

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 19	str. 1- 10	Zagreb, 2007.
----------------------------------	---------	------------	---------------

UDK 551.49:628.1  
UDC 551.49:628.1

*Originalni znanstveni rad*  
*Original scientific paper*

Jezik/Language: *Hrvatski/Croatian*

## UTJECAJ STRUKTURE LEGRADSKOG PRAGA NA HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE U PODRUČJU KOPRIVNICE

### INFLUENCE OF LEGRAD THRESHOLD STRUCTURE ON HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS IN KOPRIVNICA AREA

ŽELJKO DUIĆ<sup>1</sup>, KOSTA URUMOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb*

<sup>2</sup>*CROSCO, Ulica grada Vukovara 18, Zagreb*

**Ključne riječi:** geološka struktura, podzemna voda, kvartarni vodonosnik, uvjeti taloženja, kakvoća vode, Koprivnica, Hrvatska

**Key words:** geological structures, groundwater, quaternary aquifer, sedimentation conditions, water quality, Koprivnica, Croatia

#### Sažetak

Područje Koprivničke Podravine u strukturnom pogledu pripada strukturnoj jedinici Dravskog bazena, a posebnu ulogu u tom području ima struktura Legradskog praga. Struktura Legradskog praga oblikovana je uz rasjed Ludbreg-Nagykanizsa koji, uz Dravski rasjed kao dominantu strukturu u stvaranju Dravskog bazena, predstavlja najvažniju strukturu u promatranom području. Posebice se to očituje kada promatramo hidrogeološke značajke dvaju najvažnijih crpilišta na području Koprivnice, Ivanščak i Lipovec, formiranih u kvartarnim naslagama. Naime, pokazalo se da ta prostorno vrlo bliska crpilišta upravo zbog utjecaja navedenih struktura imaju vrlo različitu geometriju vodonosnika i hidrauličke značajke. Pored toga intenzivni pokreti uz rubne dijelove struktura imali su presudan utjecaj na uvjete taloženja vodonosnih naslaga, a time i na kakvoću podzemne vode sadržane u njima.

#### Abstract

Koprivnička Podravina area in structural sense belongs to structural unit of Drava basin. Special role in research area has structure of Legrad which is formed along Ludbreg-Nagykanizsa fault, and together with Drava fault as dominant structure in formation of Drava basin, represent most important structure in area. This is specially important when observing hydraulic characteristics of main well field in Koprivnica area-Ivanščak and Lipovec. Both of them are formed in quaternary deposits, but have very different hydraulic and spatial characteristics. Intensive movement along structures has also dominant influence on sedimentation conditions, and consequently to groundwater quality.

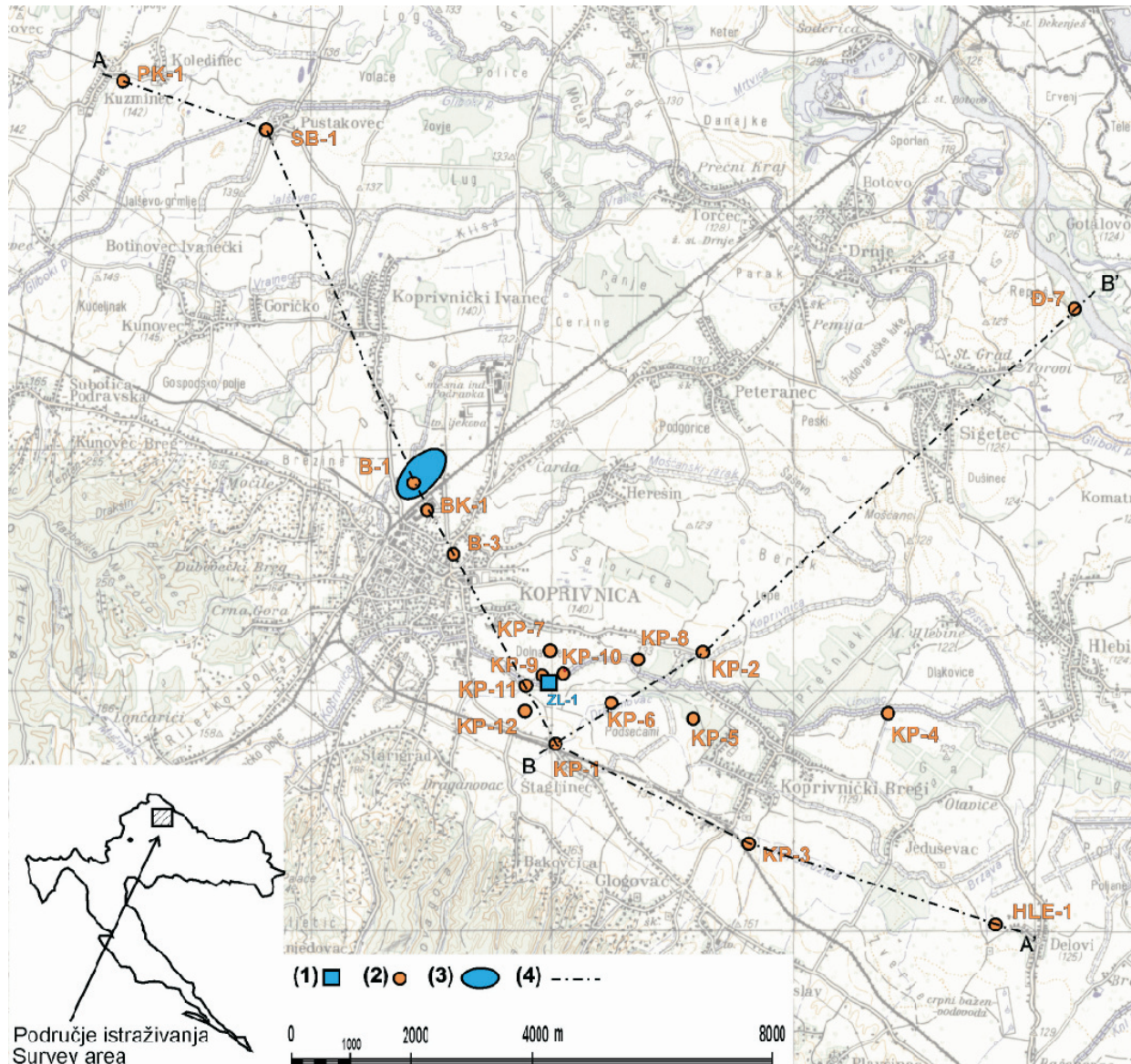
#### Uvod

U području Koprivničke Podravine postoje opsežna istraživanja kako strukturnogeološka, uglavnom okrenuta nalazištima ugljikovodika, te za potrebe projektiranja objekata za pridobivanje električne energije, tako i hidrogeološka uglavnom za potrebe vodoopskrbe Koprivnice kao regionalnog centra i okolnih naselja. Cilj ovog rada je povezati podatke o dubinskoj građi Dravskog

bazena i strukturnom sklopu s podacima o kvartarnim vodonosnicima koji su zahvaćeni za potrebe Koprivnice na crpilištima Ivanščak i Lipovec (slika 1.). Naime, pri hidrogeološkim istraživanjima vodocrpilišta uočeno je da iako su crpilišta na relativno maloj udaljenosti, postoje razlike u dubini zaljevanja vodonosnika i hidrauličkoj vodljivosti. U razradi geološke građe i strukturnog sklopa poglavito su korišteni podaci iz najnovijih objavljenih radova. Najprije se ističu bitne spoznaje o

geološkoj građi sadržane u Osnovnoj geološkoj karti, Đurđevac (Hećimović, 1987), tome su pridodani podaci iz kompilacijskih geoloških karata i doktorskih disertacija (Benček, 1992; INA-Geološki konzalting, 1993;

Prelogović, 1974; Zagorac, 1975), te najvažnije osnovne geomorfološke karte (Prelogović, 1974). te u kakvoći vode, važnih stručnih radova i elaborata.

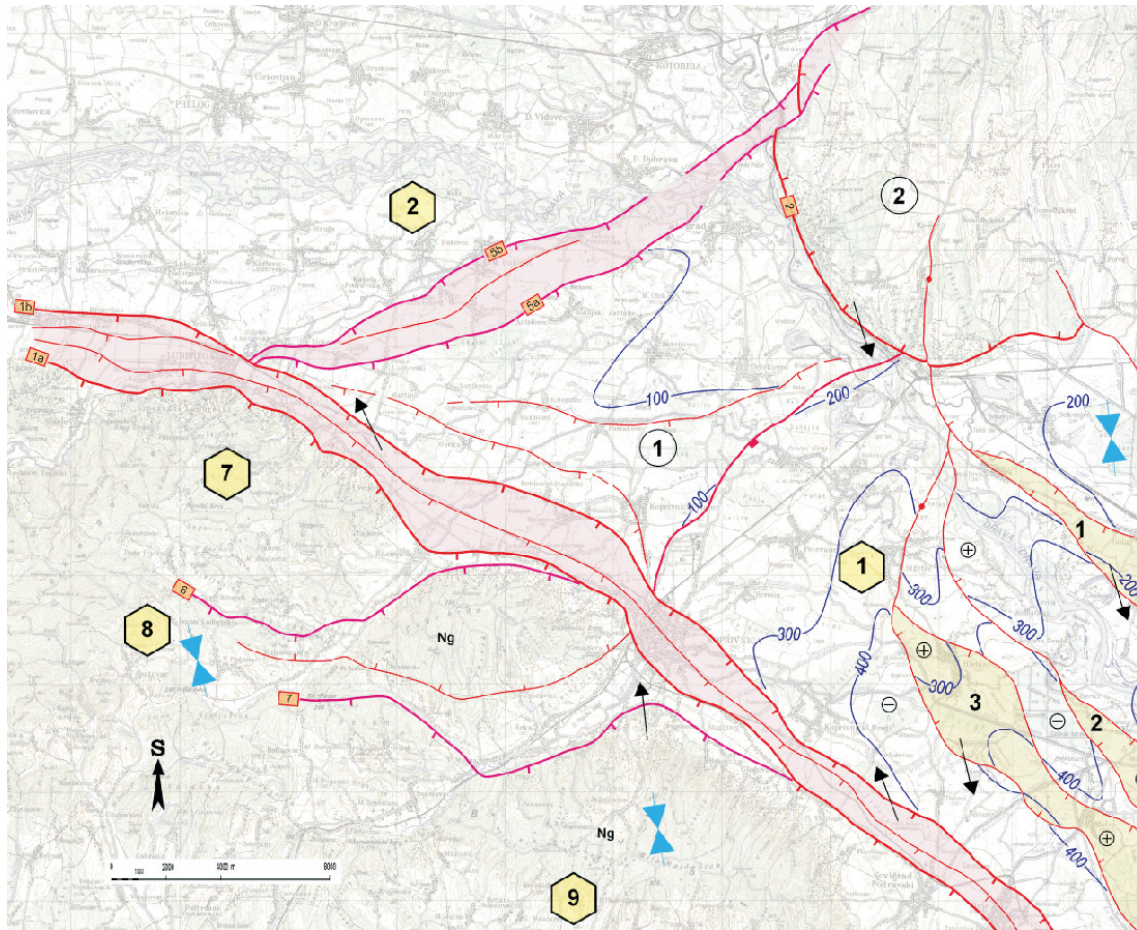


Slika 1. Položaj hidrogeoloških objekata te crpilišta Lipovec i Ivanščak i trase regionalnih korelacijskih profila. Oznake: (1) istraživačko-eksploatacijski zdenac ZL-1 na crpilištu Lipovec, (2) istraživačke bušotine i piezometarska gnijezda, (3) položaj crpilišta Ivanščak, (4) trase regionalnih korelacijskih profila

Figure 1 Position of hydrogeological objects and wellfields Lipovac and Ivanščak with trace of regional correlation cross sections. Symbols: (1) exploration-production well ZL-1 at Lipovac Wellfield, (2) prospecting holes and observation nests, (3) Ivanščak wellfield, (4) trace of regional correlation cross sections

Osobito se ističu najnoviji podaci sadržani u radovima o postanku Dravskog bazena, tektonskim pokretima, polju stresa, kvartarnim naslagama i seizmotektonskoj aktivnosti (Babić et al., 1978; Royden & Horváth, 1988; Csontos et al., 1991; Tari et al., 1992; Horváth, 1993; Decker, 1996; Decker & Peresson, 1996; Bada, 1999; Prelogović i Velić, 1988; Prelogović et al., 1995, 1998; Lučić et al., 2001). Najpotpuniji, najnoviji podaci o

tektonskoj i seizmotektonskoj aktivnosti i recentnom sklopu Dravskog bazena nalaze se u stručnim radovima rađenima za potrebe INA-Naftaplina, odlaganja otpada i projektiranja hidroelektrana na Dravi. (Cvijanović et al., 1979; Prelogović et al., 1987; 1995a). Interpretacija podataka prikazana je zemljovidom recentnog strukturnog sklopa Dravskog bazena (slika 2.).



Slika 2. Recentni strukturno-tektonski sklop u području Legradskog praga

Figure 2 Recent structural-tectonic unit in area of Legrad treshold

Opsežna hidrogeološka istraživanja provedena za potrebe vodoopskrbe Koprivnice i okolnih naselja prikazana su u izvješćima i elaboratima koji su poslužili kao izvor informacija o građi vodonosnika, hidrogeološkim parametrima i kakvoći podzemne vode. Prva sustavna istraživanja povezana su s istraživanjima crpilišta Ivanščak, a provedena su 70-tih godina na široj lokaciji današnjega gradskog crpilišta Ivanščak (Geotehnika, 1973-77).

Novo regionalno crpilište počelo se razmatrati u kontekstu rastućih potreba vodoopskrbe i mogućeg širenja vodoopskrbnoga sustava na susjedne predjele, prvenstveno u smjeru Križevaca. S takvom temom načinjeno je nekoliko studija potencijalnih crpilišta: Torčec (Ortolan et al. 1975/76), Peteranec (RGN-VGŠ, 1982), Bukovec (Urumović et al. 1985) i Pustakovec (Geotehnika, 1989). U 1990. godini pokrenuta je izradba recenzije svih ranijih istraživanja za potrebe vodoopskrbe Koprivnice s ciljem ocjene dometa pojedinih istraživanja i pogodnosti pojedinih predjela, te izradbe programa daljnjih istraživanja izvora vodoopskrbe Koprivnice (Urumović i Mayer, 1990). Tom je prigodom zapaženo da bi kao moguće povoljno rješenje bilo korisno istražiti dublji vodonosni sloj u području između Koprivnice i Delova koje je kasnije imenovano kao potencijalno crpilište Lipovec. Preliminarna istraživanja potencijalnog crpilišta Lipovec započeta su koncem 1990. godine, a povoljni rezultati potakli su da se ona nastave do 1993. godine (Urumović et al., 1992, 1993). Istraživanja su nastavljena nakon desetak godina s ciljem određivanja lokacije i izvedbe pokusno-eksploatacijskoga zdenca, koji je izveden početkom 2005. godine, te je provedeno njegovo pokusno crpljenje (Urumović et al. 2005).

### Opis geološke građe i strukturnog sklopa Koprivničke Podravine

Područje Koprivničke Podravine pripada zapadnom dijelu Dravskog bazena koji se nalazi u dodirnom prostoru između Centralnog i Južnog dijela Panonskog bazena. Dravski bazen prostire se između Koprivnice i Vukovara i ključna je strukturna jedinica u obuhvaćenom području. Bazen je širine 15-18 km u svom zapadnom dijelu. Ima pružanje ZSZ-IJI do SZ-JI. U strukturnom smislu bazen se nalazi između zona Dravskog rasjeda i rasjeda Meczek-Villany-Baranja. Zapadna granica predstavljena je uzdignutim strukturama Legrad i Nagykanizsa. Počeo se oblikovati u uvjetima izražene ekstenzije prostora u donjem i srednjem miocenu. U gornjem miocenu slijedi intenzivna akumulacija naslaga. Od kraja pliocena počinje prevladavati kompresija prostora. Tijekom kvartara osobito je aktivna zona Dravskog rasjeda, a posebice se ističe uzdizanje Bilogore.

Postanak i razvitak bazena obuhvaća razdoblje neogena i kvartara. Taloženje naslaga, njihove debljine

i deformacije pokazatelji su tektonske aktivnosti. Najveći dio područja obuhvaćenog na slici 1 prekriven je kvartarnim naslagama. Neogenske ili još starije stijene nalaze se na površini duž pojedinih uzdignutih strukturnih jedinica. U dubini Dravskog bazena ispod neogenskih naslaga najčešće su nabušene paleozojske stijene, mezozojske stijene ustanovljene su u bušotinama u Bilogori, neogenske naslage su transgresivne i diskordantne. Na temelju usporedbe litološkog sastava i taložnih obilježja neogenskih sedimenata otkrivaju se podaci koji ukazuju na strukturni razvitak. Indicira se njihova pripadnost slijedećim razdobljima nastanka i razvitka Dravskog bazena:

- donji miocen: naslage značajne za prvotnu ekstenziju prostora;
- srednji miocen: rani stadij ekstenzije kada povećanje prostora znatno nadmašuje mogućnosti transporta materijala;
- sarmat: vrhunac ekstenzije, taloženje relativno tankih naslaga;
- panon i donji pont: ravnoteža taloženja i produbljanja bazena, stalno se ponavljaju taložni uvjeti;
- gornji pont, pliocen, kvartar: najprije zapunjavanje bazena, potom močvarno-jezerske, pa zatim i riječne naslage kao znak prisutnosti kompresijskih uvjeta.

Sa strukturnog gledišta najvažnije su debljine skupnog neogensko-kvartrnog kompleksa naslaga, jer pokazuju spuštene i uzdignute dijelove bazena ili nagle skokovite promjene u zonama rasjeda. U zapadnom dijelu Dravskog bazena debljine oko 3000 m nalaze se samo u Prekodravlju duž lokalne strukture Gola-Ferdinandovac. U ostalom zapadnom dijelu bazena debljine su oko 4000 m, a između 4000 m i 5000 m oko Koprivnice i neposredno uz zonu Dravskog rasjeda. Ipak, promjene debljina ističu lokalne uzdignute strukture Hlebina-Molve-Kalinovac. U Bilogori i na obroncima Kalnika debljine su promjenljive, najčešće oko 2000 m i 3000 m, te u istočnom dijelu Bilogore oko 1000 m.

### Strukture i rasjedi

Dominantnu važnost u obuhvaćenom strukturnom sklopu ima zona Dravskog rasjeda. Regionalnog je pružanja, te se izravno zapadno od Ludbrega nastavlja na Periadriatik rasjed. Dijeli Centralni od Južnog dijela Panonskog bazena. Njegovom aktivnošću u razdoblju ekstenzije počelo je širenje prostora prema SI i stvaranje Dravskog bazena. Stalni tektonski pokreti uvjetovali su uzdizanje pojedinih strukturnih jedinica koje okružuju bazen. Osobito su izraženi kvartarni pokreti u zoni Dravskog rasjeda koji uvjetuju uzdizanje istočnih dijelova strukturnih jedinica Ivanščica-Varaždinsko topličko gorje i Kalnik, te osobito čitave Bilogore.

Dokaz njihovog uzdizanja jesu kvartarne naslage koje se nalaze primjerice duž Bilogore na visinama oko 150-200 m.

Dravski rasjed predstavljen je zonom paralelnih rasjeda širine 0,5-6 km. Ocrti rasjeda na površini i u seizmičkim profilima ukazuju da se radi o reversnim rasjedima najčešće strmog nagiba i vergencije prema SSI. Rasjedi iz zone dopiru do površine odražavajući se u reljefnim oblicima kao što su: terasni odsjeci, odsječeni obronci i osobito koljeničaste anomalije rijeka i potoka koji prelaze preko zone rasjeda. Činjenica da rasjedi dopiru do površine znači da sijeku i najmlađe kvartarne naslage, što potvrđuje njihovu recentnu tektonsku aktivnost.

Uzdignute strukturne jedinice JJZ od zone Dravskog rasjeda odvajaju reversni rasjedi: Novi Marof-Koprivnica (graniči Kalniku), Poganec-Glogovec (graniči SZ dijelu Bilogore).

U najvažnije rasjede strukturnog sklopa priključuju se još rasjed Ludbreg-Nagykanizsa. Rasjed Ludbreg-Nagykanizsa oslanja se na zonu Dravskog rasjeda kod Ludbrega. Ima pravac pružanja JZ-SI. Radi se o zoni paralelnih reversnih rasjeda, širine do 2,5 km i vergencije prema SZ. Pruža se duž granice Murskog bazena. Skok podinske plohe neogenskih naslaga iznosi do 1000 m.

Naročita važnost tog rasjeda očitije se u tome što je zbog njegove aktivnosti oblikovana uzdignuta struktura Legrad. U reljefu se zona odražava manjim terasnim odsjekom i osobito deformacijama toka Drave i prve terase. Pružanje je SI-JZ i u Mađarskoj se nastavlja u strukturu Nagykanizsa. Važno je istaći da se duž JI krila strukture Legrad pruža normalni rasjed. Unutar strukture postoje reversni rasjedi vergencije prema SZ, kao i u zoni rasjeda Ludbreg-Nagykanizsa. Znatno zadebljanje kvartarnih naslaga u Dravskom i Murskom bazenu, te

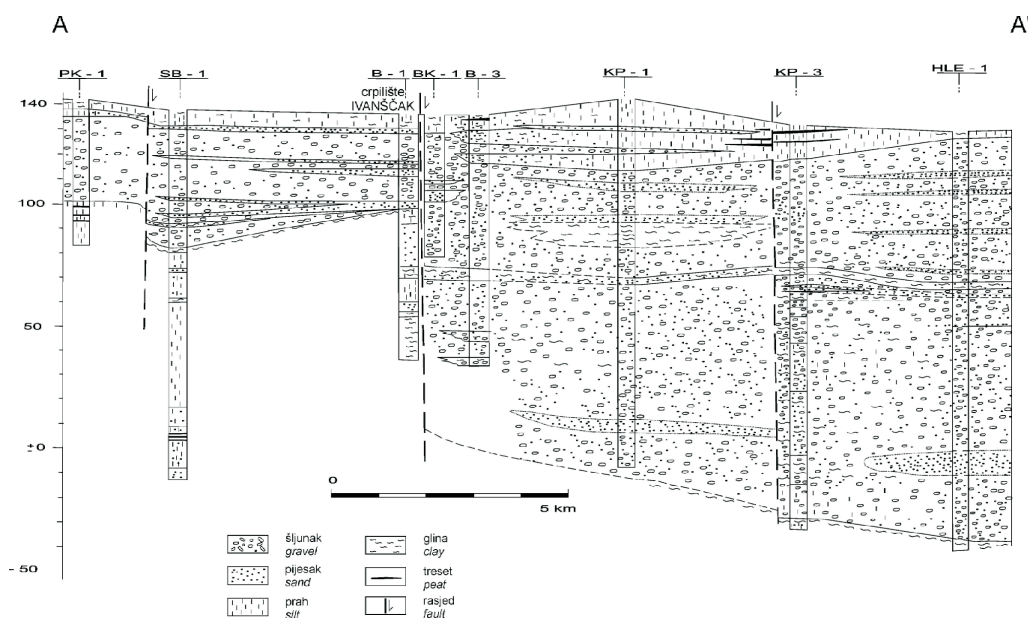
zatanjenje duž strukture Legrad ukazuje na aktivnost rubnih rasjeda promatrane strukture.

Važno je istaknuti postojanje nizova uzdignutih i spuštenih lokalnih struktura unutar Dravskog bazena. Njihovo postojanje posljedica je kompresije prostora bazena. Duž pojedinih nizova struktura pružaju se rasjedi. Najčešće su skokovi izdvojene donje plohe kvartarnih naslaga oko 50 m, mjestimice i manje. U prostorima relativno veće kompresije ili pomaka struktura postoje i veći skokovi, najčešće do 100 m npr. duž JZ krila strukture Hlebine-Molve-Kalinovac. To je ujedno i prostor najveće aktivnosti Dravskog rasjeda. Važno je istaći spajanje pojedinih rasjeda na površini, a vjerojatno i u dubini. Pri tom je glavni rasjed onaj duž kojeg postoji veći skok kvartarnih naslaga.

### Debljine kvartarnih naslaga i tektonska aktivnost

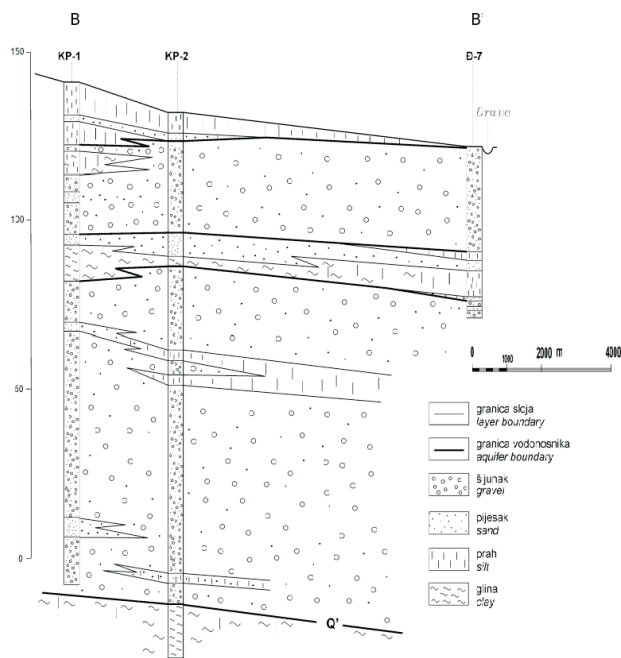
Na površini promatranog područja geološka građa je vrlo jednolična. Kronostratigrafski to su najmlađe naslage koje pripadaju holocenu i najmlađem pleistocenu. Litološki su zastupljeni uglavnom glina, prah i pijesak. Oni se miješaju u svim omjerima kako lateralno tako i vertikalno. Ipak, i površinski ima sustavnih diferencijacija kako u morfološkom tako i u litostratigrafskom smislu, što s dubinom raste, a u litološkoj diferencijaciji najmlađih naslaga mogu se zamijetiti i odrazi dubokih struktura.

Za podinsku plohu kvartarnih naslaga uzet je u obzir elektrokarotažni reper Q' koji se mogao utvrditi u pojedinim bušotinama. Ispod tog repereog horizonta leže donjopleistocenske, eventualno pliocensko-pleistocenske naslage koje se nisu mogle pouzdano utvrditi. Naslage iznad repere Q' sigurno pripadaju srednjem i gornjem pleistocenu, te holocenu.



Slika 3. Regionalni profil preko crpilišta Ivanščak, trasa profila na slici 1

Figure 3 Regional cross section across the wellfield Ivanščak, cross section trace in figure 1



Slika 4. Regionalni profil preko crpilišta Lipovec, trasa profila na slici 1.

Figure 4 Regional cross section across the wellfield Lipovec, cross section trace in figure 1.

S obzirom na debljinu aluvijalnih nanosa šljunka u području Koprivničke Podravine razlikujemo predjel Legradskog praga od područja koje se nalazi jugoistočno. U području praga koji ima pružanje JZ-SI (od Koprivnice do Zakanyja u Mađarskoj) došlo je do značajnog izdizanja sedimenata u podlozi aluvijalnog nanosa tako da je aluvij puno tanji i litološki jednoličniji nego u području dravske ravnice nizvodno od istoga (slike 3. i 4.).

Analizom jezgara bušotina u širem prostoru crpilišta, te na temelju postojećih podataka iz susjednih bušotina, kao i rezultata granulometrijskih analiza, moguće je definirati sastav i strukturu aluvijalnih taložina, o čemu će više biti riječi u slijedećem poglavlju.

Za ocjenu recentne tektonske aktivnosti bitni su pomaci struktura ili, gledajući u detaljima, pomaci krila rasjeda. Moguće deformacije strukturnog sklopa Dravskog bazena izazvane regionalnim tektonskim pokretima uvjetovane su položajem velikih masa stijena različite gustoće koje izgrađuju prostore strukturnih jedinica koje okružuju bazen. Između pojedinih masa stijena ali i unutar strukturnih jedinica, pa i unutar Dravskog bazena uspostavlja se polje stresa. Bitna je orijentacija recentnog maksimalnog kompresijskog stresa koji uvjetuje pomake dijelova strukturnih jedinica, te vrste i veličine pomaka krila rasjeda. Duž Dravskog bazena i uz rubove okolnih strukturnih jedinica orijentacija maksimalnog kompresijskog stresa je promjenljiva i iznosi kod Rasinje 350-170°, a kod Koprivnice 355-175°. Promjena orijentacije stresa ukazuje i na različite pomake pojedinih strukturnih jedinica i njihovih dijelova

Najvažnije je istaći da pomaci duž krila rubnih rasjeda Dravskog bazena pokazuju sužavanje prostora bazena. Zbog toga unutar bazena nastaju nizovi lokalnih uzdignutih struktura, a prevladavajući rasjedi duž njihovih krila jesu reversnog tipa.

U recentno vrijeme u obuhvaćenom području i dalje prevladavaju kompresijski uvjeti. Na prisutnu tektonsku aktivnost izravno upućuju pojave potresa. Najjači potresi magnitude između 5,5 i 6,0 pojavljuju se u Bilogori, između Koprivnice, Legrada i Nagykanizse. Brojnost potresa i pojedine koncentracije epicentara oko Dravskog bazena, ali i unutar njega ukazuju na znatne tektonske pokrete koji stalno utječu na recentne strukturne i sedimentacijske promjene.

### Hidrogeološke prilike

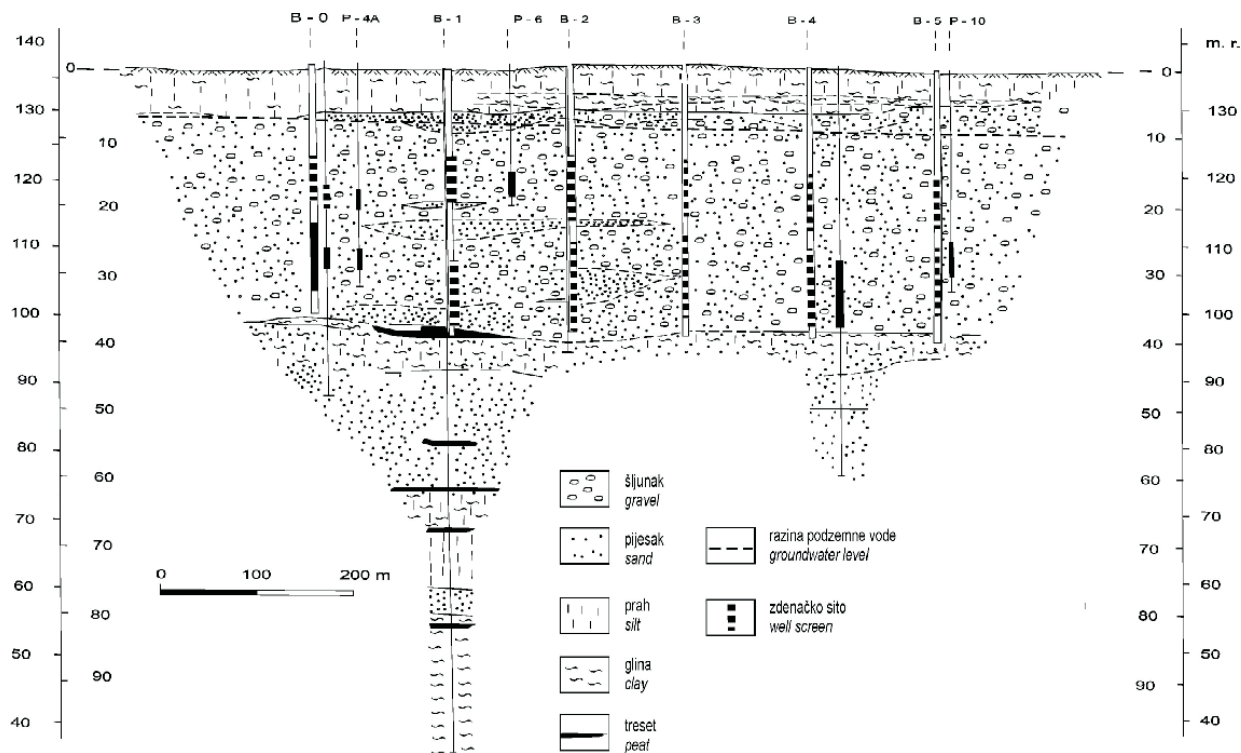
Na području Koprivnice provedena su opsežna istraživanja za potrebe vodoopskrbe Koprivnice i okolnih naselja. U sklopu tih istraživanja došlo se do regionalnih podataka o razinama podzemne vode i uvjetima napajanja vodonosnika, a za crpilište Ivanščak načinjen je i matematički model strujanja podzemnih voda (Urumović i dr. 1996). Na temelju tih istraživanja može se zaključiti da je prevladavajući regionalni smjer gibanja podzemnih voda od sjeverozapada prema jugoistoku, pri čemu se razina podzemne vode na crpilištu Ivanščak kreće oko 123 m, dok je prirodna razina prije početka crpljenja bila oko 5 m viša. Na lokaciji cpilišta Lipovec prirodna razina podzemne vode je na oko 125 m, s prirodnim smjerom gibanja od zapada prema istoku. Obnavljanje podzemnih voda u ovim predjelima je pod dominantnim utjecajem vertikalnih faktora bilance. Površinski tokovi ovdje predstavljaju, naime, najnižu piezometarsku razinu i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemnih voda u prirodnim uvjetima. Specifični iznos ove infiltracije relativno je mali, ali s obzirom da se radi o infiltraciji na velikim površinama, to je ukupni iznos infiltracije vrlo značajan. Infiltracija padalina do sada nije neposredno istraživana u ovim predjelima, no prema matematičkom modeliranju vodonosnika na crpilištu Ivanščak (Urumović i dr. 1996), koje zahvaća gornji vodonosnik, proizlazi da se dugoročno održavanje registriranih hidrauličkih odnosa najbolje održava uz prosječnu infiltraciju padalina od 0,096 do 0,24 m godišnje, a što iznosi oko 11 do 28 % srednjih godišnjih padalina.

### Crpilište Ivanščak

Crpilište Ivanščak smješteno je sjeverno od grada Koprivnice, između željezničke pruge i ceste za naselje Koprivnički Ivanec. Na crpilištu su zahvaćene podzemne vode iz otvorenog vodonosnika formiranog u kvartarnim nanosima šljunka i pijeska. Šljunčani sloj nalazi se na dubini od oko 8 do oko 40 m i pokriven je slojem praha i prašinaste gline koji doseže do površine terena. Vodna

ploha vodonosnika je bila na dubini od oko 9 m u vrijeme izradbe prvih zdenaca.

Kako se crpilište nalazi u području Legradskog praga gdje je reducirana debljina krupnoklastičnog kvartarnog nanosa karakterističan profil prikazan je na slici 5.



Slika 5. Karakterističan profil vodonosnika na crpilištu Ivanščak

Figure 5 Characteristic cross section of aquifer in wellfield Ivanščak

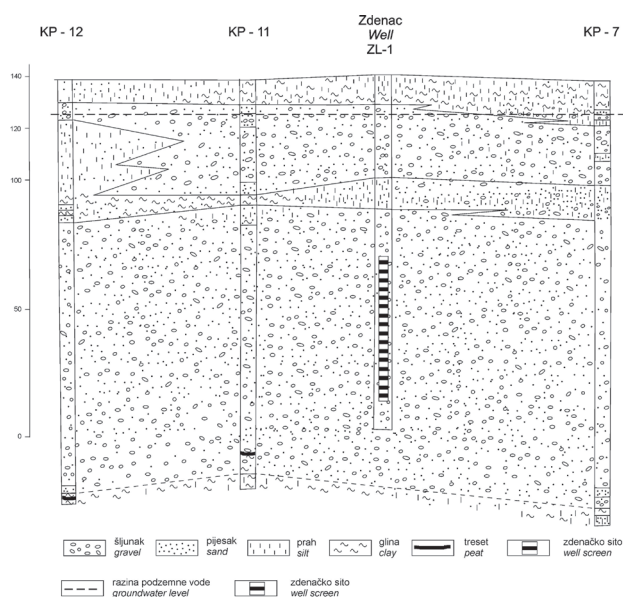
Ispod repera Q', koji se nalazi na oko 40 metara dubine, naslage se sastoje od siltoznog praha u kojemu se mjestimice pojavljuje nešto treseta i ispod kojega dolazi izmjena praha, gline, sitnozrnog pijeska s lećama i proslojcima treseta ukazujući na močvarnu sredinu sedimentacije. Iznad repera Q' oko 30 m debeli slijed naslaga karakteriziran je krupnoklastičnim taloženama s izraženim tragovima oksidacije. Prevladavaju žučkastosmeđi i sivosmeđi šljunci i pjeskoviti šljunci. Podređeno se nalaze leće pijeska ili šljunaka obogaćenih sa sitnijim pijescima. Na kraju slijedi 5-10 m žučkastog do žučkastosmeđeg praha i prašinate gline koji su mjestimice pjeskoviti. Ovaj završni sloj predstavlja polupropusni pokrivač vodonosnih šljunaka.

Kritička analiza rezultata identifikacije hidrogeoloških parametara dobivenih prilikom ranijih istraživanja

(Urumović et al., 2005) dovela je do zaključka da su vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika vjerojatno u rasponu od  $1-1.5 \times 10^{-3}$  m/s, dok je na temelju pokusnog crpljenja usvojena vrijednost transmisivnosti od  $3,6 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, a efektivna poroznost vodonosnika procijenjena na 0,1.

### Crpilište Lipovec

Crpilište Lipovec je potencijalno crpilište za koje je predviđeno da se sastoji od dviju baterija zdenaca. Jedna bi se smjestila na lijevoj obali Koprivničke rijeke, dok bi druga, istočna bila pružanjem približno okomita na nju, a smjestila bi se između kanala Draganovac i Ivanačka. Karakterističan geološki profil može se vidjeti na slici 6.



Slika 6. Karakterističan profil vodonosnika na crpilištu Lipovec

Figure 6 Characteristic cross section of aquifer in wellfield Lipovec

Ispod repera Q', koji se nalazi na oko 154 metra dubine, naslage se sastoje od glinovitog praha i prašinate gline. Iznad repera Q' nalazi se preko 90 m debeli slijed krupnoklastičnih taložina. U donjem dijelu, od 141 do 151 m, to su tamnosivi krupni šljunci s proslojkom treseta što upućuje na inicijalnu reduktivnost sredine taloženja. Zatim slijedi 84 m debeli paket izrazito oksidiranih šljunaka boje žute, žuto-smeđe i crvenkaste. To su uglavnom šljunci krupnih i srednje krupnih dobro zaobljenih valutica od kvarca i kvarcita. Podređen je sadržaj pijeska, uglavnom krupnijeg. Poneki od intervala šljunka sadrži manje količine sitnoklastičnih tvorevina, moguće i nešto gline, no vjerojatnije praha. Ove taložine predstavljaju "drugi", "donji", tj. dublji vodonosnik koji u ovom području ima regionalno rasprostranjenje što je potvrđeno podacima bušotina i geoelektričnim ispitivanjima za potrebe vodne stube na Dravi (HE Virje).

Na "drugom" vodonosniku između 57 m i 40 m dubine leži 17 m debeli paket slojeva tamnosive i sivoplave prašinate gline s proslojcima praha i pijeska uglavnom sive boje. Taj sloj glinenih taložina predstavlja "granicu" između prvog, plićeg i drugog, dubljeg vodonosnika. U nekim od bušotina ova granica nije jasna, odnosno markirana glinom, ali ju je u cijelom prostoru ipak bilo moguće izdvojiti, odnosno prepoznati, negdje kao opisani sloj glina, a u drugim bušotinama kao grupu slojeva sa bitno smanjenom propusnošću (gline, siltozne gline, glinoviti pijesci, prašinski pijesci, zaglinjeni šljunci itd.), što se vidi iz litoloških korelacijskih profila (slika 6.).

Na dubini iznad 40 m slijede krupnoklastične taložine prvog vodonosnika u debele 27 m. Prevladavaju šljunci i pjeskoviti šljunci žućkaste do sive boje, a podređeno dolaze krupnozrnati šljunkoviti pijesci žućkasto smeđe boje. Na krovini prvog vodonosnika nalaze se sivi pijesci

s proslojcima praha a završavaju sa crnim slojem treseta debljine 20 cm. Naslage završavaju oko 9 m debelim slojem žućkastog do žućkastosmeđeg praha i prašinate gline koje predstavljaju pokrovne naslage vodonosnog sustava (Urumović et al., 2006).

Pokusnim crpljenjima i njihovom analizom određena je lokalna transmisivnost vodonosnika s iznosom od  $5,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . U svakom slučaju proizlazi da je vrijednost osrednjene hidrauličke vodljivosti donjega vodonosnika za crpilište Lipovec oko  $6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , dakle niža nego hidraulička vodljivost gornjega vodonosnika prema istraživanju na crpilištu Ivanščak, dok je efektivna poroznost procijenjena na 0,2.

### Kakvoća vode

Prirodna kvaliteta podzemnih voda prvenstveno je posljedica geoloških uvjeta nastanka vodonosnika, litološkog sastava naslaga, te prošlih i aktualnih hidrogeoloških uvjeta.

Na temelju korištenih rezultata analiza podzemne vode u regionalnom mjerilu (tablica 1.) može se zaključiti da su glavni "prirodni" čimbenici slabije prirodne kakvoće u nekim predjelima povezani s pojavom povećane koncentracije slobodnoga amonijaka, nitrita, željeza i mangana, tj. sastojaka koji karakteriziraju redukcijske uvjete.

Tablica 1. Pregled rezultata kemijskih analiza podzemne vode

Table 1 Results review of chemical analysis of groundwater

Parametar Parameter	MDK MPL	crpilište wellfield Ivanščak	crpilište wellfield Lipovec
Nitriti (mg N/l)	<0,1	0,004	0-<0,01
Željezo, (µg Fe/l)	<200	64	3,9-36,5
Mangan (µg Mn/l)	<50		<1-2,79
Amonijak (mg N/l)	<0,5	0,065	0-<0,03
Nitriti (mg N/l)	<0,1	0,004	0-<0,01
Nitrati (mg N/l)	<10	4,54	2,89-3,03
Kloridi (mg Cl/l)	<250	12	5,39-6,4
Sulfati (mg SO <sub>4</sub> /l)	<250	10-20	7,77-9,08
Utrošak KMnO <sub>4</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	<3	1,2-3,9	0,38-0,82
Isparni ostatak (mg/l)		353-378	250



Da li će u nekom vodonosniku vladati redukcijski ili oksidacijski uvjeti u najvećoj mjeri ovisi o njegovom nastanku. Kao što je to opisano u poglavlju o geološkoj građi, na području Koprivničke Podravine u geološkoj prošlosti postojale su dvije sedimentacijski različite sredine. Zapadno od linije Koprivnica-Zakany nalazi se tzv. Legradski prag, područje značajnog tektonskog izdizanja zbog kojeg su istaložene relativno tanke aluvijalne naslage. U području izdizanja Legradskoga praga prevladavali su oksidacijski uvjeti kao što je to slučaj s područjem crpilišta Ivanščak. Ipak, i u području legradskoga praga formirale su se i izolirane vodene površine unutar koji su vladali močvarni, odnosno reduktivni uvjeti taloženja. Jedna od takvih sredina, koja se vjerojatno najduže zadržala bila je u prostoru omeđenom četverokutom Cvetkovec-Subotica-Torčec-Imbrovec-Cvetkovec, koja je oblikovana kao depresija smještena sjeverozapadno od crpilišta Ivanščak.

Istočno-jugoistočno od Legradskoga praga sedimentacijski prostor se zbog tektonskih kretanja spuštao, što je uvjetovalo taloženje znatno debljih aluvijalnih naslaga. U jednoj takvoj sedimentacijski dinamičnoj sredini i površinske i podzemne vode su se znatno intenzivnije kretale i komunicirale. To posebno vrijedi za rubove sedimentacijskog prostora uz Legradski prag i obronke Bilogore. Intenzivnije kretanje voda uvjetovalo je, posebno lokalno i u određenim vremenskim razdobljima, taloženje u aeriranim vodama, odnosno oksidacijske sedimentacijske uvjete.

Opisana situacija bitno je utjecala na današnju kakvoću podzemnih voda promatranog područja. Tako se u području Legradskog praga u pravilu nalazi podzemna voda s vrlo različitim koncentracijama amonijaka, željeza i mangana. U zoni već spomenute depresije u prostoru Cvetkovec-Subotica-Torčec-Imbrovec-Cvetkovecnjihove koncentracije su vrlo visoke. U uzorcima podzemne vode iz bušotina toga prostora utvrđena je srednja minimalna koncentracija željeza od 2,39 mg/l, dok srednja maksimalna koncentracija željeza iznosi 3,02 mg/l. Nasuprot tome, izrazito oksidacijske uvjete nalazimo na crpilištu Ivanščak, koje je smješteno na najizrazitijem izdignuću uz sam jugoistočni rub Legradskoga praga. Podzemna voda s područja crpilišta Ivanščak ne sadrži niti jednu komponentu u koncentracijama iznad MDK.

Istočno od Legradskoga praga, u trokutu Herešin-Štagljinec-Delovi-Herešin, iz svake bušotine postoji barem jedan uzorak koji kvalitetom potpuno zadovoljava standarde za pitku vodu. Opravdano je pretpostaviti da su u ovom rubnom zapadnom dijelu dravske depresije regionalno prevladavali oksidacijski uvjeti. Istina, neke analize su pokazale i odstupanja. Djelomično to se može pripisati neadekvatnim objektima za uzimanje uzoraka podzemne vode, odnosno pogreškama pri uzimanju, konzerviranju ili analizi. No, činjenica da su podzemne vode iz plićih zdenaca crpilišta Delovi sadržavale visoki sadržaj željeza i pratećih elemenata, dok je njihov

sadržaj iz dubljih zdenaca bio znatno manji, ukazuje da oksidacijski uvjeti više karakteriziraju dublji dio naslaga.

Općenito se može zaključiti da su rezultati ranije raspoloživih podataka ukazivali da na području istočno od Koprivnice povoljniju kvalitetu imaju podzemne vode iz dubljega dijela naslaga, odnosno uvjetno rečeno iz drugoga vodonosnika. To se posebice odnosi na sadržaj željeza i mangana, te na komponente koje su posljedica prodora onečišćenja s površine terena.

## Zaključak

Na temelju opsežnih podataka o geološkoj građi, strukturama, hidrogeološkim karakteristikama i kavoći vode na području Koprivničke Podravine prikazan je utjecaj geoloških struktura na hidrogeološke karakteristike dvaju najvažnijih crpilišta u ovome području. Naime, pokazalo se da uvjeti taloženja, koji ovisi o pokretima duž rasjeda koji graniče pojedinim strukturama, imaju presudan utjecaj na hidrogeološke karakteristike ovih prostorno bliskih crpilišta. Tako je na crpilištu Ivanščak neprijeporno dokazana veća hidraulička vodljivost zahvaćenog vodonosnika nego na crpilištu Lipovec na kojemu pak razlikujemo dva vodonosnika od kojih je zahvaćen dublji. Dubina kvartarnog vodonosnog kompleksa u području crpilišta Ivanščak iznosi oko 40 m, a u području crpilišta Lipovec dosiže oko 150 m.

Kakvoća vode također ukazuje na presudan utjecaj pokreta uz rubne dijelove struktura pa se tako pokazalo da su u području izdizanja Legradskoga prevladavali oksidacijski uvjeti kao što je to slučaj s područjem crpilišta Ivanščak uz manja područja gdje su vladali močvarni, odnosno reduktivni uvjeti taloženja. Istočno-jugoistočno od Legradskoga praga sedimentacijski prostor se zbog tektonskih kretanja spuštao, što je uvjetovalo taloženje znatno debljih aluvijalnih naslaga. U jednoj takvoj sedimentacijski dinamičnoj sredini i površinske i podzemne vode su se znatno intenzivnije kretale i komunicirale. To posebno vrijedi za rubove sedimentacijskog prostora uz Legradski prag i obronke Bilogore.

*Received: 18.09.2007.*

*Accepted: 30.10.2007.*

## Literatura

- Bada, G. (1999): Cenozoic stress field evolution in the Pannonian basin and surrounding orogens. Inferences from kinematic indicators and finite element modelling. PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, 204 pp.
- Babić, Ž., Čakarun, I., Sokač, A. & Mraz, V. (1978): O gelogiji kvartarnih naslaga porječja rijeke Drave. Geol. vjesnik, 31/1, 13-57, Zagreb.
- Benček, Đ. Eds. (1992): Geološke karte sjeverne Hrvatske, Inst. geol. istraž., Zagreb.
- Csontos, L., Tari, G., Bergerat, F., & Fodor, L. (1991). Evolution of the

- stress fields in the Carpatho-Pannonian area during the Neogene. *Tectonophysics*, 199, 73-91.
- Cvijanović, D., Prelogović, E., Kranjec, V., Skoko, D., Zagorac, Ž., Bahun, S. & Oluić, M. (1979): Seizmotektonska karta Hrvatske i susjednih područja. Geofiz. zavod, PMF, Zagreb.
- Decker, K. (Ed.), (1996): PANCARDI Workshop 1996. Dynamics of the Pannonian-Carpathian-Dinaride system. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., Wien*, 41, 148.
- Decker, K., & Peresson, H. (1996): Tertiary kinematics in the Alpine-Carpathian-Pannonian system: links between thrusting, transform faulting and crustal extension. In G. Wessely & W. Liebl, *Oil and gas in Alpidic thrustbelts and basins of central and eastern Europe*. (pp. 69-77). EAGE Special Publications, Vol. 5.
- “Geotehnika” (1973): Koprivnica - Geofizička istraživanja, Zagreb
- “Geotehnika” (1973): Izvještaj o izvedbi vodoistražnih radova na crpilištu Ivanščak u Koprivnici, Zagreb
- “Geotehnika” (1974): Elaborat o izvedbi vodoistražnih radova na crpilištu Ivanščak kod Koprivnice (B-1 i B-2), Zagreb
- “Geotehnika” (1977): Izvještaj o izvedbi bunara B-3 na crpilištu Ivanščak u Koprivnici, Zagreb
- “Geotehnika” (1989): “Regionalno crpilište” Koprivnica - Geoelektrična ispitivanja i izrada duboke strukturno-piježometarske bušotine na području Pustakovec kod Koprivnice, Zagreb
- Hećimović, I. (1987): Osnovna geološka karta, list Đurđevac 1:100.000. *Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd*.
- Horváth, F. (1993): Towards a kinematic model for the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 226, 333-357.
- INA-Geološki konzalting (1993): Naftno-geološka obrada sjeverozapadnog područja Hrvatske. INA-Naftaplin, Zagreb.
- Lučić, D., Saftić, B., Krizmanić, K., Prelogović, E., Britvić, V., Mesić, I. & Tadej, J. (2001): The Neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. *Marine and Petroleum Geology*, 18, 133-147.
- Prelogović, E. (1974): Neotektonski i strukturni odnosi u Dravskom području. *Disertacija, RGN fak.*, 1-135, Zagreb.
- Ortolan, Ž., Pollak, Z., Despotović, N., Jović, V. i Andrić, M. (1975/76): Vodoistražni radovi na lokaciji tvornice celuloze Torčec, IGH,
- Prelogović, E., Velić, J., Marić, K., Kuk, V., Skoko, D., Allegretti, I., Herak, Ma., Herak, Da., Milošević, A., Sović, I., Živčić, M., Aljinović, B., Mujagić, S., Sviben, D., Kovačević, S., Szavits-Nossan, A., Grubić, N., Cvijanović, D., Ivšić, T., Szavits-Nossan, V. & Čubrilo, V. (1987): Vodna stepenica Đurđevac. Glavni projekt. Seizmološka, neotektonska, geofizička, seizmotektonska i inženjersko-seizmološka istraživanja. *Arh. Elektroprivreda, Zagreb*.
- Prelogović, E., i Velić, J. (1988): Kvartarna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline. *Geol. vjesnik*, 41, 237-253, Zagreb.
- Prelogović, E., Jamičić, D., Aljinović, B., Velić, J., Saftić, B. & Dragaš, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena. *Zb. 1. Hrv. geol. kongres, Opatija 18-21.10.1995.*, Vol. 2, 481-486, Zagreb.
- Prelogović, E., Aljinović, B., Velić, J., Saftić, B., Kranjec, V. & Jamičić, D. (1995a): Strukturna dinamika prostora sjeverne Hrvatske. *INA-Naftaplin, Zagreb*.
- Prelogović, E., Saftić, B., Kuk, V., Velić, J., Dragaš, M., & Lučić, D. (1998): Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 297, 283-293.
- RGNF-VGŠ (1982): Studija zaliha podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe područja Koprivnice i Križevaca, Varaždin,
- Royden, L. H. & Horváth, F. (Eds.), (1988). The Pannonian basin. A study in basin evolution. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, 45, 394.
- Urumović, K., Jović, V., Bonacci, O., Hernitz, Z. i Gold H. (1985): Regionalno crpilište “Bukovec-Koprivnica”, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Urumović, K. i Mayer, D. (1990): Recenzija dosadašnjih istraživanja podzemnih voda koprivničke Podravine, RGN fakultet, Zagreb
- Urumović, K., Mayer, D., Dragičević, I., Hlevnjak, B., Tomljenović, B. (1992): Vodoopskrbni sustav Koprivnica. Prethodna hidrogeološka studija crpilišta Lipovec. RGN fakultet, Zagreb
- Urumović, K., Tomljenović, B., Hlevnjak, B., Mayer, D., Dragičević, I. (1993): Vodoopskrbni sustav Koprivnica. Hidrogeološka istraživanja crpilišta Lipovec. RGN fakultet, Zagreb,
- Urumović, K., Hlevnjak, B., (1995): Vodoopskrbni sustav Koprivnica. Izvedba zdenca na crpilištu Ivanščak. RGN fakultet, Zagreb,
- Urumović, K., Hlevnjak, B., Gold, H. (1996): Vodoopskrbni sustav Koprivnice. Hidrogeološka studija razvitka crpilišta Ivanščak. RGN fakultet, Zagreb,
- Urumović, K., Hlevnjak, B. i Duić, Ž. (2004): Koprivnički vodoopskrbni sustav, Preliminarna hidrogeološka istraživanja crpilišta Lipovec. *Fond dok. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu*
- Urumović, K., Hlevnjak, B., Duić, Ž. (2005): Crpilište Ivanščak. Prva faza istraživanja zona sanitarne zaštite, RGN fakultet, Zagreb
- Urumović, K., Hlevnjak, B., Duić, Ž. (2006): Crpilište Lipovec. Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta, RGN fakultet, Zagreb
- Tari, G., Horváth, F., & Rumpler, J. (1992). Styles of extension in the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 208, 203-219.
- Zagorac, Ž. (1975): Interpretacija gravimetrijskog reziduala i njena primjena u području Savske i Dravske potoline. *Disertacija. Rud.-geol. fak.*, 1-86, Beograd.