se geološki odjeli koji u svom djelovanju imaju specijaliste za inženjersku geologiju.

U prvim počecima nije ostvarena potrebna veza između različitih disciplina — geologije i tehnike, koja bi omogućila da se inženjerski problemi jedinstveno promatraju. Uzrok tome treba tražiti u činjenici da su geološke discipline više opisivale svojstva terena i njegovo ponašanje bez dovoljno kvantitativnih prognoza inženjerskogeoloških svojstava terena. S druge pak strane u mehanici tla i mehanici stijena, iako su se koristile eksperimentalne i analitičke metode, promatranje terena ograničeno je većinom na uzorke. Ovako pojednostavljena identifikacija terena i uzoraka bila je pogrešna s obzirom na složenu, nehomogenu i anizotropnu prirodnu sredinu.

Tek posljednjeg decenija dolazi do suradnje geologa i geotehničara.

U razvoju inženjerske geologije ističe se nekoliko perioda. Budžetsko financiranje inženjerskogeoloških istraživanja rezultiralo je izradom osnovne inženjerskogeološke karte. Usljed nedostatka sredstava ovaj rad ubrzo je prekinut, a započelo se sa regionalnim inženjerskogeološkim istraživanjima. Rezultati ovih radova često nisu imali odgovarajuću upotrebnu vrijednost.

Stanje se bitno promijenilo kada se veći dio poslova iz inženjerske geologije počeo obavljati za građevinarstvo, rudarstvo ili organizacije koje se bave planiranjem. Vrijednost i zadatak inženjerskogeoloških radova postaju dio programa i cijene planiranih investicija.

Veliki nedostatak je što ne postoje zakonski propisi koji bi regulirali koja svojstva terena se moraju ispitivati za određene zahvate, te opseg i faze razrade inženjerskogeoloških radova. Čine se naponi da se i to uradi.

Zahtjevi koji se postavljaju pred inženjergeologa su raznovrsni. To su inženjerskogeološke podloge za potrebe hidroenergetskih objekata (brane, tuneli, strojarnice, injekcioni radovi), podloge za izradu cesta, željeznica, cestovnih tunela, mostova, sanacija klizišta, erozioni procesi, inženjerskogeološke podloge za razradu urbanističkih planova gradskih područja i dr.

Ovi radovi zahtijevaju usklađen rad stručnjaka raznih profila. Naši inženjergeolozi bili su vrlo aktivni u praksi, razvijali su i unapređivali naše znanstvene discipline, dajući im »tehnički izraz« kako bi ostali na razini srodnih tehničkih disciplina.

U proteklih 25 godina objavljen je veliki broj znanstvenih i stručnih priloga, u »Geološkom vjesniku«, »Građevinaru«, na simpozijima i kongresima u nas i inozemstvu.

Inženjerskogeološka kartiranja za potrebe izgradnje hidroenergetskih objekata izvršena su na svim našim hidroelektranama, počevši od HE Nikola Tesla, zatim HE Gojak, HE Senj, HE Rječina, HE Peruća, HE Split, HE Orlovac, HE Drava, koje su u pogonu i niz drugih koje su u fazi projektiranja. Radovima su obuhvaćena detaljna inženjerskogeološka snimanja u području pregradnih mjesta i strojarnica, detaljni uzdužni inženjerskogeološki profili dovodnih tunela i pristupnih potkopa. Kompleksni radovi izvođeni su na lokacijama injekcionih zavjesa i ostalih sanacionih zahvata na navedenim objektima.

Izrađene su inženjerskogeološke podloge trasa budućih autoputeva Zagreb—Split, Zagreb—Rijeka i niz manjih prometnica.

Veliko značenje imaju inženjerskogeološki radovi pri izgradnji naselja i većih industrijskih objekata (Rijeka, Zagreb, Split, luka za rasute terete u Bakru, koksara, kontejnerski terminal), gdje zajedno sa drugim strukama daju podlogu za projektiranje i njihovo izvođenje.

Dijelovi naše Republike predstavljaju vrlo aktivnu seizmičku oblast. O tome svjedoče potresi koji su nas zadesili u prošlosti. Privremenim tehničkim propisima regulirano je projektiranje, dimenzioniranje i izvođenje zgrada i drugih građevina na seizmičkim područjima.

Za objekte koji su od posebnog značenja i složenih konstrukcija vrše se posebna istraživanja (atomske centrale, visoke brane i sl.).

Naši inženjergeolozi dali su veliki doprinos racionalnijem prostornom odnosno urbanističkom planiranju.

Tako je na širem gradskom području Rijeke načinjena seizmička mikrorajonizacija (oko 200 km<sup>2</sup>), koja je prihvaćena i nalazi se u upotrebi od 1974. god. Seizmička i tektonska rajonizacija obuhvatila je znatno šire područje.

Grad Varaždin se prema seizmičkoj karti priloženoj PTP propisima za građenje u seizmički aktivnim područjima nalazio u zoni IX stupnja MCS skale. Rezultati istraživanja omogućili su da se s dovoljno pouzdanosti može osnovni stupanj sniziti na VII stupanj MCS skale, što će korisno poslužiti u daljnjoj izgradnji i razvoju Varaždina.

Za područje Zagreba izrađena je preliminarna karta seizmičke mikrorajonizacije na površini od cca 300 km<sup>2</sup>. Karta se temelji na postojećim makro i mikrosezmičkim, geološkim i hidrogeološkim podacima.

Ovi radovi doprinose razradi metoda seizmičke mikrorajonizacije, što ima veliku praktičnu a i znanstvenu vrijednost.

U narednom razdoblju neophodno je dalje poboljšavanje kvalitete rada pri inženjerskogeološkim istraživanjima i time ubrzanje razvoja i afirmacija inženjerske geologije tamo gdje je potrebna njena primjena.

**Hidrogeologija:** Hidrogeološka istraživanja *krškog dijela* naše Republike kretala su se tokom proteklih dvadesetpet godina uglavnom u dva smjera i to: u svrhu dobivanja voda za vodoopskrbu i kao podloga za izvođenje velikih hidroenergetskih postrojenja. Ovisno o potrebama naše privrede intenziviran je jedan ili drugi smjer.

Tako su u neposrednom poslijeratnom razdoblju, u vrijeme velikih potreba za tada jeftinom električnom energijom, hidrogeološka istraživanja bila usmjerena pretežno na realizaciju akumulacija za hidroelektrane koje su u osnovama bile zamišljene već prije rata. Tada su se malobrojni geolozi našli pred velikim, teškim i odgovornim zadacima, da bez prethodnih iskustava, bez specijalističkog obrazovanja i bez domaćih ili svjetskih uzora, stvore hidrotehničarima osnove za daljnja projektiranja i izvedbu hidroenergetskih objekata u kršu. Možemo bez suzdržanja reći da je to doba rađanja hidrogeologije u nas. Malobrojni geološki entuzijasti puni istraživačkog zanosa, ali samo općeg geološkog obrazovanja, u početku su svoja mukotrpa istraživanja u Gorskom Kotaru, Lici i Dalmatinskoj Zagori provodili na osnovi geoloških iskustava. Takav pristup proučavanju i interpretaciji hidrogeoloških problema imao je za posljedicu objašnjenje krške hidrogeologije zasnovano na uzročnoj vezi između geoloških uvjeta i hidrogeoloških pojava. Na taj je način u samom početku, iako moguće i nehotice, zaobiđena mogućnost pogreške da se hidrogeološke pojave tumače na fenomenološkoj i deskriptivnoj osnovi. Nedostatak specijalističkog hidrogeološkog obrazovanja zahtijevao je najtješnju suradnju geologa s hidrotehničarima koji su utvrđivanjem podzemnih vodenih veza bojadisanjem, analizama vodnih bilanci i hidrauličkim studijama kompletirali predodžbe o hidrogeološkim odnosima. Neosporno je da su taj period i način rada bili od presudne važnosti za daljnji razvoj naše krške hidrogeologije, a njegovi su rezultati ugrađeni u temelje objekata kao što su npr. Lokvarsko jezero, Fužinsko jezero, jezero Sabljaci, postrojenja HE Vinodol, HE Gojak i dr.

Nešto kasnije počela su istraživanja na širokom prostoru sliva rijeke Cetine. Kontinuirana suradnja s hidrotehničarima prije izrade projekta, u toku projektiranja i u toku izvedbe objekata (akumulacija Peruče, Prančevića) postala je svakodnevnom praksom, pa geologija odnosno hidrogeologija ima tada već potpuno određen položaj u sklopu ostalih struka. Nekako istovremeno naveliko se istražuje sa sjeveroistočne strane Velebita da bi se ostvarila akumulacija na rijeci Lici. Dugotrajna istraživanja i uspješna suradnja sa stručnjacima različitih specijalnosti dala su osnove na kojima je ostvarena HE Senj.

Tokom istražnih radova na tako širokom planu, sve veći broj mladih geologa uključivao se u rješavanje praktičkih zadataka pri čemu je velika pažnja posvećivana stalnoj suradnji s geofizičarima, hidrolozima i speleolozima. Naobrazba stečena tokom studija na fakultetima, čiji su nastavnici stekli svoja iskustva na prethodno opisanim objektima i neprestano akumuliranje novih iskustava, postepeno su formirali hidrogeologe širokog tehničkog znanja, koji su u stanju na osnovi najrazličitijih podataka donositi relevantne zaključke potrebne za daljnje hidrotehničke radove. Danas se to očituje u široko razgranatoj hidrogeološkoj aktivnosti oko proširenja već postojećih elektroenergetskih sistema.

Hidrogeološka istraživanja u cilju pronalazjenja mogućnosti dobivanja podzemnih voda za vodoopskrbu su u osnovi važnija, jer potrebe za vodom svakog stanovnika na kršu bile su i još su uvijek velike. Posljednjih petnaestak godina razdoblje je ekspanzije turizma u priobalju i na otocima, tako da je došlo do pomicanja stanovništva iz zaleđa na obalu, ili pak do koncentracije u pojedinim centrima krškog područja zbog razvoja industrije. Sve to dovelo je do povećanih potreba za vodom, pri čemu su obično potrebe premašivale prirodne mogućnosti. U početnoj fazi istraživanja su bila ograničena na zadovoljavanje lokalnih potreba s konačnim ciljem — kaptazom i povećanjem kapaciteta ponekog od izvora. Daljnjim razvojem metodologije i mogućnosti, hidrogeološka istraživanja provode se u cilju izvođenja drenažnih rovova i galerija, da bi u novije vrijeme poslužila kao osnova za izvođenje injekcionih zavjesa kojima se podzemne vode usporavaju ili spriječava utjecaj mora. Čitav niz većih ili manjih mjesta danas je opskrbljen vodom za kojom su u početnoj fazi ponajprije tragali hidrogeolozi.

Tijekom proteklih dvadesetpet godina, uz porast potreba za hidrogeološkim istraživanjima, uz povećanje broja istraživačkih institucija i broja hidrogeologa, razvijala se i poprimala sve određeniye oblike i metodologija hidrogeoloških istraživanja u kršu. Dakako, da još ne možemo u tom pogledu biti zadovoljni, ali osvrnemo li se na prijedeni put moramo ustanoviti znatan napredak. Upravo prije otprilike dvadesetpet godina padaju prvi počeci, mogli bismo reći, ne sasvim i isključivo geološkog pristupa u istraživanjima nekih hidrogeoloških fenomena. Počinje se na krško podzemlje gledati kao na sredinu, doduše veoma kompliciranih hidrogeoloških značajki, ali također kao na sredinu koja je podložna hidrološkim i hidrauličkim zakonitostima. Prilazeći daljnjim istraživanjima s tih stajališta i koristeći nove metode i rezultate istraživanja drugih struka, postignuti su veoma vrijedni rezultati. Tako možemo reći da je danas hidrogeologija u stanju — koristeći rezultate trasiranja podzemnih puteva od

ponora do izvora, praćenja oscilacija razina podzemnih voda u piezometarskim bušotinama, poznavajući rezultate geoloških istražnih bušenja, zatim rezultate ispitivanja vodopropusnosti stijena upumpavanjem vode pod pritiskom, rezultate daljinske detekcije, analize pukotinskih sistema, nadalje rezultate hidroloških istraživanja, koristeći saznanja geofizičara i speleologa — objektivno i realno prikazati i odrediti raspored podzemnih voda i dati prognozu za njihovu eksploataciju. Ovakav kompleksan posao zahtijeva i kompleksno obrazovanje stručnjaka koji će biti u stanju ujediniti sve navedene rezultate istraživanja. Danas takvih stručnjaka imamo, pa je prema tome budućnost naše hidrogeologije u kršu osigurana. To, osim široke stručne aktivnosti, dokazuju i rezultati postignuti na znanstvenom polju. Doktorati znanosti i magisteriji postignuti iz domene hidrogeologije krša, velik broj znanstvenih hidrogeoloških rasprava u časopisima »Krš Jugoslavije«, »Geološki vjesnik«, Bulletin Scientifique«, »Građevinar« i dr. na visokoj su znanstvenoj razini. Takav rad nije ostao nezapažen u svijetu, pa brojni naši hidrogeolozi sudjeluju ili su sudjelovali u istraživanjima u inozemstvu (Egipat, Libanon, Libija, Iran, Jamaica i dr.). Članstvo i funkcije u međunarodnim udruženjima koja okupljaju eminentne svjetske istraživače krša dalji su dokaz cijenjenosti naših stručnjaka. Ipak, kao vrhunac priznanja našem prilogu razjašnjavanja krške problematike cijenimo činjenicu da je našem znanstveniku povjereni redakcije knjige »Karst«, u kojoj je prikazan krš 13 zemalja sjeverne hemisfere.

Zadaci koji nas očekuju u narednom razdoblju bit će, prema svemu sudeći, nešto drugačijeg karaktera. Sve veća urbanizacija, industrijalizacija i porast životnog standarda, doveli su na žalost postojeće rezerve voda u kršu u veliku opasnost od onečišćenja. Poznato je, naime, da krška sredina zbog pukotinske poroznosti i brze infiltracije voda nema velike mogućnosti samopročišćavanja, pa ulazak onečišćenja s površine dovodi u opasnost upotrebljivost voda na izvorima i ostalim eksploatacionim objektima. Hidrogeologija, dakle, nema više samo zadatak da svojim istraživanjima omogući pronalaženje dovoljnih količina voda za vodoopskrbu, već će u najskorije vrijeme morati sudjelovati u realizaciji svakog projekta u kršu, koji bi svojom aktivnošću mogao biti potencijalni činitelj onečišćenja podzemnih voda. Hidrogeolozi moraju biti prvi u akciji da se sačuvaju kvalitetnima vode koje sada koristimo, kao i one za kojima ćemo u dubine krša uskoro posegnuti.

Hidrogeološka istraživanja *primarno poroznih stijena*, koje pretežu sjeverno od Save, nemaju tako duge tradicije kao one u krškim područjima. To je posljedica prividnog obilja vode i smještaja vodonosnih horizonata blizu površine. Osim toga, glavni potrošači, urbani i industrijski centri, razvijali su se na područjima koja su posebno pogodna za vodoopskrbu.

Zadnjih decenija situacija se znatno promijenila. Potrebe za vodom naglo su i mnogostruko porasle, nastupilo je intenzivno zagađivanje okoliša, a čovjekove intervencije sve češće mijenjaju prirodne hidrološke uvjete. Sumarno, većina ovih činilaca djelovala je negativno i dovela do krizne situacije osobito u vodoopskrbi, ali i u ostalim granama vodoprivrede.

Spominjući ovdje vodoprivredu kao cjelinu želimo naglasiti nedjeljivost površinskih i podzemnih voda, a zbog toga i nemogućnost separatnog rješavanja vodoprivrednih problema. Regulacije rijeka ili melioracije zemljišta, te konstrukcije hidroenergetskih objekata, imaju konačni utjecaj na stanje podzemne vode i traže neprekidno hidrogeološko istraživanje u okvirima novonastalih hidroloških uvjeta.

Krizna situacija vodoprivrede, koja se rješava utvrđivanjem količina vode i optimalnim gospodarenjem s raspoloživim količinama, dovela je do naglog razvoja hidrogeologije u nas i u svijetu.

Gledano u vremenskom slijedu, na području SR Hrvatske sjeverno od Save, zahtjevi koji su postavljeni pred hidrogeologa bili su: izrada hidrogeoloških podloga hidroenergetskih objekata, zaštita od poplava izazvanih podvirnim vodama, regionalna hidrogeološka rajonizacija, izdvajanje područja pogodnih za lokalne i regionalne vodoopskrbne sisteme, utvrđivanje rezervi voda za takve sisteme, i konačno priprema hidrogeoloških podataka i metoda za korištenje u analizi i provedbi složenih vodoprivrednih sistema gospodarenja i upravljanja vodama.

Nabrojani zadaci nisu rješavani sukcesivno, već se njihova realizacija vremenski preklapala, a isto tako preklapale su se i metode istraživanja koje su postupno uvedene.

Paralelno provođenju nabrojanih hidrogeoloških zadataka u našoj Republici, istraživanja su vršena i izvan njenih granica. Složeni zadaci rano su tražili primjenu suvremene metode operacionih istraživanja u hidrogeologiji. Operaciona istraživanja označavaju usklađen rad stručnjaka raznih profila u svrhu rješavanja zajedničkog cilja.

Rezultati ovih istraživanja korišteni su kod velikih hidrotehničkih zadataka projektiranja i izvedbe odvodnjavanja ugljenonosnih bazena u Bosni, Srbiji i Makedoniji, te irigacionim projektima u pustinjskim područjima Azije i Afrike.

Na realizaciji nabrojanih projekata zajednički su radili i rade hidrogeolozi, hidrotehničari, rudari, tehnolozi, ekonomisti i dr., koji uzajamno dopunjavaju svoja znanja i zaključke. Ističemo ovaj momenat u razvoju hidrogeologije, jer je on imao veliki utjecaj na oblikovanje novog lika suvremenog hidrogeologa.

Iz prikaza ciljeva i postignutih rezultata istraživanja proizlaze promjene korištenih metoda i pristupa istraživanjima.

Gledano ponovno u vremenskom slijedu, ali sa znatnim preklapanjima, to izgleda ovako:

- kvalitativno prevodenje geoloških podataka na hidrogeološki jezik;
- začeci primjene operacionih istraživanja u kojima hidrogeolog sudjeluje u rješavanju prostora;
- izrada i korištenje raznih tipova hidrogeoloških karata i hidrogeoloških rajonizacija s obzirom na tipove pojava vode i hidrogeološke parametre slojeva;
- kvantitativno određivanje hidrogeoloških parametara i određivanje rezervi voda analitičkim metodama;
- operaciona istraživanja rezervi voda, gdje hidrogeolog sudjeluje u kvantificiranju količina;

- organizacija hidrogeološkog katastra u smislu datoteke;
- priprema podataka iz katastra za kreiranje banke hidroloških podataka;
- pripreme i testiranje programa za simulacije ponašanja vode u varijantnim situacijama eksploatacije pomoću numeričkih matematičkih metoda.

Posljednje aktivnosti predstavljaju doprinos hidrogeologije analizi složenih vodoprivrednih sistema. Možemo čak sa zadovoljstvom ustanoviti, da od svih struka koje sudjeluju u takvoj analizi, hidrogeologija nije razvojem na zadnjem mjestu.

Zaključno želimo podcrtati činjenicu da se, kao i u ostalim primijenjenim znanostima, i u hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji stručni lik istraživača mijenja. No koliko je god naša želja udovoljiti promjenama, one su spore u odnosu na zahtjeve koje nam nameće društvo.