

# Hidroelektrana Ombla

## Projekt za energetska korištenje podzemnih voda u kršu i trajno očuvanje visoke kvalitete pitke vode

### *The Ombla Hydro-Electric Power Plant*

### *Project for Power Utilization of Underground Waters in Karst Aquifer and Conservation of High Quality Freshwater*

Tomislav Paviša

email: tomislav.pavisa@hep.hr

DOI 10.17818/NM/2015/2.13

UDK 627.8 (497.5 Ombla)

556.3

Pregledni članak / Review

Rukopis primljen / Paper accepted: 29. 4. 2015.

#### Sažetak

Energetski potencijal površinskih vodotoka na krškom terenu Dinarida, koji se u širokom pojasu proteže uz hrvatsku obalu, većim je dijelom iskorišten. Međutim, značajni dio voda koje se akumuliraju u krškom podzemlju ovoga velikog prostora, do danas nije adekvatno energetska vrednovan. Na osnovi rezultata opsežnih geoloških, hidrogeoloških, hidroloških, strukturno tektonskih, geofizičkih, geotehničkih i ostalih istraživanja izrađen je projekt HE Ombla čija je posebnost da se koristi vodom podzemnih akumulacija, stvorenih izgradnjom podzemne brane te čiji su svi objekti također smješteni u podzemlju. Izdizanjem vodozahvata iz zone baznog toka u zonu usporenog tečenja eliminiraju se uzroci povremenog onečišćenja, a u budućnosti i trajnijeg zagađenja pitke vode.

#### Summary

*Power capacity of surface water flows in karst area of the Dinarides, stretching in a wide belt along the Croatian coast, has for the most part been utilized. Nevertheless, an important part of the water flow accumulating in the karst underground of this huge area has still not been adequately evaluated with regard to its power capacity. On the basis of elaborate geological, hydro-geological, hydrological, structurally tectonic, geophysical, geotechnical and similar research the project HEPP Ombla has been elaborated. This project specifically utilizes the water from karst aquifers accumulated by building an underground dam with all its objects adequately placed underground as well. By elevating the water intake from the main flow zone to the slow flow zone the reasons for occasional pollution are eliminated and permanent pollution of freshwater in the future is avoided.*

#### KEY WORDS

podzemne vode  
krški teren  
podzemna brana  
energetski potencijal  
trajno kvalitetna pitka voda

#### KLJUČNE RIJEČI

underground waters  
karst area  
underground dam  
power capacity  
permanent quality freshwater

#### UVOD / Introduction

Energetski potencijal površinskih vodotoka na krškom terenu Dinarida, koji se u širokom pojasu proteže uz hrvatsku obalu, većim je dijelom iskorišten. Međutim, značajni dio voda koje se akumuliraju u krškom podzemlju ovoga velikog prostora, do danas nije adekvatno energetska vrednovan. Na osnovi rezultata opsežnih istraživanja izrađen je projekt HE Ombla čija je posebnost da su

joj svi objekti smješteni u podzemlju te da koristi vodu iz podzemne akumulacije, stvorene izgradnjom podzemne brane .

Rezultati istraživanja, koji su objedinjeni u više specijalističkih studija, [1]-[10], [12]-[16], pokazali su da u ovom prostoru i danas postoji podzemna retencija koja se prazni na izvoru Ombla, te da je moguće formirati podzemnu akumulaciju i time omogućiti racionalno

gospodarenje vrlo značajnim količinama vode. Izradom idejnog i glavnog projekta HE Ombla [14] i [20] potvrđeno je da su predložena rješenja objekata tehnički ostvariva, a energetska-gospodarske analize pokazuju visoku profitabilnost.

Time se dobiva značajan proizvođač električne energije iz obnovljivih izvora, a zadržava se prirodni izgled krajolika izvorišta i time čuva okoliš.



Slika 1. Izvor Ombla u zaljevu Rijeka dubrovačka  
Figure 1 Ombla spring in the bay Rijeka dubrovačka

Istovremeno se višestruko poboljšavaju uvjeti vodoopskrbe šireg područja Dubrovnika jer se korištenjem raspoloživim tlakom omogućuje gravitacijski transport vode do gradskih vodosprema. Također sprječavaju se današnja povremena incidentna onečišćenja vode pojavom povećane mutnoće, (prosječno 35 dana godišnje), a izdizanjem vodozahvata na višu razinu u zonu usporenog tečenja osigurava se trajno kvalitetna voda visoke kakvoće bez upotrebe mehaničko-kemijskih pročistača.

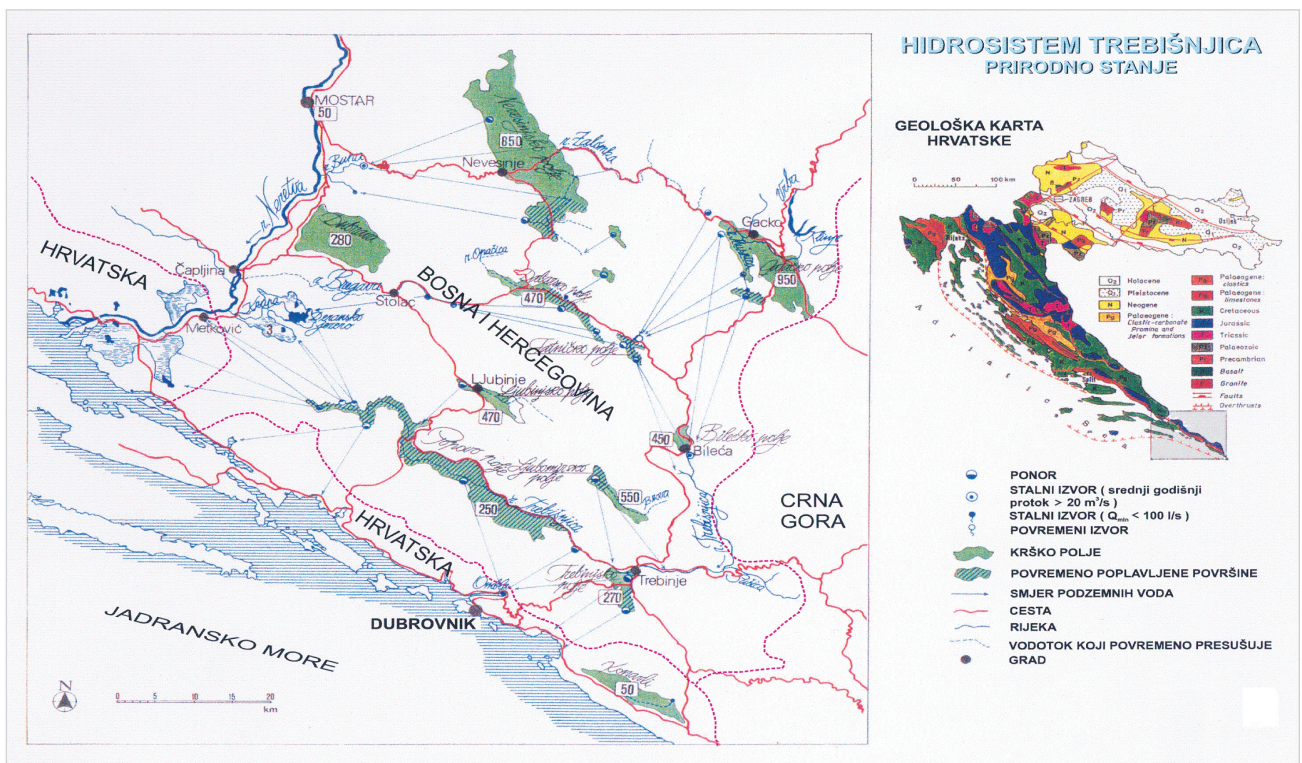
### PRIRODNE KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA / Natural characteristics of the drainage area

Izvor Ombla tipičan je priobalni krški izvor vrlo značajne izdašnosti. U prirodnim uvjetima, prije izgradnje objekata hidroenergetskog sustava na rijeci Trebišnjici, on je funkcionirao kao drenažni sustav, koji je omogućavao odvođenje voda vlastitog i posrednog sliva, najkraćim putem do mora. Ovaj izvor, šire promatrano, pripada slivu rijeke Trebišnjice, koje po bogatstvu prirodnih obilježja spada u jedno od

najinteresantnijih krških područja u Europi (slika 2).

### HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE / Hydrological characteristics

Izgradnjom hidrotehničkih objekata hidroenergetskog sustava Trebišnjica vode posrednog sliva Omble zadržavaju se u akumulacijama, nakon čega se tunelima usmjeravaju prema nizvodnim hidroelektranama HE Trebinje I i II, HE Dubrovnik i PHE Čapljina, (slika 3) što je izazivalo promjene prirodnog režima voda ovog izvora.



Slika 2. Hidrosustav Trebišnjica - prirodno stanje  
Figure 2 Trebišnjica hydro-system – natural state





Slika 3. Hidrosustav Trebišnjica - projekt  
Figure 3 Trebišnjica hydro-system – the project

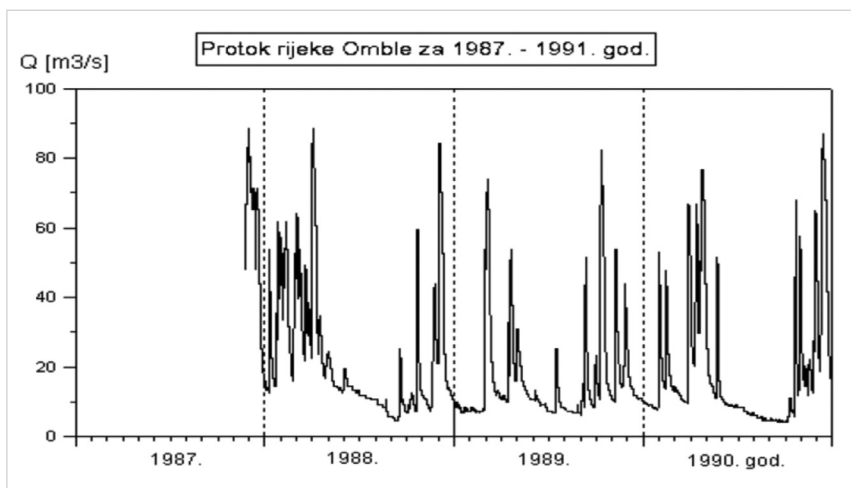
Na osnovu hidroloških analiza [11] utvrđen je današnji režim voda Omble koje dolaze samo iz njezinog vlastitog sliva, koji je nastao nakon završetka izgradnje objekata hidroenergetskog sustava Trebišnjica. Smanjenje srednjih protoka s  $Q = 34,2 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $Q = 23,9 \text{ m}^3/\text{s}$  posljedica je eliminiranja dotoka iz

posrednog sliva. Pritom su maksimalne protoke ostale nepromijenjene, dok su se male vode nešto povećale. Karakteristične vrijednosti današnjeg režima voda su:

$$Q_{sr} = 23,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100 \text{ max}} = 113,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100 \text{ min}} = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$



Slika 4. Karakteristični hidrogrami Omble - prirodno stanje [12]  
Figure 4 Ombla characteristic hydrograph – natural state [12]

## HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE / Hydrogeological characteristics

Na slivnom području izvora Ombla dominiraju vapnenci i dolomiti, trijaskne jurske i kredne starosti.

Glavnu i najviše rasprostranjenu litostratigrafsku jedinicu čine okršeni vapnenaci (vodopropusne stijene). Znatno manje zastupljeni su dolomiti (slabopropusne do vodonepropusne stijene), dok je najmanje zastupljen fliš (vodonepropusna barijera). Prema nižim horizontima površinska voda iz krških ranjaka i polja u širem prostoru Popovog polja otječe putem brojnih većih ili manjih ponora, čiji je najveći kapacitet preko  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Promjene razine podzemne vode su vrlo brze (do  $100 \text{ m}$  dnevno), a ukupne razlike podzemne vode iznose i do  $200 \text{ m}$ . Podzemni vodni tokovi od ponora prema izvoru dugački su i do  $30 \text{ km}$ . Brzine toka kroz kavernoze kanalske provodnike ovisno o hidrološkim prilikama variraju od  $2\text{-}50 \text{ cm/s}$  [2].

Svi osnovni geološki i hidrogeološki čimbenici koji su utjecali na formiranje ovog kraškog izvora prikazani su na priloženoj hidrogeološkoj karti (slika 5).

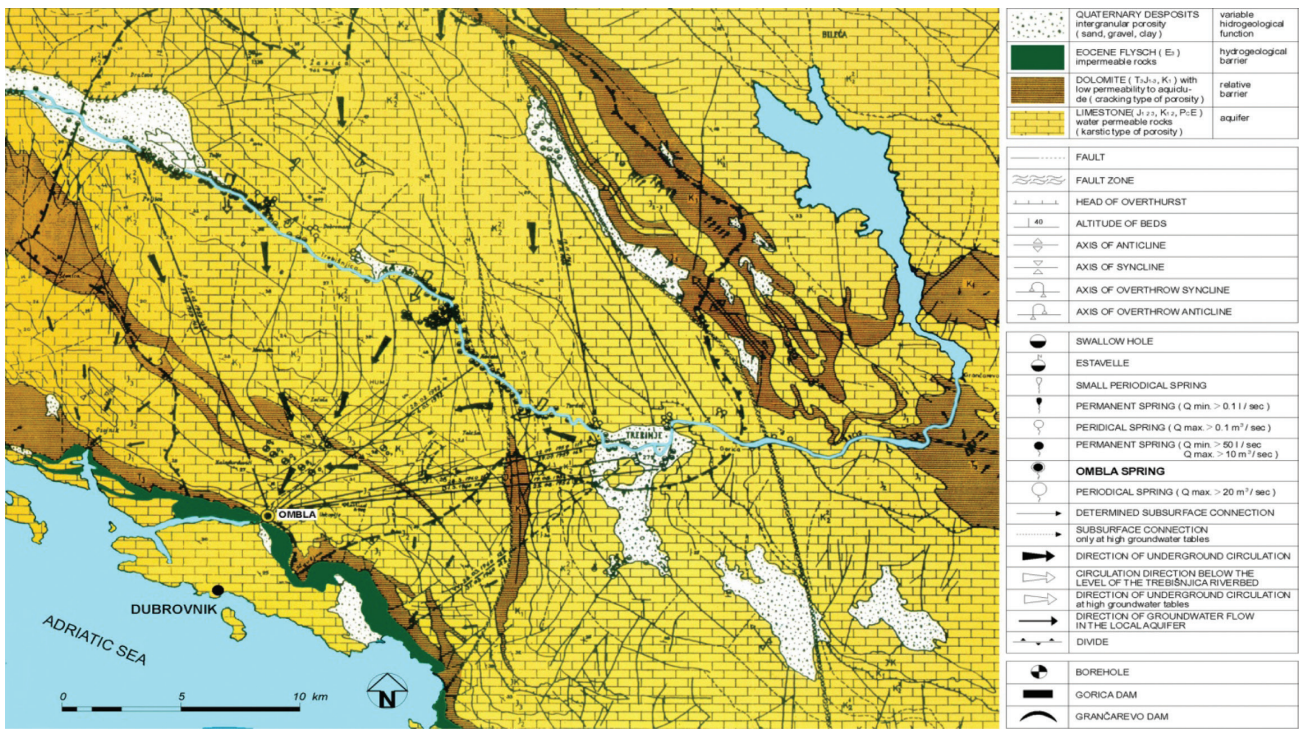
## ISTRAŽNI RADovi / Research works

Činjenica da potpuno sušno razdoblje u slivnom području izvora Ombla može potrajati i preko 90 dana, a da pritom izvor nikada nije presušio, ukazivala su da u zaleđu izvora postoji prirodna podzemna retencija.

Budući da je ocjena o mogućnosti formiranja podzemne akumulacije vezana na dobro poznavanje hidrogeoloških karakteristika terena, odnosno vododrživosti njezinih bokova, najveći dio istraživanja bio je usmjeren na što bolje upoznavanje ponašanja prirodne podzemne retencije koja se danas u prirodnim uvjetima povremeno formira u zaleđu izvora Ombla.

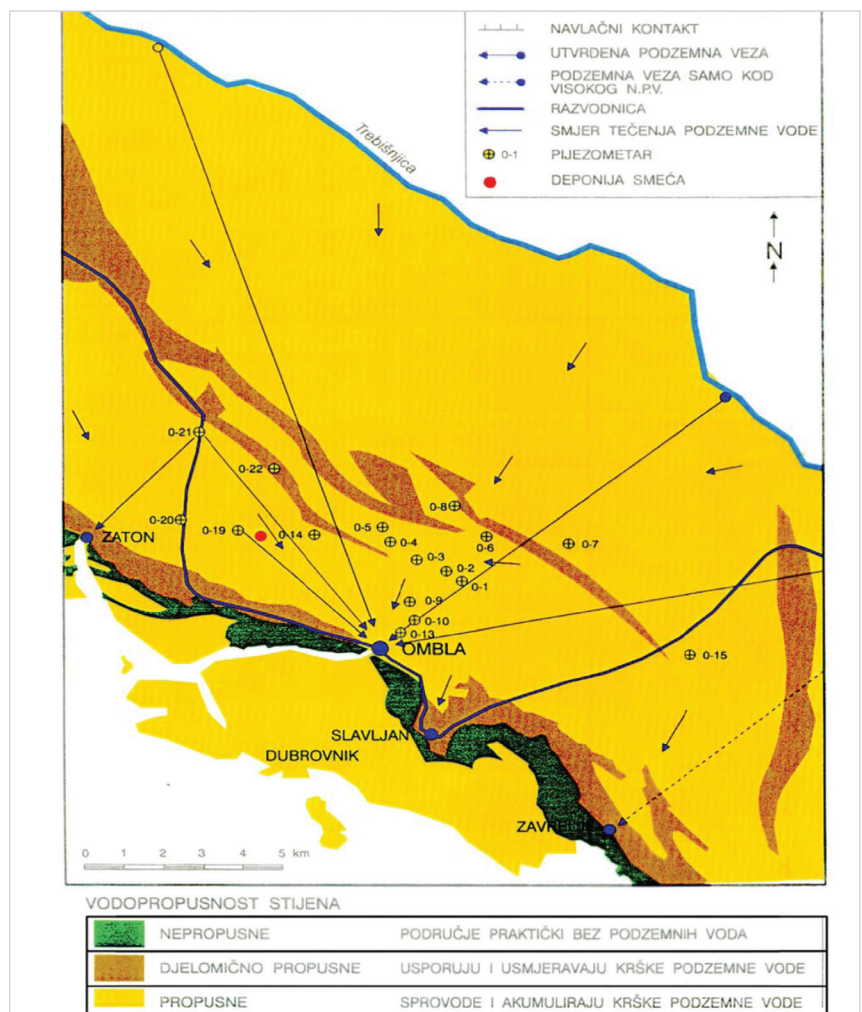
S tim ciljem izrađene su detaljne analize litostratigrafskih, hidrogeoloških [2] i neotektonskih značajki [4] u prostoru podzemne akumulacije Ombla i posebno na graničnim zonama prema slivnim površinama susjednih izvora Palata u Zatonu i Zavrelje u Mlinima. Izbušene su 22 piezometarske bušotine prosječne





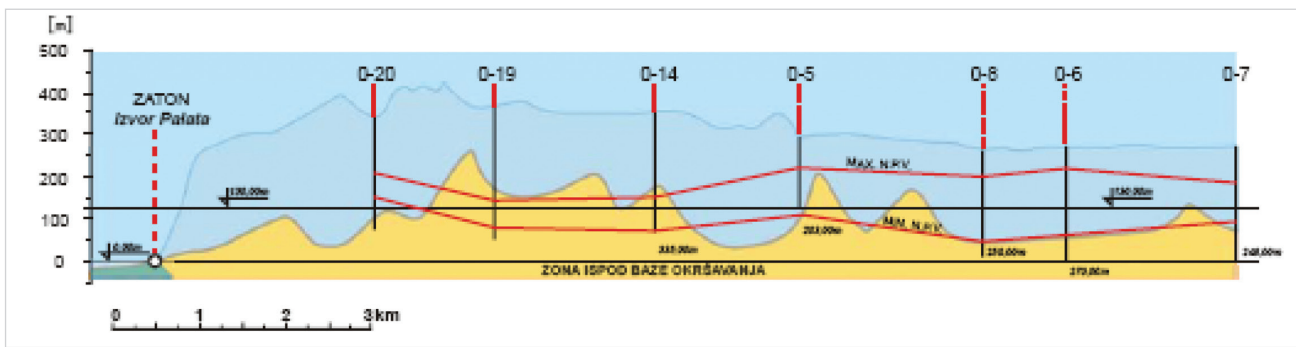
Slika 5. Hidrogeološka karta slivnog područja izvora Ombla [2]  
 Figure 5 Hydro-geological map of the Ombla spring drainage area [2]

dubine 350 m u karakterističnim zonama podzemne akumulacije (slika 6) [7], u kojima su kontinuirano bilježene satne vrijednosti razine vode. Na izvoru Ombla te na susjednim izvorima Palata i Zavrelje, gdje je postojala mogućnost da se u njihov sliv povremeno prelije dio voda iz sliva Omble, kontinuirano su registrirane satne vrijednosti veličine protoka [6]. Dnevne vrijednosti oborina prikupljane su na šest kišomjernih stanica raspoređenih na čitavom slivnom području. S ciljem što preciznijeg definiranja podzemne razvodnice slivova Ombla i Palata (Zaton) izvršeno je trasiranje podzemnih tokova iz više karakterističnih bušotina (Slika 6) [7],[9]. U zoni buduće podzemne brane izgrađen je istražni potkop dužine oko 1100 m te izbušeno 30 bušotina ukupne dužine 3.400 m, koje su raspoređene duž dna i oba boka pregradnog profila, s ciljem da se utvrde zone veće oštećenosti stijenske mase, te prostorno lociraju svi aktivni i fosilni špiljski kanali. Mjerenjem vodopropusnosti duž svih bušotina dobiveni su kvantitativni podaci o vodopropusnosti svih slojeva unutar istraživog profila.

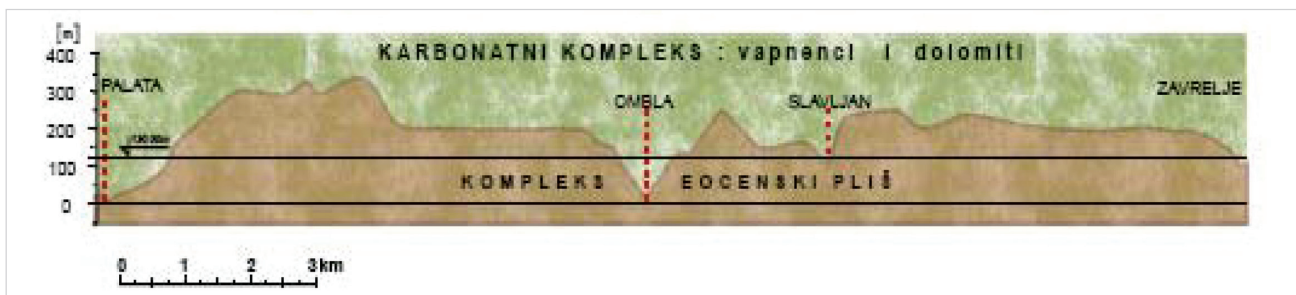


Slika 6. Dio sliva Omble, položaj piezometara, trasiranje podzemnih tokova[7]  
 Figure 6 Part of the Ombla drainage area, piezometer position, tracing underground flows [7]





Slika 7. Baza okršavanja, min i max razine podzemne vode [7]  
 Figure 7 Base level karstification, min and max underground water levels [7]



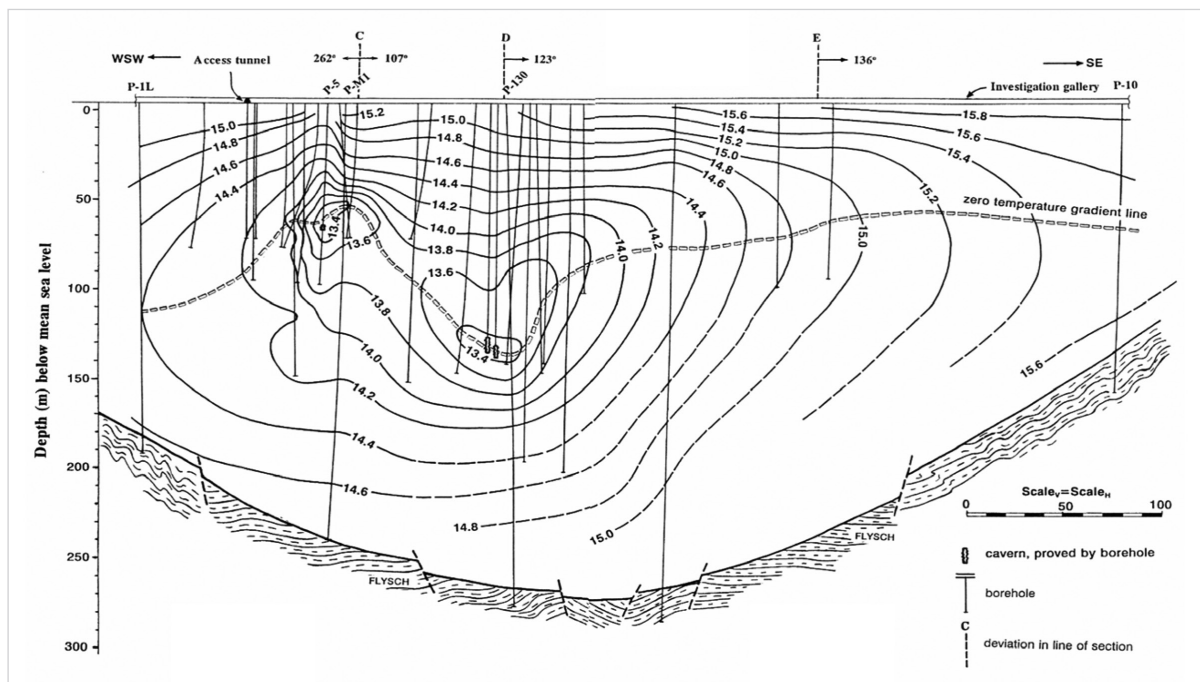
Slika 8. Granica karbonatnog-propusnog i flišnog-nepropusnog kompleksa na padinama bočno od izvora Ombla [7]  
 Figure 8 Level of carbon-permeable and flysch-impermeable complex at the side slopes of the Ombla spring [7]

Termometrijskim mjerenjima u bušotinama na pregradnom profilu utvrđen je položaj glavnog i sporednog špiljskog dovoda, a dobiveno temperaturno polje (slika 9) na najbolji način pokazuje do koje je dubine karbonatna stijenska masa zahvaćena

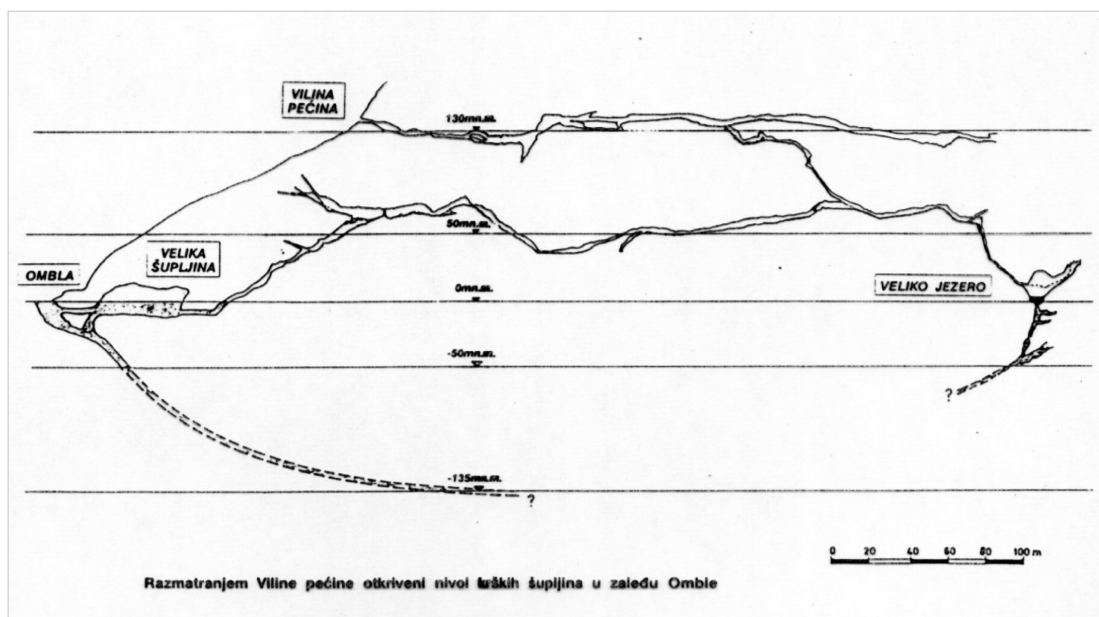
procesom okršavanja, odnosno do koje dubine je potrebno planirati injekcijsku zavjesu.

Detaljnim kartiranjem bušotina, koje su izrađene s površine terena s obje strane izvora, te istražnog potkopa i bušotina koje su iz njega izgrađene,

utvrđeni su strukturni odnosi u zoni budućih objekata i izdvojene su zone rasjeda. Bušenjem je potvrđeno da je debljina fliša u podini veća od 350 m, dok geofizička ispitivanja prikazuju da je debljina fliša u podini veća od 950 m.



Slika 9. Temperaturno polje duž pregradnog profila - položaj glavnog špiljskog dovoda  
 Figure 9 Temperature field along the dam profile – the position of the main water entrance in the cave



Slika 10. Špiljski sustav u zaleđu izvora Ombla – presjek  
 Figure 10 Caves in the Ombla spring hinterland – cross section

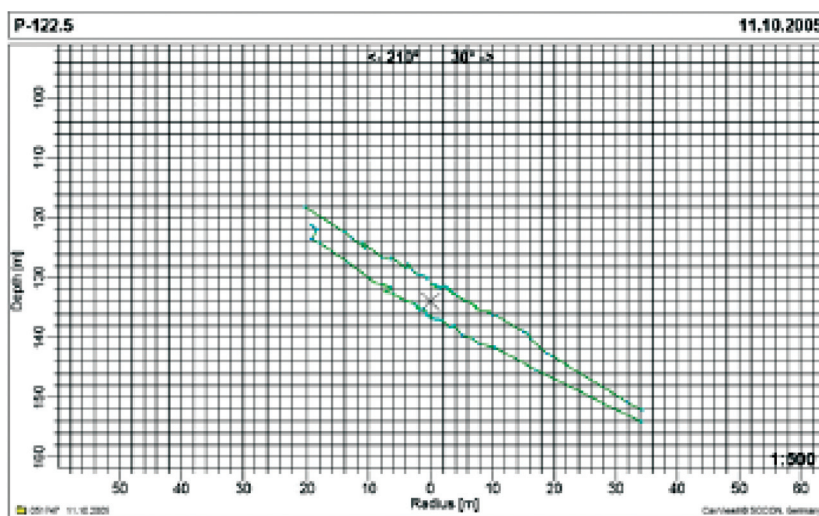
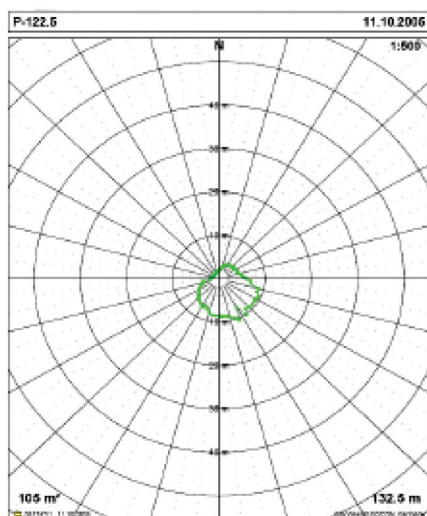
Špiljski sustav utvrđen je speleološkim istraživanjima (slika 10), a glavni dovodni kanal snimljen je ultrazvučnom metodom u profilu injekcijske zavjese i uzvodno u izvorskoj špilji. Oni predstavljaju prostor u kojem će se u neposrednom zaleđu izvora akumulirati podzemna voda. Snimak glavnog dovodnog kanala ultrazvučnim sonarom (slika 11) [15] posebno je važan rezultat istraživanja za koncipiranje projektnog rješenja za izradu betonskog čepa na dubini od 130 m, tehnički najzahtjevnijeg zahvata na podzemnoj brani.

### PODZEMNA AKUMULACIJA / Underground accumulation

Današnje i buduće promjene razine vode u podzemnoj akumulaciji i njezino pražnjenje u uvjetima stvaranja uspora na pregradnom profilu buduće injekcijske zavjese - podzemne brane originalno su i vrlo detaljno obrađeni u studiji "HE Ombla numerički model ponašanja podzemne akumulacije u prirodnim i projektom definiranim uvjetima" [12].

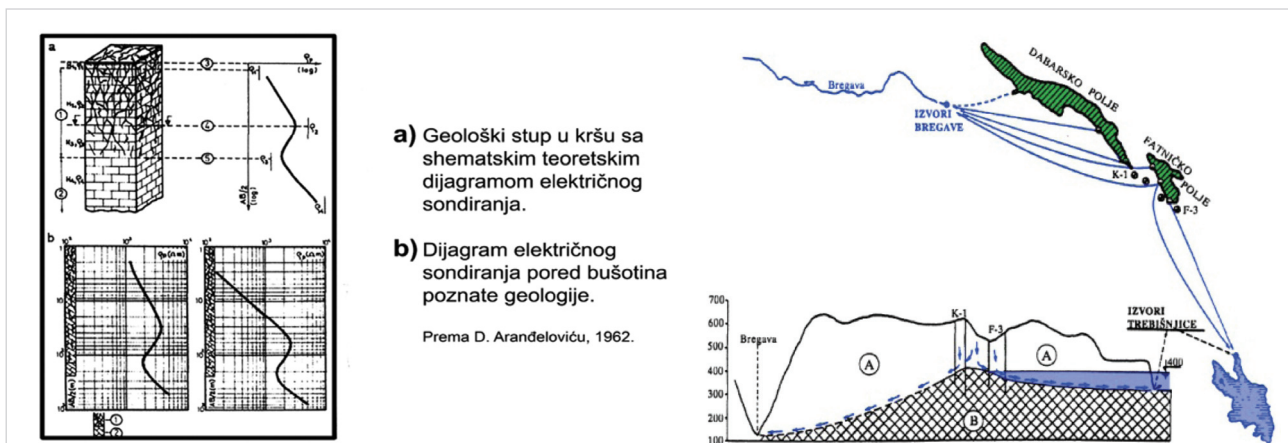
Osnovno istraživanje šireg područja prirodne podzemne retencije Ombla provedeno je primjenom geofizičke

metode geoelektričnog sondiranja. Ista metoda primijenjena je i pri istraživanju vododrživosti lijevog boka akumulacije Bileća. Poznato je da su izgradnjom brane Grančarevo izvori Trebišnjice potopljeni. (slika 12). Time je u zaleđu ovih velikih izvora formirana podzemna akumulacija visine oko 70 metara. Sličan primjer potapanja krških izvora ostvaren je izgradnjom brane Mratinje, odnosno formiranjem akumulacije HE Piva u Republici Crnoj Gori i akumulacije hidroelektrane Rama u Bosni i Hercegovini.

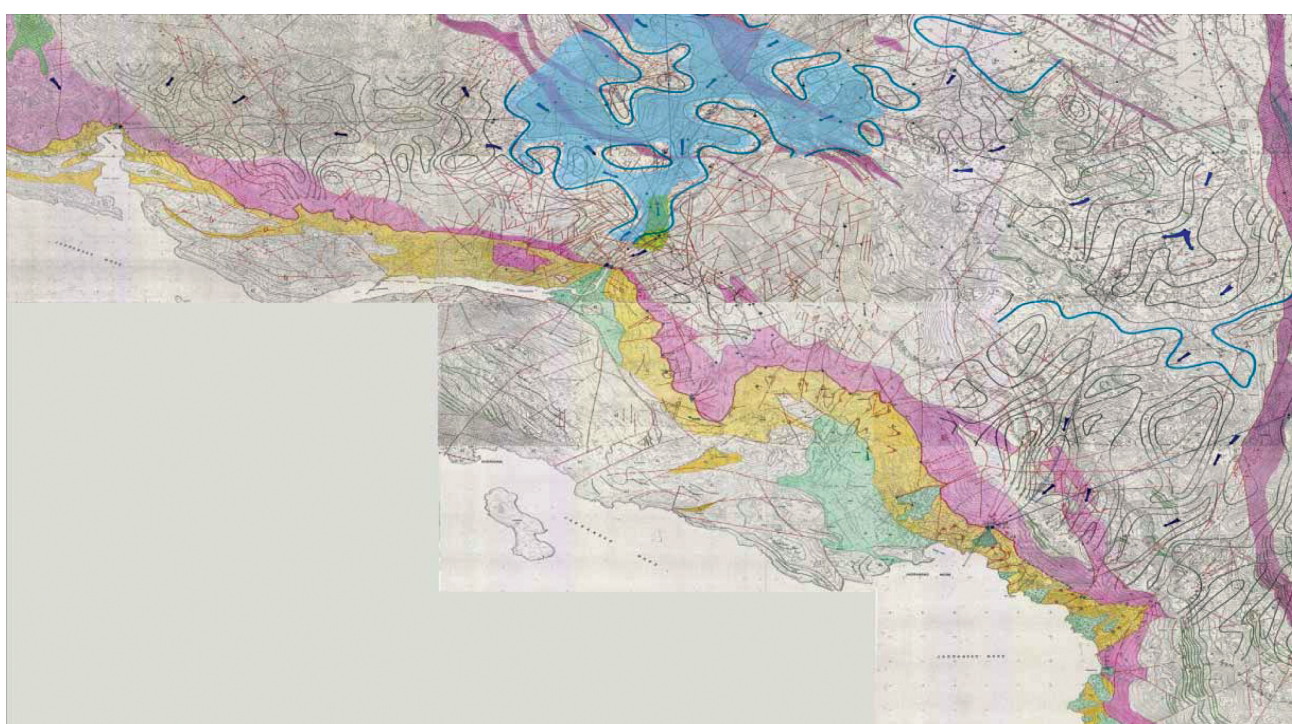


Slika 11. Horizontalni i uzdužni presjek glavnog špiljskog dovoda u zoni pregradnog profila [15]  
 Figure 11 Horizontal and longitudinal cross section of the cave main water entrance in the partition profile zone [15]





Slika 12. Geoelektrična ispitivanja- dubina okršenosti stijene Akumulacija Bileća- baza okršenosti - podzemna vododijelnica  
 Figure 12 Geoelectrical testing –depth of rock karstification Accumulation Bileća – the karstification level base – underground watershed



Slika 13. Baza okršenosti od Zaton do Zavrleja i prostor (plavo) buduće podzemne akumulacije  
 Figure 13 Karstification base level from Zaton to Zavrleja and the area (blue) of future underground accumulation

Iskustva koja su tada stečena bila su posebno važna za izradu programa istražnih radova HE Ombla. Analizom rezultata istraživanja strukturnih odnosa, tektonskih oštećenja u zoni dolomitne zapreke, geoelektričnog sondiranja u zoni akumulacije (slika 13), te posebno strujnih slika za male, srednje i velike vode (slika 15)[12], koje su izrađene na osnovu linije trajanja razine vode u piezometrima, stvoren je hidraulički model ponašanja podzemne akumulacije Ombla.

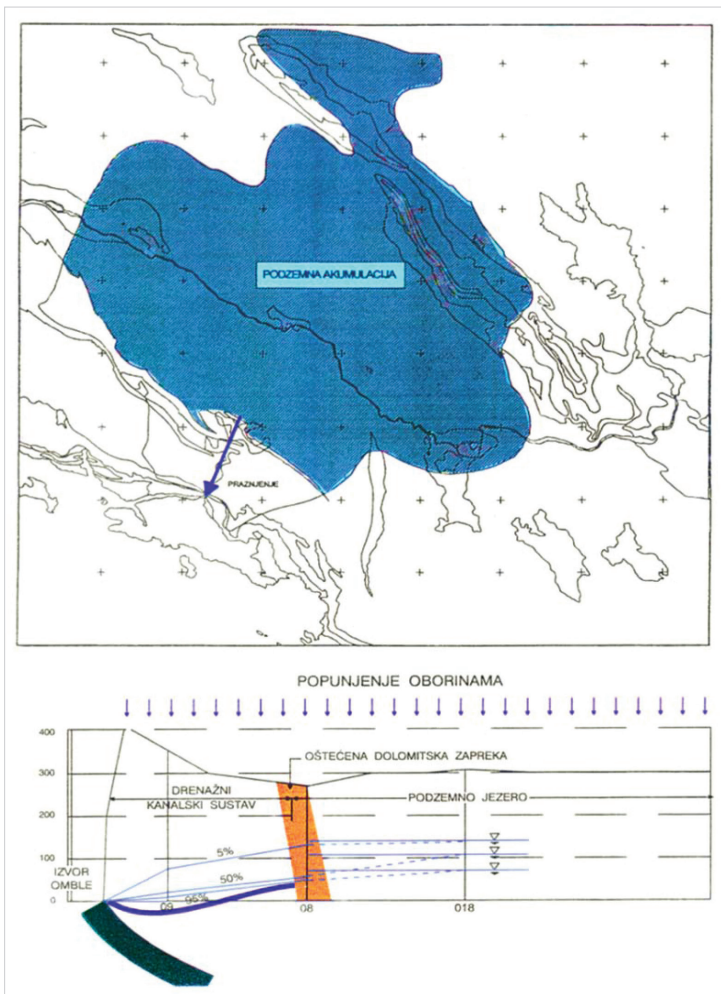
Osnovna hidraulička shema ponašanja podzemne akumulacije sastoji se od dva dijela (slika 14)[12].

Prvi dio koji je smješten uzvodno od dolomitne zapreke ponaša se kao akumulacija koja se prazni kroz tektonski oštećenu dolomitnu zapreku. Drugi dio koji je smješten nizvodno od dolomitne zapreke po površini je znatno manji. I ovaj prostor se puni vodom nakon svake kiše, ali zbog veličine glavnog drenažnog kanala i postojanja sporednog drenažnog sustava, on se vrlo brzo prazni. U glavnom i sporednom kanalskom drenažnom sustavu odvija se turbulentan tok, dok u zonama pukotina i manjih šupljina prevladava difuzni i laminaran tok.

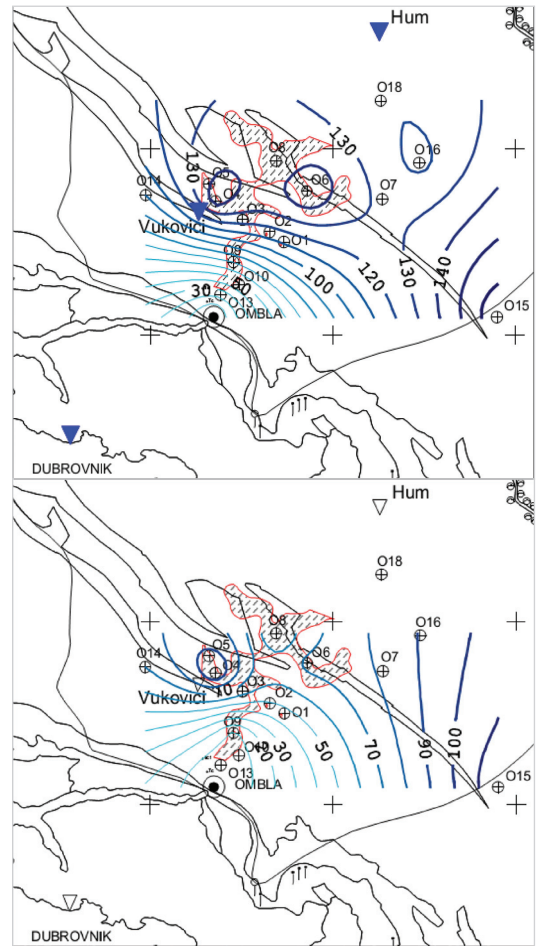
### PROJEKTO RJEŠENJE HE OMBLA / HEPP Ombla project

Projekt se temelji na ideji da se izgradnjom injekcijske zavjese u stijenskoj masi oko 200 m uzvodno od izvora Ombla stvori podzemna brana, koristeći pritom prirodni stijenski masiv kao tijelo brane, i tako osigura potrebni tlak za energetske korištenje [11], [14].

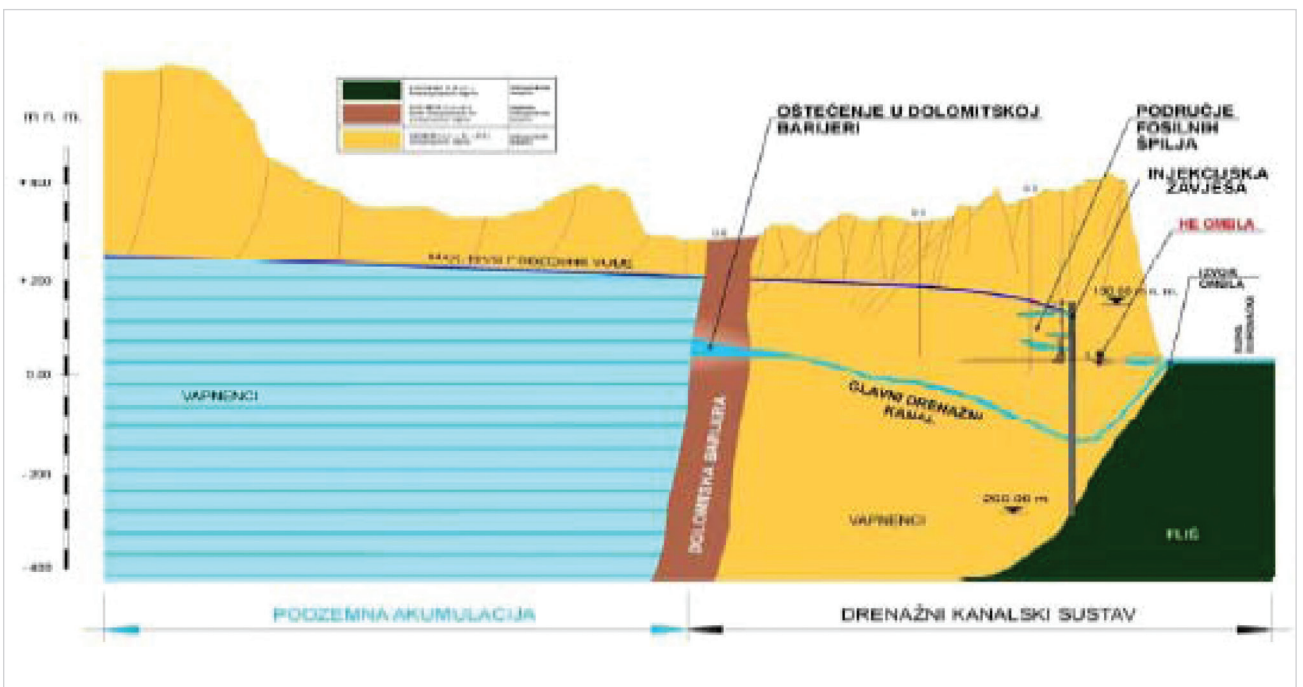
Područje izvora Omble karakterizira vrlo lijepi krajolik. Tu se nalaze i zaštićeni spomenici ladanjske arhitekture. Izgradnja klasične nasute brane s pripadajućim kompenzacijskim bazenom promijenila bi taj prirodni izgled (slika 18).



Slika 14. Osnovna shema podzemne retencije [12]  
 Figure 14 Underground retention scheme [12]

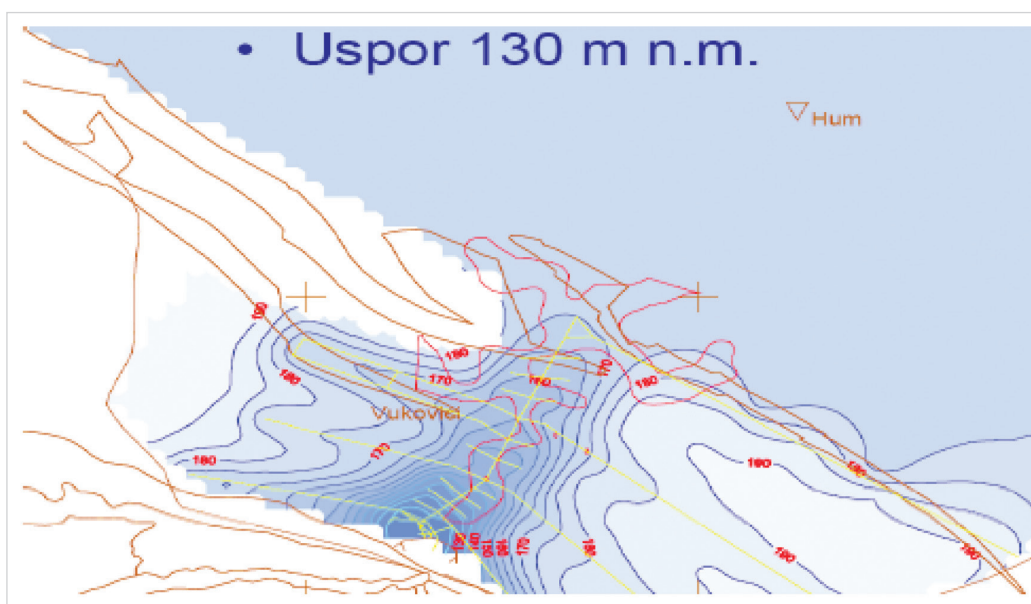


Slika 15. Prirodna nadmorska razina podzemnih voda u zaleđu izvora Ombla u vlažnom i sušnom dijelu godine [12]  
 Figure 15 Natural sea level of underground waters in the Ombla spring hinterland in dry and wet seasons [12]



Slika 16. Shematski prikaz izvora Ombla s podzemnom branom [14].  
 Figure 16 Schematic of the Ombla spring with underground dam [14]





Slika 17. Razina u akumulaciji uzvodno i nizvodno od dolomitne zapreke nakon stvaranja uspora i velike kiše [12],  
Figure 17 Water level in the accumulation upstream and downstream from dolomite partition after elevation and abundant precipitation [12]



Slika 18. Krajolik izvora Ombla s nasutom branom i zgradom elektrane [11]  
Figure 18 Landscape of the Ombla spring with dam and hydro-electric power plant

U najvećem dijelu godine u podzemnoj akumulaciji održavat će se kota uspora od 130 m.n.m. Tijekom razdoblja ekstremnih suša, kada minimalni protok padne ispod  $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ , maksimalnu kotu uspora trebat će postupno obarati do minimalne razine od oko 75 m.n.m.

Pri postavljanju tehničkog rješenja osnovni problem bio je kako izgraditi branu visine 130 m, a da se pritom ne naruši prirodni okoliš. Područje izvora Omble karakterizira vrlo lijep krajobraz. Zbog toga je odlučeno da se brana locira

u podzemlje na način da se izvedbom injekcijske zavjese u podzemlju

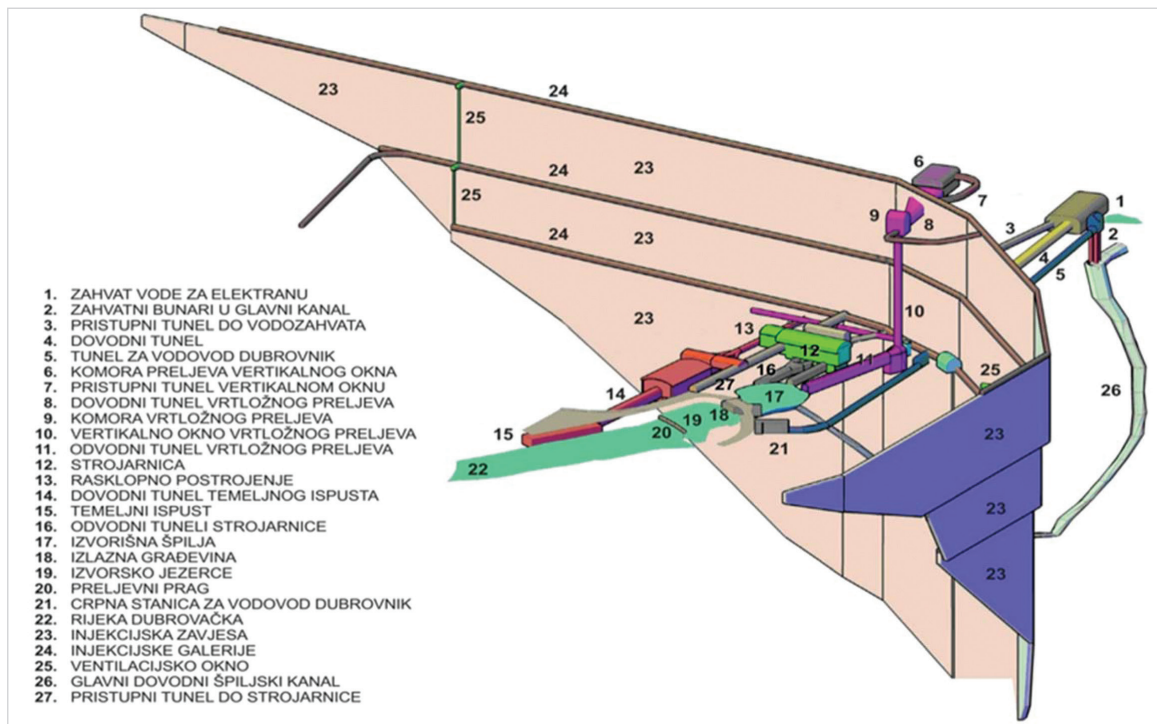
stvari nepropusna barijera, a da kao tijelo brane posluži prirodni brdski masiv (slika 17). Brana se bokovima oslanja na nepropusnu flišnu barijeru (slika 19) [11]

### ONEČIŠĆENJE NA POVRŠINI TERENA I NJIHOV UTJECAJ NA KVALITETU VODE / *Surface pollution and the impact on water quality*

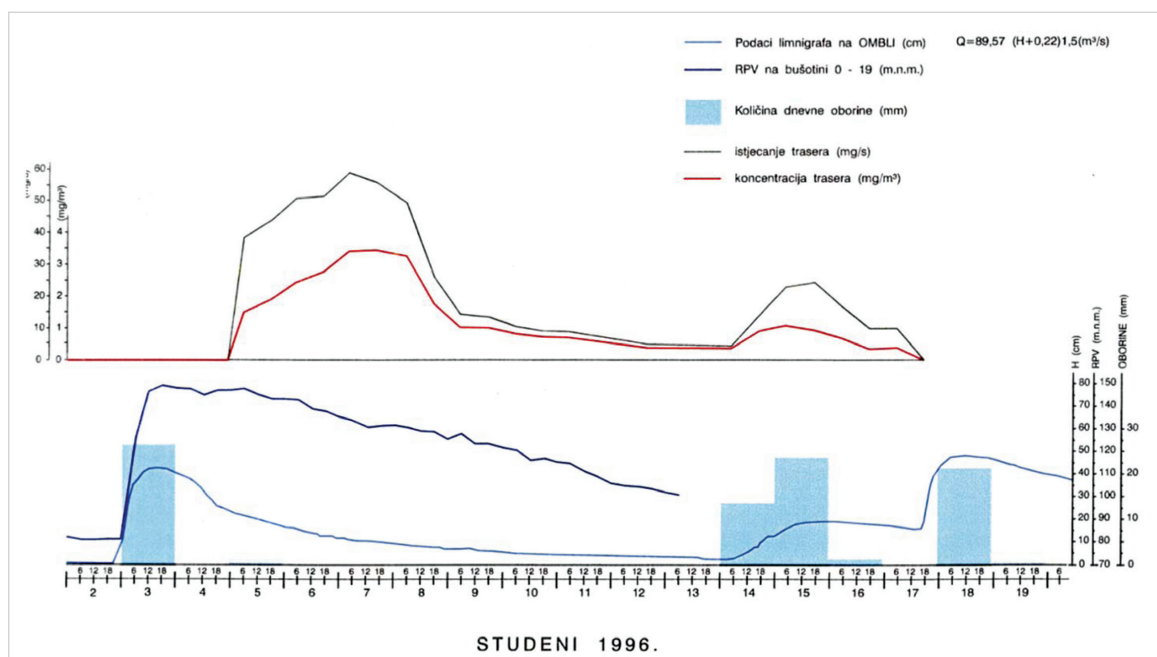
Rezultati istraživanja u zoni podzemne razvodnice između slivova Omble i

Palate (Zaton) pokazuju režim strujanja u zoni koja se povremeno puni vodom, a u kojoj je smješteno odlagalište otpada Dubrovačkog područja, a čitavo ovo područje nalazi se u drugoj zoni sanitarne zaštite izvora Ombla.

Sporedni drenažni kanali putem kojih se prazni prostor oko deponije komunalnog otpada, i turbulentno tečenje u njima, kako je pokazano u numeričkom modelu, čine problem povremenog onečišćenja vode izvora Ombla vrlo složenim, kako za kontinuirano praćenje, tako za upravljanje vodoopskrbnim sustavom.



Slika 19. Shematski prikaz podzemnih građevina HE Ombla [20]  
 Figure 19 Schematic of underground facilities of the HEPP Ombla [20]



Slika 20. Pronos trasera, oborine, protok, razina podzemne vode, bojenjem bušotine [9]  
 Figure 20 Tracing, precipitation, flow, underground water level by releasing dye in the borehole [9]

Rezultati pokusa utvrđivanja podzemnih veza iz bušotine O19 (slika 20) [9] jasno pokazuju svu složenost tečenja u kanalima ove zone. Trenutak nadolaska vode iz ovog područja vezan je za vremenski i prostorni raspored oborina. Naime, pojava trasera utvrđena je u dva kratka razdoblja, nakon određenog vremena od pojave kiše, ali s vrlo neujednačenim koncentracijama.

U drugom pokusu traser je ubačen

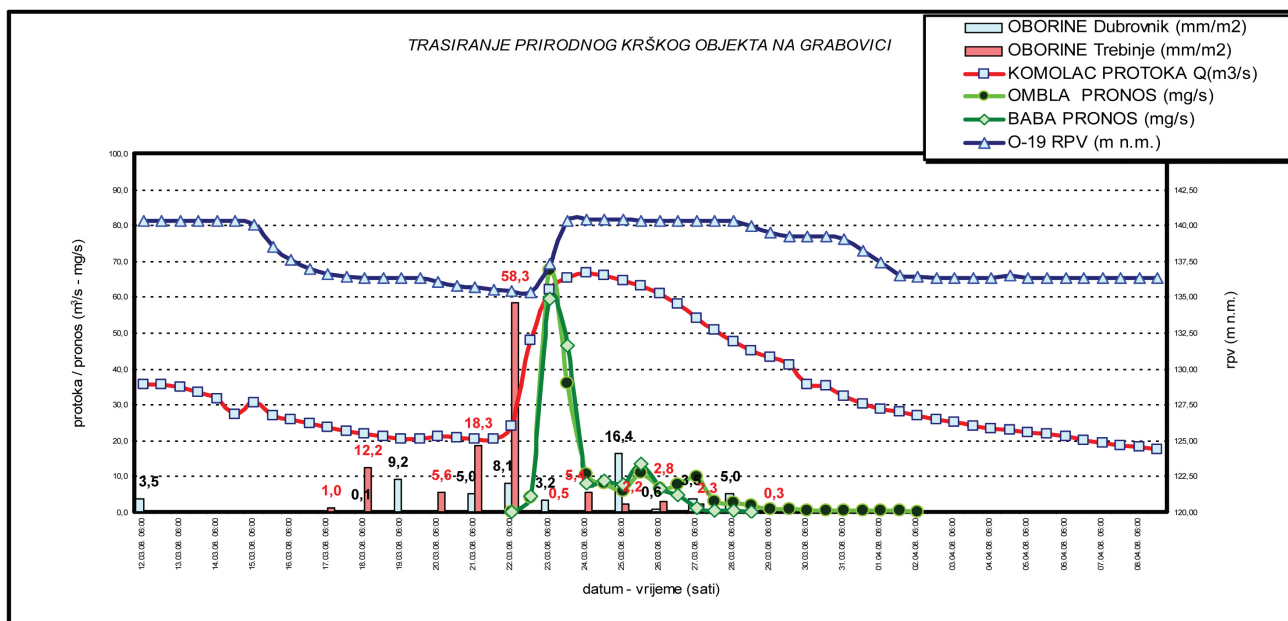
u škrip u neposrednoj blizini deponije Grabovica i rezultati se razlikuju prvenstveno u kraćem vremenu potrebnom za dolazak trasera do izvora (slika 21) [19].

Iz gornja dva grafička prikaza uočava se velika razlika dužine istjecanja trasera na izvoru, a to zorno pokazuje kada nastupa i koliko traje vrijeme kada treba analizirati kritične fizikalno kemijske i mikrobiološke karakteristike vode izvora Ombla, što se

danas još uvijek zanemaruje.

Detaljna ispitivanja kvalitete vode u nadolasku vodnog vala (mutnoće), koja su obavljena za vrijeme pojave velikog vodnog vala (studeni 1997) [13], potvrdila su ranije uočene pojave promjenljivosti kakvoće vode. Na osnovi mjerenja koja su vršena svaka tri sata tijekom jednog dana, utvrđene su vrlo velike razlike u koncentraciji pojedinih fizikalno-kemijskih i mikrobioloških





Slika 21. Pronos trasera, oborina, protok, razina podzemne vode, bojenjem krškog škripa [19].  
 Figure 21 Tracing, precipitation, flow, water level by releasing dye in the karst crevice [19]

parametara. Analize su rađene za originalne i dekantirane uzorke. Posebno su bili zanimljivi rezultati originalnih uzoraka gdje je koncentracija željeza bila 23-370, a aluminija 25-170 puta veća od rezultata u dekantiranim uzorcima (slika 22). (Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba 14/15.11.1997. god).

Posebno je važno istaknuti poboljšanje vodoopskrbe koju će projekt HE Ombla omogućiti. Naime, crpna stanica postojećeg vodovoda Dubrovnik smještena je uz Izvorsko jezerce. U okviru projekta Ombla zahvat za opskrbu vodom grada Dubrovnika predviđa se na tri mjesta: u prirodnoj špilji oko 500 m u podzemlju gdje se nalazi i zahvat za elektranu, u vertikalnom oknu na koti 55.0 m n.m., te u današnjem izvorskom jezercu, ukupnog kapaciteta 1500 l/s.

Izdizanjem vodozahvata na gore navedenu visinu u njegovu zaleđu se aktivira prirodni taložnik velikog volumena, kroz koji će voda protjecati značajno smanjenim brzinama, što će u nižim dijelovima ovoga prostora omogućiti taloženje lebdećih čestica i s time povezano onečišćenje vode. Zbog toga će se na mjestu novog zahvata na 55 m n.m. uvijek uzimati bistra voda, iako će pri nadolasku velikih voda, u današnjem izvoru na razini mora, ona i dalje biti zamućena.

Dobar primjer funkcioniranja ovakvoga modela prirodnog taložnika susrećemo u mnogim izvorima u kršu Dinarida, koji su smješteni znatno iznad razine mora, i time u zaleđu imaju velike

| OZNAKA UZORKA                       | Anal. broj: | Željezo, Fe µg/l  |                    | Aluminij, Al µg/l |                    |
|-------------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|                                     |             | originalni uzorci | dekantirani uzorci | originalni uzorci | dekantirani uzorci |
| Izvor Omble<br>14.11.97.<br>10.00 h | 6819        | 2770              | 7,55               | 3970              | 23,4               |
| Izvor Omble<br>14.11.97.<br>13.00 h | 6820        | 1713              | 9,13               | 2510              | 15,4               |
| Izvor Omble<br>14.11.97.<br>16.00 h | 6821        | 878               | 53,3               | 1310              | 14,6               |
| Izvor Omble<br>14.11.97.<br>19.00 h | 6822        | 665               | 35,2               | 700               | 13,8               |
| Izvor Omble<br>14.11.97.<br>22.00 h | 6823        | 409               | 16,4               | 565               | 20,8               |
| Izvor Omble<br>15.11.97.<br>01.00 h | 6824        | 290               | 8,21               | 338               | 12,3               |
| Izvor Omble<br>15.11.97.<br>04.00 h | 6825        | 281               | 10,9               | 302               | 14,3               |
| Izvor Omble<br>15.11.97.<br>07.00 h | 6826        | 213               | 4,0                | 294               | 11,9               |

Slika 22. Sadržaj željeza i aluminija za vrijeme velikih voda i povećane mutnoće vode [13]  
 Figure 22 Content of iron and aluminium in high precipitation and increased turbidity [13]



Slika 23. Bistra voda slapova i zamućena voda Omble  
 Figure 23 Clear waterfalls and turbid water of the river Ombla

taložnike. U okolici Dubrovnika dobar primjer je Konavoska Ljuta – Konavoski dvori, čija se voda skoro nikad ne zamuti, ali i voda slapova niz karbonatni strmac iznad Omble nakon ekstremnih kiša u njezinom neposrednom zaleđu (slika 23).

Voda će zadržati današnje nepromijenjene fizikalno-kemijske i mikrobiološke karakteristike i dovesti će se do gradskih rezervoara u najvećem dijelu godine bez upotrebe crpki, što će znatno smanjiti troškove pogona, a time i cijenu vode.

Alternativno rješenje koje predviđa izgradnju filter postrojenja, zbog troškova tehnološkog postupka, ukupne troškove pogona, a time i današnju cijenu vode znatno će povećati. Osim toga, zbog nedostatka iskustva pri primjeni membrana za ultrafiltraciju za vode onečišćene visokoplastičnim glinama, kakve susrećemo u zaleđu Omble, nije poznato hoće li se za ispiranje filtera morati primijeniti kemijski potpomognuti postupak.

### PREKOGRANIČNO ZAGAĐENJE PRIOBALNOG IZVORA U KRŠU / Cross-border pollution of coastal karst spring

Koliki utjecaj na kvalitetu vode u krškom terenu može imati prekogranično zagađenje najbolje pokazuje primjer izvora Timava, koji je bio glavni izvor za vodoopskrbu grada Trsta, a koji je zbog zagađenja iz urbaniziranog područja putem površinskih vodotoka iz susjedne zemlje u zaleđu, morao biti napušten (slika 24) [21].

### IZGRAĐENE PODZEMNE BRANE U KRŠU DINARIDA I U SVIJETU / Underground dams built in karst in the dinarides and worldwide

Primjeri uspješno izvedenih injekcijskih zavjesa u temeljima nadzemnih brana u kršu Dinarida, pred više od 50 godina (Peruća, Grančarevo i ostale) jasno pokazuju da tehnologija izrade injekcijskih zavjesa pruža vrlo veliku sigurnost za sprječavanje gubljenja vode, te da su izgrađene injekcijske zavjese u našim krškim uvjetima, stabilne i dugovječne građevine (slike 25, 26 i 27)[17].

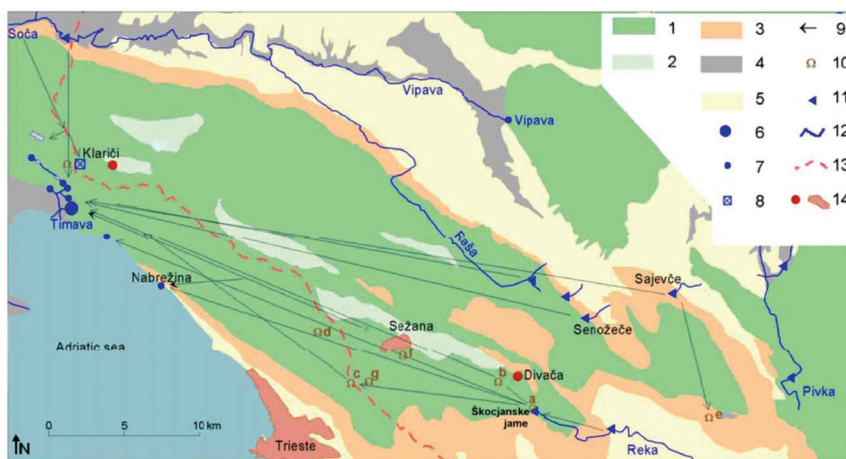
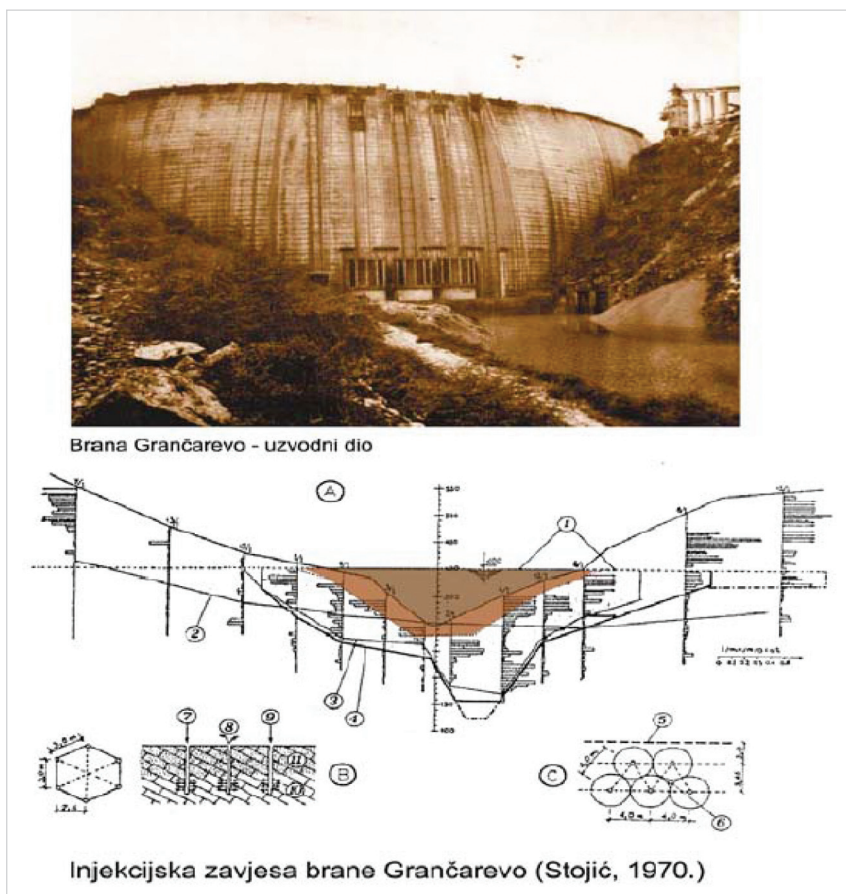


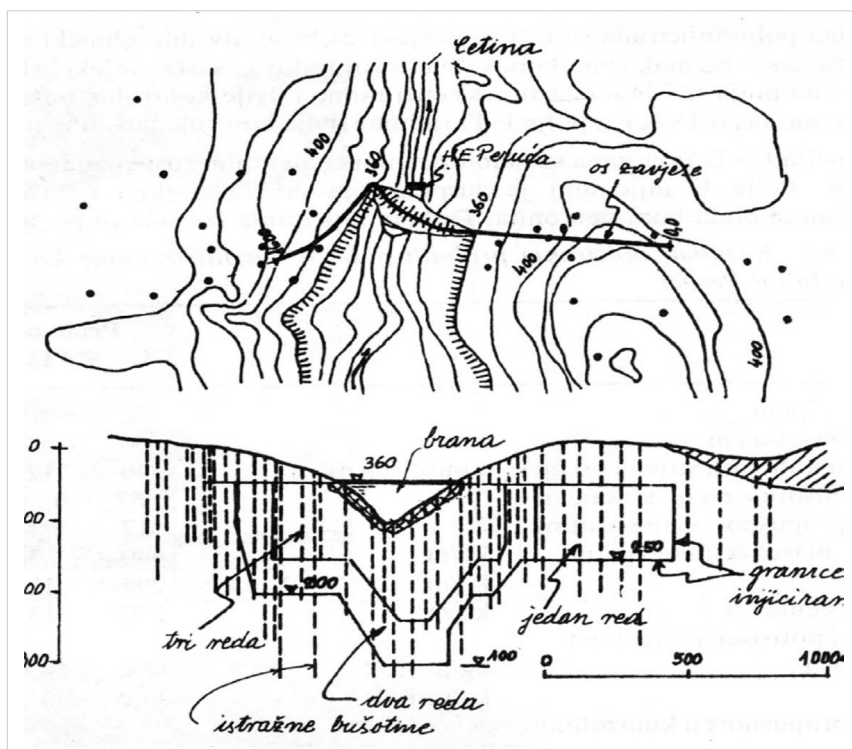
Figure 15: Hydrogeological map of the Kras area (Legend: 1. Cretaceous limestone, 2. Cretaceous dolomite, 3. Palaeocene limestone, 4. Porous aquifer, 5. Very low permeable Eocene flysch, 6. Timava spring, 7. Spring, 8. Pumping station, 9. Underground water connection, proved by tracer test, 10. Karst cave (a. Škocjanske jame, b. Kačna jama, c. Labodnica, d. Lazzaro Jerko, e. Gabranca, f. Jama 1 v Kanjaducah, g. Brezno v Stršinkni dolini,), 11. Sinking stream, 12. Surface flow, 13. State border, 14. Settlement).

Slika 24. Hidrogeološka karta priobalnog i prekograničnog zaleđa grada Trsta [21].  
Figure 24 Hydro-geological map of the coastal and cross-border hinterland of Trieste [21]



Slika 25. Nadzemna brana Grančarevo i podzemna brana (injekcijska zavjesa) u njezinim temeljima  
Figure 25 Aboveground dam Grančarevo and underground dam (grouting curtain) in its foundations





Slika 26. Podzemna brana u temeljima nadzemne brane Peruča [17]  
Figure 26 Underground dam in the foundations of the aboveground dam Peruča [17]

Tablica 6.6. Injekcijska zavjesa nekih brana u Jugoslaviji

| Brana, visina m          | Tip | Geološki sastav stijene   | Maks. dubina | Injicirano m/m <sup>2</sup> |      | Masa         | Potrošak mase kg/m <sup>2</sup> |
|--------------------------|-----|---------------------------|--------------|-----------------------------|------|--------------|---------------------------------|
|                          |     |                           |              | 5                           | 6    |              |                                 |
| 1                        | 2   | 3                         | 4            | 5                           | 6    | 7            | 8                               |
| 1. Brane na kršu         |     |                           |              |                             |      |              |                                 |
| Liverovići, 49           | BL  | vapnenac i dolomit        | 140          | 29600                       | 0.66 | cbp          | 80                              |
| Peruća, 65, desna lijeva | K   | kredni vapnenac           | 200          | 68000                       | 0.58 | cbg 50/25/25 | 176                             |
|                          |     |                           |              | 72700                       | 0.58 | cg 25/75     | 248                             |
| prosječno                |     |                           |              | 140700                      | 0.58 |              | 210                             |
| Krupac, krila, zone      | 1   | vapnenac i dolomit        | 42           | 4300                        | 0.42 | cgp          | 528                             |
|                          | 2   |                           |              |                             |      |              |                                 |
|                          | 3   |                           | 30           | 2400                        | 0.57 | 23/40/37     | 320                             |
| Široka ulica (bočna)     | –   | vapnenac                  | 75           | 18200                       | 0.35 | cg 33/67     | 202                             |
| Gorica, 30               | BG  | vapnenac                  | 70           | 8700                        | 0.46 | cg 40/60     | 122                             |
| Grančarevo, 123          | BL  | vapnenac, Jura            | 195          | 17700                       | 0.28 | cg 33/67     | 49                              |
| Sklope, 78               | K   | vapnenac i vap. breča     | 120          | 55700                       | 0.59 | cg 60/40     | 290                             |
| Rama, 100                | K   | vapnenac i dolomit        | 200          | 32600                       | 0.38 | cb 95/5      | 42                              |
| Špilje, 110              | K   | vapnenac i škriljavci     | 145          | 90500                       | 0.48 | c            | 277                             |
| Letaj, 33                | BL  | vapnenac                  | 20           | 950                         | 0.60 | c            | 260*                            |
| Podgradina, 125          | K   | eocenski vapnenac i lapor | 65           | 7500                        | 0.15 | c/g 30/70    | 10                              |
| Kazaginac, 20            | K   | kredni vapnenac           | 126          | 74800                       | 0.31 | „            | 48                              |
| Kazaginac, bok           | „   | „                         | 80           | 14800                       | 0.34 | „            | 304                             |
| Metiljevica              | –   | „                         | 67           | 7100                        | 0.27 | „            | 123                             |
| Poždrikoza               | –   | „                         | –            | 28700                       | 0.51 | „            | 125                             |
| Sinjski ponor            | „   | „                         | –            | 31600                       | 0.25 | „            | 139                             |
| Župica, 23               | K   | vapnenac                  | 185          | 41720                       | 0.34 | c            | 34                              |
| Bokanjčko blato          | –   | „                         | 32           | 11000                       | 0.22 | c            | 90                              |
| Martinje, 220            | BL  | vapnenac                  | 278          |                             |      | c            |                                 |

Slika 27. Injekcijske zavjese - podzemne brane izgrađene u kršu Dinarida [17]  
Figure 27 Grouting curtains – underground dams built in karst in the Dinarides [17]

Potrebno je istaknuti da se davne 1897. godine nizvodno od izvorišta Ombla izgradila brana (slika 28), čime je nastalo Izvorišno jezerce u današnjem obliku, a ona je poslužila da se voda usmjeri na mlin sagrađen u isto vrijeme. Izgradnja ove brane omogućila je da se izvorom Ombla može početi koristiti za vodoopskrbu, jer je prije njezine izgradnje izvor bio klasični podzemski izvor, a nakon izgradnje izvorska voda odvojila se od morske, i moglo se prići izgradnji prve crpne stanice i dopremi vode do tadašnjih vodosprega u Gradu.

Za potrebe izgradnje HE Dubrovnik (monitoring količina vode), zbog dotrajalosti drvene konstrukcije (tada stare već više od pola stoljeća) preljavnog praga, na izvoru Omble 1965. godine obavljena je njena rekonstrukcija, kojom je izgrađen današnji betonski prag.

## ZAKLJUČAK / Conclusion

Projekt hidroenergetskog postrojenja HE Ombla predstavlja potpuno novi pristup korištenju vodnim snagama za proizvodnju električne energije. Takav pristup na lokaciji izvora Ombla moguć je jer tu postoje odgovarajući hidrogeološki uvjeti koji su karakteristični za područja u kršu. Smještajem cijelog objekta u podzemlje smanjuju se troškovi građenja i, što je posebno važno, izbjegava se narušavanje prirodnog okoliša. Na taj način moguće je tako složene objekte, kao što su hidroelektrane, graditi u ekološki osjetljivim predjelima.

Kao što je krajem 19. stoljeća bilo potrebno izgraditi branu da bi se vodom iz Omble moglo koristiti za vodoopskrbu, tako je danas potrebno izgraditi mnogo veću branu da bi se pitka voda zaštitila od svakog današnjeg i budućeg onečišćenja i trajnog zagađenja koje urbanizacijom neposrednog zaleđa u susjednoj državi sigurno slijedi, a kako se već dogodilo u jednom Jadranskom gradu smještenom u sličnim geopolitičkim uvjetima.

Dosad izgrađene podzemne brane s pripadajućim podzemnim akumulacijama u svijetu (gdje je većina njih izgrađena u krškom terenu) najbolje su prikazane u stručnom radu koji je dan u prilogu i gdje je spomenuta i podzemna brana Ombla.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Fukuzato\\_Underground\\_Dam](http://en.wikipedia.org/wiki/Fukuzato_Underground_Dam) rad 45-01-08.pdf[18]

U priloženoj tablici istaknute su izgrađene podzemne brane (do 2003 g.) na Japanskim otocima oko Okinawe



Slika 28. Suhi preljev na izvoru Omble pri kraju njegove izgradnje krajem 19. stoljeća (preuzeto s [www.kolekcionar.eu](http://www.kolekcionar.eu) i izrezano).

Figure 28 Dry overflow at the Ombla spring before completion of works – end of 19th century (retrieved from [www.kilekcionar.eu](http://www.kilekcionar.eu) and cropped)

| Podzemne brane u vapnenačkim stijenama izgrađene u Japanu |                         |           |                |            |            |  |                              |
|---|-------------------------|-----------|----------------|------------|------------|--|------------------------------|
| Ime podzemne brane  | Lokacija podzemne brane |           | Godina gradnje | Visina (m) | Dužina (m) | Veličina akumulacije (m <sup>3</sup> ) | Protok (m <sup>3</sup> /dan) |
| Minafuku  | Okinava                 | Gusukube  | 1979           | 16,5       | 500        | 720000                                 | 7000                         |
| Sunagawa  | Okinava                 | Gusukube  | 1987-1994      | 50         | 1677       | 9500000                                | 24000                        |
| Fukusako  | Okinava                 | Gusukube  | 1993-2000      | 27         | 1790       | 10500000                               | 30000                        |
| Kikai   | Kagoshima               | Kikai     | 1993-2002      | 36         | 2190       | 1681000                                |                              |
| Komesu  | Okinava                 | Itoman    | 1993-2003      | 80         | 2489       | 3457000                                | 89000                        |
| Giiza   | Okinava                 | Gushikami | 1998-2003      | 51         | 955        | 389000                                 | 1200                         |
| Kanjin  | Okinava                 | Gushikava | 1996-2003      | 52         | 1088       | 156000                                 |                              |

Slika 29. Podzemne brane i akumulacije u kršu na Japanskim otocima [18]

Figure 29 Underground karst dams and accumulations on the Japanese islands [18]

(slika 29). Navedene podzemne brane s pripadajućim akumulacijama izgrađene su za potrebe vodoopskrbe i navodnjavanja.

Izgrađene podzemne brane s pripadajućim podzemnim akumulacijama u krškom terenu Japanskih otoka, jasno pokazuju svjetski trend u izgradnji brana i novi način upravljanja vodnim resursima, odnosno novi način osiguranja potrebnih količina vode, koje u svijetu sve više

nedostaje. U tom smislu, projekt HE Ombla slijedi taj trend kao prvi takav projekt na području Mediteranskog krša, najviše zastupljenog u Dinaridima. Također, treba napomenuti da Ombla nije jedini lokalitet na području dinarskog krša u Hrvatskoj na kojem se može ostvariti korištenje vodom iz podzemne akumulacije, što upozorava na veliki, još neiskorišteni potencijal korištenja podzemnim vodama.

## LITERATURA / References

- [1] Energija iz kraškog podzemlja, HE Dubrovnik 1989. g.
- [2] HE Ombla Idejni projekt – Geološki elaborat, EnergoProjekt Beograd 1989 g
- [3] Analiza ponašanja podzemne akumulacije Ombla u prirodnim uvjetima, T. Paviša 1993. g.
- [4] HE Ombla strukturalna istraživanja, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Prof.E.Prelgović 1994.g.
- [5] Položaj glavnog špiljskog kanala i određivanje protoka, HEP Dubrovnik 1994.g. T. Paviša
- [6] Analiza ponašanja podzemne akumulacije u razvodnici prema Palati, 1995.g. T. Paviša
- [7] HE Ombla ocjena maksimalne kote uspora podzemne akumulacije, Institut za geološka istraživanja Zagreb 1995.g. B. Biondić
- [8] HE Ombla lokacija pregrade i objekata - strukturalni model, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Prof. E. Prelgović 1995.g.
- [9] HE Ombla izvještaj o provedenom trasiranju tokova podzemne vode kroz bušotinu O19, Institut za geološka istraživanja Zagreb 1996. g. A. Renić
- [10] HE Ombla strukturalno-geološko kartiranje duž pristupnog tunela i galerije, Hidroinženjering Zagreb, Prof. E. Prelgović 1996. g.
- [11] HE Ombla Idejni projekt Otješnjenje pregradnog mjesta, Elektroprojekt Zagreb 1996. g. Z: Sever
- [12] HE Ombla Numerički model ponašanja podzemne akumulacije u prirodnim i projektom definiranim uvjetima, Aquarius engineering Split, Prof. Dr. V. Jović 1997.g.
- [13] Izvješće o ispitivanju vode Omble, Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba 1997. g.
- [14] HE Ombla Idejni projekt, Elektroprojekt Zagreb, Z: Sever, 1998. g.
- [15] Snimak glavnog špiljskog dovoda, SOCON Sonar Control Kavernenvermessung, Germany, 2005 g.
- [16] HE Ombla Rezultati modelskih ispitivanja organa za evakuaciju velikih voda IGH Zagreb. Prof. V. Andročec; Dr. M. Babić. 2007.g.
- [17] Injiciranje tla Prof. dr. E. Nonveiller, Školska knjiga Zagreb 1989 g
- [18] Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams, Satoshi Ishida, Takeo Tsuchihara, Shuhei Yoshimoto, Masayunki Imaizumi Japan 2011 g..
- [19] Geološki i hidrogeološki istražni radovi na širem području „Grabovica“, Geoaqua Zagreb 2008
- [20] HE Ombla Glavni projekt, Elektroprojekt Zagreb, Z: Sever 2011. g
- [21] Transboundary karst aquifer of kras (Slovenian-Italy transboundary area) Postojna 2007, Metka Petrić, Borut Perić, Franci Grabovšek, Nataša Ravbar, Janez Turk