

POLJA U KRŠU — UTJECAJ RADA ČOVJEKA
NA PROMJENU HIDROLOŠKOG REŽIMA

(SA 2 SLIKE)

POLJES IN KARST — THE INFLUENCE OF MAN'S WORK
ON THE CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME

(WITH 2 FIGURES)

OGNJEN BONACCI

Referat na Simpoziju o kraškem površju
Postojna, 12.—14. junija 1985
*Paper presented on the Symposium of karst surface
Postojna, June 12—14, 1985*

Naslov — Address

dr. OGNJEN BONACCI, univ. prof.
Građevinski institut, Fakultet građevinskih znanosti
Sveučilište u Splitu
58000 Split
Jugoslavija

Sažetak

UDC 551.448:626.8
626.8:551.448

Bonacci Ognjen: Polja u kršu —

Utjecaj rada čovjeka na promjenu hidrološkog režima.

Polja u kršu predstavljaju najveću površinsku, topografsku formu. Rasprostranjena su gotovo u cijelom svijetu na područjima gdje ima karbonatnih i karstificiranih stijena. Ona predstavljaju jedinu oazu u kršu na kojoj su uvjeti za život čovjeka povoljni. Na vapnenačkim jako karstificiranim slojevima stijena nalazi se sloj vrlo plodnog tla. Koncentracija stanovništva relativno je gusta pa se stoga na poljima vrlo često izvode zahvati kojima se želi utjecati na poboljšanje vodnog režima. Osim pozitivnih efekata nastupaju nerijetko i neželjene, štetne posljedice. U radu se diskutira o slijedećih pet zahvata na poljima u kršu: 1. Akumuliranju vode, 2. Povećavanju kapaciteta evakuacionih organa, 3. Površinskim hidrotehničkim zahvatima, 4. Prevođenju voda iz sliva u sliv, 5. Pumpanju podzemnih voda. Izneseni su brojni primjeri iz naše zemlje i svijeta, kao i pozitivne i negativne posljedice koje su nastupile uslijed izgradnje hidrotehničkih objekata u kršu.

Abstract

UDC 551.448:626.8
626.8:551.448

Bonacci Ognjen: Poljes in karst —

**The influence of man's work on the changes
in the hydrological regime.**

Poljes represent the largest surface topological forms in karst. They can be found in the whole world wherever there are carbonate and karstified rocks. They are the only oasis in the karst with favourable living conditions for men. A layer of very fertile soil rests upon the strongly karstified layers of limestone. The concentration of population is fairly high; consequently efforts are frequently made to improve the water regime in the poljes. Apart from the favourable effects there are often undesirable, harmful consequences. The paper discusses five different types of work in the karst: 1. Water storage, 2. Increase in the capacity of the outlet structures, 3. Surface hydrotechnical works, 4. Transfer of water from one catchment to another, 5. Pumping of groundwater. The paper presents numerous examples from Yugoslavia and other countries as well as the positive and negative consequences caused by the construction of hydrotechnical structures in karst.

UVOD

Polja u kršu predstavljaju depresije u vapnenačkom kršu generalno eliptične u situaciji i s relativno blagim padom dna od zona izvora do zona ponora. Najčešće su pokrivena tlom koje pripada neogenim i kvartarnim sedimentima (vrlo često je to terra rossa). Površine polja variraju od vrlo malih veličina od oko 0,5 km² do onih najvećih reda veličine 500 km². Le Grand (1983) definira polje ovako: To je ravna aluvialna dolina obrubljena relativno visokim i golim vapnenačkim planinama. Doline se po dužoj osi protežu od kilometra do nekoliko kilometara, a poneke su i dulje. U poljima se redovno pojavljuje stalni ili povremeni otvoreni vodotok, koji najčešće teče duž dulje osi, ali rjeđe ima i takvih slučajeva kada se otvoreno tečenje obavlja kraćim putem. Polja se javljaju u raznim djelovima zemaljske kugle, a najčešća su u području Mediterana (Grčka, Italija, Francuska, Španjolska, Maroko, Tunis i Jugoslavija). Zapažen je manji broj polja u Aziji, veći broj na Kubi i Jamaici, te u Kanadi u području Nahanni krša, dok u USA postoji samo jedno polje, Grassy Cove, u državi Tennessee (Bögli, 1980). Po čestini pojavljivanja i njihovoj specifičnosti daleko najviše polja pojavljuje se u dinarskom kršu Jugoslavije. To je ujedno i razlog da je riječ »polje« iz hrvatskosrpskog jezika preuzeta kao tehnički termin za korištenje u cijelom svijetu, a odnosi se isključivo na pojam polja u kršu. Smatramo da bi u našim jezicima trebalo usvojiti termin »polje u kršu« i da bi trebalo izbaciti pojam kraškog polja kao tehnički neadekvatan.

Polja u kršu (u Jugoslaviji, ali generalno uzevši, i u cijelom svijetu) predstavljaju jedine oaze u za život vrlo negostoljubivom kršu unutar kojih su uvjeti za čovjekov opstanak relativno povoljni. Plodna zemlja i postojanje vode na površini omogućuju uspješne ljudske djelatnosti u siromašnoj, neplodnoj i vrlo često nepristupačnoj kraškoj okolini. Prema Barbalčiću (1976) ukupna površina zatvorenih kraških polja iznosi oko 1350 km² ili oko 2,5 % od ukupne površine krša. Iako se radi o vrlo maloj površini značaj s privrednog i socijalnog aspekta ne samo da nije zanemariv, već je i velik.

S hidrološkog aspekta, koji nas u okviru ovog rada primarno zanima, polje je samo dio šireg sistema. On se i ne može, ali i ne smije tretirati kao cjeloviti sistem, već samo kao podsistem u procesu kretanja nadzemnih i podzemnih voda kroz ogromni kraški masiv. Stoga za njegovo kvalitetno izučavanje nije dovoljno postaviti mjerne uređaje u samom polju, već i u kraškom masivu okolo njega ili u poljima viših i nižih horizonata s kojima analizirani podsistem ima kontakte. Polja u kršu gotovo su redovno plavljena u hladnijem i vlažnijem periodu godine, od X. do IV. mjeseca, a ljeti pate od nedostatka žive vode. Moguće ih je klasificirati u četiri osnovna tipa s obzirom na ulaze i izlaze voda iz njih: 1. Zatvorena polja; 2. Uzvodno otvorena polja; 3. Nizvodno otvorena polja, i 4. Uzvodno i nizvodno otvorena polja. Razlozi plavljenja leže u ograničenim dimenzijama evakuacionih organa kojima voda izlazi iz polja. Prema Barbalčiću 35 % površine zatvorenih polja plavljeno je u toku godine.

U ovom radu naglasak je stavljen na analizu utjecaja rada čovjeka na promjenu režima u poljima. Da bi se ove aktivnosti mogle ispravno procijeniti i predvidjeti neophodno je napomenuti dva principijelno različita tipa kretanja vode u kršu. Jedan tip je tzv. conduit flow, tečenje kroz sistem cijevi ili privilegiranim putevima. Iako je kapacitet (volumenski gledano) uvjetno govoreći

cijevnog sistema (velikih pukotina u nizu na potezu površina — izvori) malen, njegov značaj za transport voda je primaran. Procjenjeno je u raznim krajevima svijeta (Atkinson, 1977) da je 50—90 % svih voda koje dođu do nekog izvora transportirano priveligiranim putovima. Kretanje kroz njih je brzo i turbulentno. Kroz sistem sitnih pukotina kreće se od 10 do 50 % volumena vode nekog izvora. Kretanje je u principu sporo i laminarno. Prethodno spomenuti principi značajni su i moraju biti poštivani kod predviđanja utjecaja izgradnje objekta u polju na hidrološki režim.

OPĆE O RADOVIMA ČOVJEKA U POLJU

Razumljivo je da je koncentracija stanovništva u poljima izazvala i brojne ljudske aktivnosti na promjeni režima voda. Sve aktivnosti poduzimane su, poduzimaju se i poduzimat će se samo s jednim ciljem, a to je poboljšanje vodnog režima. Međutim, mnogi zahvati donijeli su koristi, ali su izazvali i štete koje su često premašile dobit. To se najčešće dešavalo tamo gdje sistem nije bio dovoljno studiran, pa su štete nastajale na nizvodnim horizontima, ali su nerijetke negativne promjene i na višim horizontima. Kod bilo kojeg zahvata u polju treba imati na umu da se ona (posebno u dinarskom kršu) nalaze u lancu i da su vezana s obližnjim niže i više položenim poljima.

Čovjekove aktivnosti na promjeni vodnog režima u poljima mogu se iscripti na sljedećih šest aktivnosti:

1. Akumuliranje voda,
2. Povećavanje kapaciteta evakuacionih organa,
3. Površinski hidrotehnički radovi,
4. Prevođenje voda iz sliva u sliv,
5. Pumpanja podzemne vode,
6. Ostali zahvati (najčešće vezani s povećanjem kapaciteta izvora).

Kod bilo kojeg hidrotehničkog zahvata na poljima u kršu moraju se izvršiti egzaktna predviđanja promjena u vodnom režimu, koje će biti izazvane datim zahvatom. Za obavljanje tog izrazito složenog i ni malo laganog zadatka, na raspolaganju moraju stajati brojna mjerenja i analize nultog stanja, dakle situacije kada zahvata nema. Sistem treba biti identificiran na nivou da omogućiti predviđanje. Za prognoze na nizu lokaliteta od velike pomoći mogu biti dobro identificirani sistemi u nultom i u izgrađenom stanju na nekim drugim lokacijama, npr. na već izgrađenim i djelomično ili dobro izučanim sistemima, kao što su Buško Blato, akumulacija Grančarevo, itd. Međutim, kod toga se uvijek treba imati na umu da nivoi podzemnih voda dominantno uvjetuju sve procese otjecanja u kršu. Ovo se napominje stoga jer se vrlo često identifikacija vrši bez pravog poznavanja promjena nivoa podzemnih voda, kako u prirodnom stanju, tako i u stanju izgrađenog sistema. To naročito važi za starije objekte, građene prije 1960. godine. Za detekciju sistema mogu i moraju poslužiti praktično sve metode i pristupi bez ikakve diskriminacije. Sve što može dati informaciju vrijedno je, ali pri tome se ne smije zaboraviti i na ekonomski aspekt problema. Interdisciplinarnost u istraživanju, kao i suradnja među stručnjacima raznih struka mora biti imperativ, jer se samo na taj način mogu postići barem relativni uspjesi u detekciji složenih sistema kreta-

nja vode u kršu. Kada se pak želi ustanoviti utjecaj izgrađenog objekta na procese otjecanja, a na bazi vršenih opažanja, tada uglavnom mogu poslužiti dva tipa metoda: parametarsko-genetske i statističke ili najčešće njihova kombinacija. Pri tome statističke metode definiranja nivoa odvajanja mogu biti nezavisne od parametarsko-genetskih dok ove druge teško da mogu figurirati samostalno. Mišljenja smo da je metodologija rada na ovim problemima kod nas i u svijetu daleko od toga da bude razvijena, te da se posebno treba preporučiti primjena diskriminacione analize i faktorske analize, ali i nekih drugih metoda koje spadaju u metode klasifikacije i nisu do sada bile korištene u hidrologiji. Ukazuje se ovdje na rad Miličevića (1976) koji je diskutirao utjecaj akumulacije Grančarevo na poplave u Fatničkom polju. Pristup je baziran na parametarskom modelu, koji nažalost nije suviše osjetljiv. Upravo na ovom primjeru vidi se od kolikog bi značaja bilo detaljno poznavati piezometarske odnose. Samo njihovim uključivanjem u analizu mogli bi se definirati kvalitetni i osjetljivi modeli. Na to vrlo zorno ukazuje Avdagić (1983) kada ukazuje na primjere izvanredno jakih utjecaja akumulacija u kršu na piezometarske odnose i to kako na one u uzvodnim, tako i na one u nizvodnim horizontima (poljima u kršu).

AKUMULACIJE VODE

Razumljivo je da akumulacije u kršu nisu izvedene isključivo zadržavanjem vode u poljima. Veći dio je izrađen pregrađivanjem riječnih kanjona, ali i u tim slučajevima vrlo često se dešavalo da djelovi polja budu ili trajno plavljeni ili pod utjecajem akumulacije. Akumulacije Buško Blato, Krupac, Slano, kao i brojne druge (npr. pokušaji stvaranja stalnog Cerkničkog jezera) uglavnom potvrđuju želju čovjeka da plodni dio polja sačuva kao oazu života i da stalno poplavi samo manje vrijedne djelove tog prostora. Izgradnja akumulacionih prostora u kršu bitno upliva na hidrotehničke odnose u poljima i to najčešće dvojako. Na nizvodnim područjima povećavaju se kapaciteti izvora, što je uglavnom pozitivno, ali nažalost može imati i negativne posljedice koje je potrebno sanirati skupim zahvatima. Poznato je da je izgradnjom brana Peruča i Prančevići na Cetini a dijelom i izgradnjom Buškog Blata došlo do povećanja izdašnosti kako izvora Jadrta, tako i izvora Žrnovnice. Oba su u blizini Splita i značajna su za privredu ovog grada i regije. Žrnovnica više ne presušuje, te se pretpostavlja da su ove akumulacije u slivu Cetine povećale izdašnost malih voda za 200 do 300 l/s, što nije zanemarivo. Brojni zahvati na Cetini zaslužuju pažnju, pa će o njima biti posebnog govora. U gornjim horizontima, akumulacije u kršu stvaraju uvjete za reaktiviranje starih sistema evakuacije, koji su razvojem karstifikacije prema dolje izšli iz funkcije (Avdagić, 1983).

POVEĆANJE KAPACITETA EVAKUACIONIH ORGANA

Upravo zbog činjenice velike vrijednosti i plodnosti terena na poljima u kršu mnogo češće se pristupa stvaranju uvjeta za brže evakuiranje velikih voda, te spriječavanje ili barem skraćivanje poplava. Izgradnja tunela i pro-

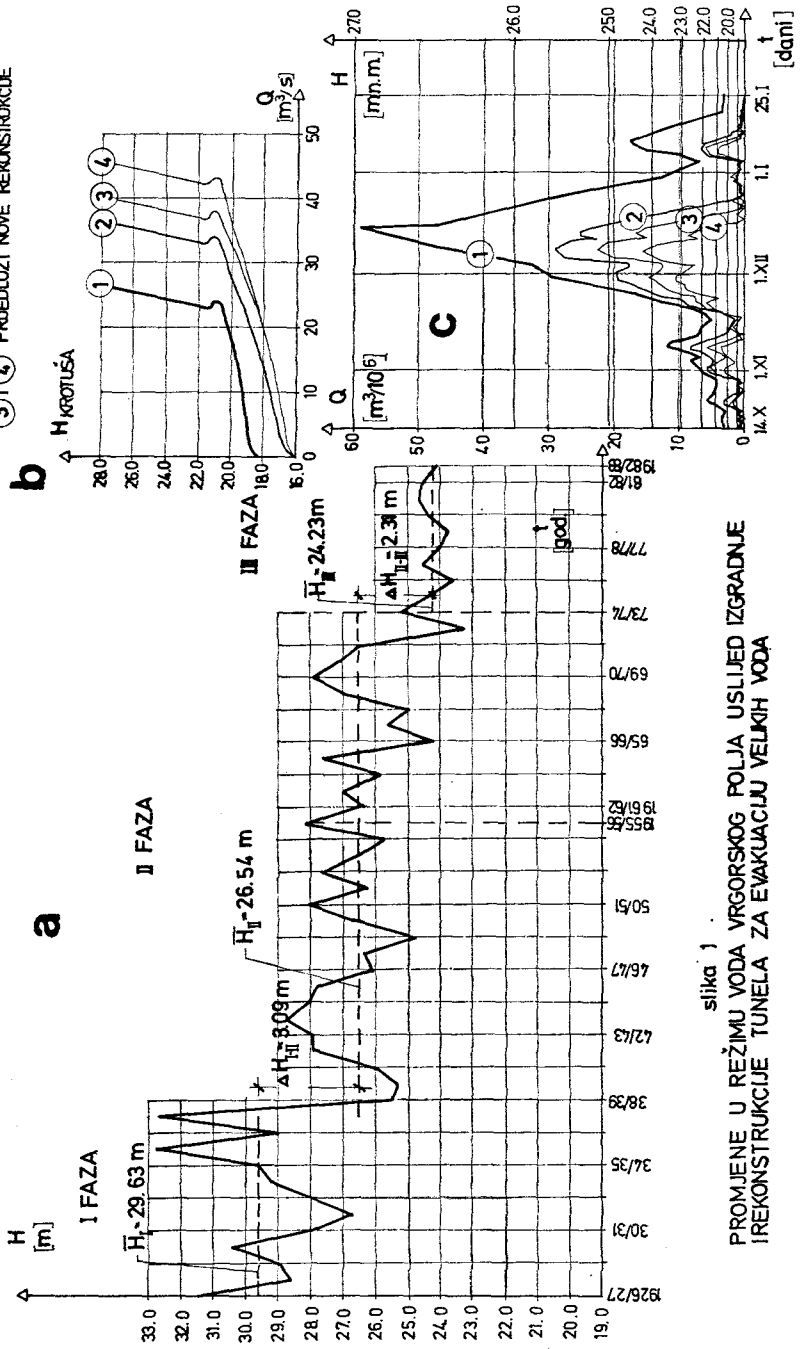
kopa, radovi na proširenju kapaciteta ponora česti su u svijetu, a posebno kod nas. Interesantan je primjer vrlo plodnog Vrgorskog polja na nadmorskoj visini od 25 m n. v. Prvi tunel za brzu evakuaciju voda iz polja u Bačinska jezera probušen je 1938. godine. 1974. godine dimenzije su mu povećane, pošto nisu bile u cijelosti spriječene poplave polja. One su vremenski bile skraćene, ali to nije zadovoljilo sve intenzivniju poljoprivrednu proizvodnju. Na slici 1a ucertani su nivoi maksimalnih nivoa voda u polju u tri analizirana perioda. I — do izgradnje tunela 1938., II — od 1938. do 1974., dakle rekonstrukcije i III — od 1974. do danas. Nivoi poplava u polju sniženi su u srednjem za 3.09 m (zbog izgradnje tunela) i za 2.31 m zbog rekonstrukcije. Tunel je bitno skratio trajanje poplava, ali ih nije eliminirao. Njegov maksimalni kapacitet iznosi oko $36 \text{ m}^3/\text{s}$, a srednje maksimalne protoke iznose $95 \text{ m}^3/\text{s}$, dok trenutačni opaženi maksimum iznosi $154 \text{ m}^3/\text{s}$ (22. II 1969). Procijenjeno je da se radi o poplavi 100 godišnjeg povratnog perioda. Samo po sebi je razumljivo da ekonomski nema smisla graditi tunel kapaciteta reda veličine $150 \text{ m}^3/\text{s}$ u cilju eliminiranja 100 godišnjih poplava, tim više što su kapaciteti reguliranog korita glavnog vodotoka Matice tek reda veličine $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Na slici 1b date su krivulje protoke tunela u raznim fazama, a na slici 1c izvršena je transformacija hidrograma poplave (20. IX 1966 — 5. I 1967) u Vrgorskom polju u funkciji raznih kapaciteta tunela. Sa slike se uočava da bi rekonstruirani kapacitet tunela od 1974. godine bitno smanjio volumen poplave za $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ali ne i visinu, pa čak niti trajanje poplave. Dokazano je da ekonomski nema opravdanja povećati kapacitet tunela iznad $45 \text{ m}^3/\text{s}$ (slučajevi 3 i 4 na slici 1b i 1c), jer bi tada trebalo izvršiti velike regulacione zahvate otvorenog vodotoka, a poplave niti tada ne bi bile eliminirane. Najniži dio polja još uvijek je ekonomski opravdanije povremeno plaviti. Situacija se i dodatno komplicirala, jer je već izrađen tunel iz susjednog višeg polja Rastok, kojim se u maksimumu u Vrgorsko polje unosi $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Čini se da ovaj zahvat nije bio najbolje proučavan, jer je očitno da on neće pridonijeti poboljšanju situacije, već će ju naprotiv, dodatno iskomplikirati.

Općenito se može reći da se problemi poplava u poljima ne mogu niti jeftino niti brzo riješiti izgradnjom samo evakuacionih organa. Situacija je mnogo kompleksnija i zahtijeva prvo detaljnu analizu, a odmah potom i stvaranje aktivnih i kompleksnih sistema obrane od poplava, koji moraju biti stalno nadgledani i rukovođeni preko sistema monitoringa. Prepuštanje kompleksnih sistema samih sebi, što je uglavnom kod nas slučaj, imalo je a imati će sve više i više vrlo teške posljedice. To je s visokom dozom vjerojatnosti moguće očekivati kod zahvata u kaskadnom sistemu polja u kršu, što je tipično za dinarski krš.

POVRŠINSKI HIDROTEHNIČKI RADOVI U POLJIMA

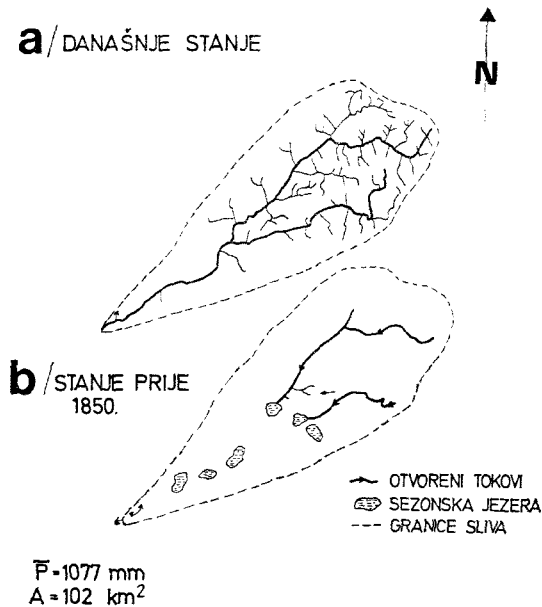
Pod površinskim radovima u poljima misli se na regulacione radove u otvorenim vodotocima, kao i na izradu sistema kanala površinske odvodnje. Na prvi pogled se može pretpostaviti da površinska odvodnja ne može bitno utjecati na promjenu stanja vodnosti u podzemlju, koje u suštini dirigira procese otjecanja u kršu. To ipak ne znači da je to uvijek tako i da su ovi radovi

- ① KAPACITET TUNELA 1938. god.
- ② KAPACITET TUNELA OD 1974. god.
- ③ i ④ PRIJEDLOZI NOVE REKONSTRUKCIJE



slika 1
 PROMJENE U REŽIMU VODA VRGORSKOG TUNELA ZA EVAKUACIJU VELIKIH VODA
 I REKONSTRUKCIJE TUNELA

potpuno bezopasni i bez ikakvih posljedica. Poznat je slučaj sliva rijeke Clarinbridge u Irskoj opisan Drew-om (1984). Dugogodišnjim radom čovjeka mreža površinske odvodnje je bitno razvijena (slika 2). To je izazvalo niz posljedica koje nije bilo moguće predvidjeti, ali koje se manje ili više, što ovisi o geologiji, u principu mogu očekivati i u drugim kraškim regionima. Radi se o slijedećim efektima:



slika 2
 POVRŠINSKA DRENAŽA KRAŠKOG SLIVA
 RIJEKE CLARINBRIDGE

- Visoka gustoća površinske odvodne mreže povećala je direktno otjecanje, pa je prihranjivanje podzemnih voda smanjeno.
- Podzemne vode su se prije pojavljivale duž cijelog sliva, a danas su zbog brzog transporta lokalizirane uz linije prihranjivanja (ovo zavisi o sezoni u godini).
- Površinski kanali izbušeni u vapnencu omogućili su brži i direktniji prodor vode, ali i zagađenja u podzemlje. Prirodni zaštitni sloj je na linijama kanala razoren, što je imalo za posljedice velike ekološke probleme.
- U suštini su smanjene, a dijelom i zagađene rezerve podzemnih voda, što je imalo kako ekonomske, tako i druge posljedice.

Primjer možda nije tipičan za naš krš, jer se radi o malom slivu i pokrivenom kršu, kod kojeg ovakvi zahvati mnogo direktnije utječu na procese prihranjivanja podzemnih voda. On je ipak vrlo poučan stoga jer ukazuje na moguće posljedice i stručnjacima određuje putokaze o kojima pri planiranju sistema moraju svakako voditi računa.

PREVOĐENJE VODA IZ SLIVA U SLIV

Ovdje se radi o vrlo ambicioznoj i skupoj djelatnosti čovjeka, koja kao i sve druge ima namjenu poboljšati stanje stvari. Međutim, ta intencija rijetko se ostvari u cijelosti. Primarni razlog leži u činjenici što je količina voda ograničena i što prevođenjem voda ne dolazi do njenog povećanja nego najčešće postoje i određeni gubici. S jednog mjesta voda se odvodi na drugo, gdje je u tom trenutku, po našoj procjeni, potrebnija. Treba imati na umu da svaka procjena važi samo u određenom vremenu i u određenim uvjetima, te da se kasnije mogu pokazati i njene manje ili veće slabosti. Čini nam se da s odlukama o prevođenju voda treba biti posebno oprezan. One zaista moraju biti donesene na bazi ogromnih i kvalitetnih podloga i studija, na bazi uključivanja širokog kruga stručnjaka i zainteresiranih u donošenje odluka.

Pri razmatranju prevođenja voda iz sliva u sliv ne treba doslovno gledati na problem. Mnogi zahvati u poljima u kršu koji na prvi pogled nemaju zadatak prevođenja u suštini mijenjaju stanje stvari do te mjere da indirektno ili čak direktno, a najčešće bez namjere projektanta sistema, izvrše ogromne preraspodjele voda. Tipični slučajevi su nastupili izgradnjom akumulacija Buško Blato i Prančevići. Znatne promjene desile su se i uslijed betoniranja korita Trebišnjice kroz Popovo Polje, a brojne dileme su otvorene i s izgradnjom akumulacija — kompenzacionih bazena u slivovima Ričice i Otuče za potrebe izgradnje reverzibilne HE Obrovac.

PUMPANJE PODZEMNIH VODA

Pumpanja podzemnih voda iz kraškog masiva naročito za potrebe navodnjavanja i sve češće vodoopskrbe nisu rijetka pojava. Što više, danas postaju jedan od dominantnih načina u snabdijevanju vodom u kraškim uvjetima. Međutim, upravo kod ovih radova treba biti posebno oprezan. Zbog karakteristika raspucalosti kraškog masiva prilikom neadekvatno snažnih pumpanja dolazi do naglih sniženja nivoa podzemnih voda, koje pak u nestabilnim sredinama mogu izazvati velika prolamanja gornjih slojeva, pojavu ili aktiviranje recentnih ponora. Nerijetko pumpanja podzemnih voda u kršu izazivaju snažna lokalna spuštanja nivoa i to na dominantnim pravcima kretanja podzemne vode. Hall (1984) je iznio primjer kolapsa 22 ponora i time izazvanih velikih šteta uslijed pumpanja podzemne vode kraj Dovera na Floridi (USA) u siječnju 1977. godine.

Prema tome, kod zahvata ovog tipa u kršu, a naročito u kraškim poljima koje su relativno gusto naseljena, potrebno je budno pratiti sve efekte pumpanja podzemnih voda. Količine pumpanja nisu limitirane isključivo kapacitetom podzemnih voda, već prije svega stabilitetom geoloških struktura za čije točno definiranje je potrebno izvršiti vrlo detaljne istražne radove.

O ostalim radovima na kršu, koji su vrlo brojni neće biti govora u ovom radu.

ZAKLJUČCI

Najbitnije promjene u odnosima voda u kršu izazivaju primarno veliki, generalni zahvati koji mogu svojom dimenzijom i kapacitetom bitno utjecati na generalno stanje nivoa podzemnih voda u kraškom masivu. Nedovoljno poznavanje sistema dovodi do toga da čovjek nije svjestan posljedica svojih zahvata. Neosporna je činjenica da je želja čovjeka da mu svaka aktivnost donese odgovarajuću korist, ali je iskustvo pokazalo da vrlo često to ne ispadne tako. U uvjetima krša stvari su posebno komplicirane i zahtijevaju detaljne obrade i analize, skupe istražne radove i dugotrajna razmišljanja, ali i praćenja efekata prije i poslije izgradnje objekata. U radu su izneseni samo neki problemi, ali je činjenica da su oni i brojniji, češći i s dugotrajnijim posljedicama nego što čovjek može i pretpostaviti. Pri tome se posebno treba naglasiti ekološki aspekt čije posljedice mogu biti ogromne.

LITERATURA

- Atkinson, T. C., 1977: Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (G. B.). *J. Hydrol.*, 35: 93—110.
- Avdagić, I., 1983: Upliv akumulacija voda na piezometarske odnose u kršu. *Jug. simp. o inženjerskoj hidrologiji*, Knjiga II, 139—148.
- Barbalić, Z., 1976: Karakteristike vodoprivrednih sistema zatvorenih kraških polja. *Zbornik Jug.-Am. simp.; Hidrologija i vodno bogatstvo krša*, Dubrovnik, 651—660.
- Bögli, A., 1980: *Karst hydrology and physical speleology*. Springer - Varlag.
- Drew, D., 1984: The effect of human activity on a lowland karst aquifer. In: A. Burger and L. Dubertret: *Hydrogeology of karstic terrains*, Vol. 1: 195—199.
- Hall, L. E., 1984: Sinkhole collapse due to groundwater pumpage for freeze protection irrigation near Dover, Florida, January 1977. In: A. Burger and L. Dubertret: *Hydrogeology of karstic terrains*, Vol. 1: 248—251.
- Le Grand, H., 1983: Perspective on karst hydrology. *J. Hydrol.*, 61: 343—355.
- Miličević, M., 1976: Uticaj vještačkih akumulacija na promjene prirodnog plavljenja uzvodnih kraških polja. *Zbornik Jug.-Am. simp.: Hidrologija i vodno bogatstvo krša*, Dubrovnik, 319—336.