

**HIDRODINAMIČNI REŽIM KRAŠKEGA
VODONOSNIKA MED SOLKANSKO
AKUMULACIJO IN BRUHALNIKOM LIJAKOM**

HYDRODYNAMIC REGIME OF THE KARST AQUI-
FER BETWEEN THE ACCUMULATION OF THE
HYDRO - POWER STATION SOLKAN AND THE
LIJAK EFFLUENT

METKA PETRIČ

Izvleček

UDK 556.33 (497.12)

Petrič, Metka: Hidrodinamični režim kraškega vodonosnika med solkansko akumulacijo in bruhalnikom Lijakom

Primerjava nihanja podzemne vode v bruhalniku Lijaku pri Novi Gorici s spreminjanjem višine akumulacije HE Solkan je pokazala na hidravlično povezavo med obema objektoma. S kvantitativno analizo ugotovljenih vplivov so bile določene hidrodinamične lastnosti vodonosnika v zaledju izvira. *Izračuni temeljijo na predpostavki, da so piezometriški valovi v Lijaku realizacija osnovnih valov, ki jih povzroči spreminjanje višine vode v akumulacijskem jezeru.* Difuzivnost je faktor, ki pogojuje njihovo razširjanje v prostoru in času. Na podlagi zapisov obeh nihanj je bila tako najprej izračunana difuzivnost vodonosnika, nato pa še teoretične krivulje nihanja podzemne vode v Lijaku. Te se dobro ujemajo s krivuljami, dobljenimi na osnovi rezultatov opazovanj.

Ključne besede: krasoslovje, hidrologija krasa, hidrodinamični režim, kraški bruhalnik Lijak, Trnovska planota, Slovenija.

Abstract

UDC 556.33 (497.12)

Petrič, Metka: Hydrodynamic regime of the karst aquifer between the accumulation of the hydro - power station Solkan and the Lijak effluent

Close hydraulic connection between the periodical effluent Lijak near Nova Gorica and the Solkan accumulation was shown by the comparison of water level oscillations in both objects. Hydrodynamic properties of the aquifer in the background of the spring were determined by the quantitative analysis of the established relations. Calculations are based on the presumption that the piezometric waves in Lijak are the realization of the basic waves, which are caused by the water level oscillations in Solkan accumulation. The propagation of those waves through space and time is conditioned by the diffusibility. So first the diffusibility of the aquifer and then also the theoretical curves of the water level oscillations in the effluent Lijak were calculated from the known data. The correlation between the calculated and the observed curves is very good.

Key words: karstology, karst hydrology, hydrodynamic regime, karst effluent Lijak, Trnovo plateau, Slovenia.

Naslov - Address

Metka Petrič, dipl.inž.geol., raziskovalni asistent

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Institute for Karst Research

Scientific Research Centre of the Slovene Academy of Sciences and Arts

Titov trg 2

SLO - 66230 Postojna

VSEBINA

UVOD	183
GEOGRAFSKI PREGLED	183
KLIMATSKE IN HIDROLOŠKE RAZMERE	184
GEOLOŠKE IN HIDROGEOLOŠKE RAZMERE	185
ANALIZA HIDRODINAMIČNEGA REŽIMA KRAŠKEGA VODONOSNIKA	186
SKLEP	197
LITERATURA	198
SUMMARY	199

UVOD

Kraški izvir Lijak deluje kot občasni bruhalnik, ki le v obdobju visokih vod preliva čez neprepustno flišno bariero. S kontinuiranim merjenjem višine podzemne vode so bile določene hidrodinamične lastnosti vodonosnika v zaledju izvira. Ugotovljen je bil kraški režim s kratkotrajnimi visokimi valovi in daljšimi obdobji nizkih vod ter veliko amplitudo (Janež 1992). Visoki valovi nastopijo kot posledica močnejših padavin, doseženemu maksimumu pa sledi zniževanje piezometriškega nivoja po negativni eksponencialni krivulji. Posebnost zapisa nihanja podzemne vode v Lijaku so odstopanja od te značilne krivulje upadanja. Pojavljajo se kratkotrajna znižanja, ki niso v nobeni zvezi s padavinami. Izvor dodatnega nihanja je bil pojasnjen s primerjavo med izmerjenimi piezometriškimi nivoji v Lijaku in zapisom spreminjanja višine vode v akumulaciji HE Solkan. Hitra znižanja gladine akumulacijskega jezera imajo namreč jasen odziv v limnigramu Lijaka. Ugotovljena odvisnost dokazuje obstoj kraškega vodonosnika med obema objektoma (Čar & Gospodarič 1988), nadaljnja kvantitativna analiza hidrodinamičnega režima pa omogoča tudi opredelitev njegovih značilnih lastnosti.

Članek je povzetek mojega diplomskega dela, pri katerem sta mi s strokovnimi nasveti pomagala mentor prof.dr. Miran Veselič in dipl.inž.geol. Jože Janež iz RŽS Idrija. Ob tej priliki se jima za pomoč še enkrat zahvaljujem.

GEOGRAFSKI PREGLED

Vodonosnik med umetno akumulacijo HE Solkan in izvirom Lijakom obsega območje zahodnega dela Trnovskega gozda med Grgarjem in Trnovim. Teren s 300 - 900 m nadmorske višine je izrazito kraški. Razvite so številne globoke vrtače, brezna in tudi dve ledeni jami. Na južni strani je omejen z neprepustno pregrado, ki jo gradijo flišne plasti spodnje Vipavske doline in okolice Nove Gorice.

Približno 6 km vzhodno od Nove Gorice je občasni kraški bruhalnik Lijak. Nahaja se na koti 102 m v dnu visoke skalne zajede pod robom Trnovskega gozda severozahodno od Ozeljana v spodnji Vipavski dolini. Ob visokem vodostaju se vode iz izvira združijo v potok Lijak, ki se severno od Renč izliva v reko Vipavo.

Soča priteče na Goriško iz severozahodne smeri po dolini med Sabotinom in Skalnico. Približno 1.2 km severno od Solkana se obrne proti jugozahodu in teče naprej na italijansko ozemlje. Na tem mestu so leta 1984 zgradili jez za hidroelektrarno Solkan, ki sodi v sklop Soških elektrarn. Nivo akumulacije je običajno na 77 m nadmorske višine.

KLIMATSKE IN HIDROLOŠKE RAZMERE

Klimatske razmere

Strm prehod iz Vipavske doline na visoko kraško planoto Trnovskega gozda ima jasen odraz tudi v klimatskih razmerah. Za Vipavsko dolino so značilni mediteranski vplivi in srednja letna temperatura okrog 12° C. V osrednjih delih Trnovskega gozda z občutno hladnejšim podnebjem se ta temperatura giblje le še med 7° C in 9° C, v najvišjih predelih pa doseže komaj 5° C.

Podobne razlike so opazne tudi pri razporedu padavin, ki naraščajo z nadmorsko višino in z oddaljevanjem od Vipavske doline proti severovzhodu (Janež 1992). Pregled padavin za padavinsko postajo Trnovo v obdobju 1960 - 1990 je pokazal, da znašajo letne padavine na tem območju med 1500 in 2700 mm s povprečno vrednostjo 2025 mm.

Hidrološke razmere

V okviru raziskav kraškega bruhalnika Lijaka je bila v neposrednem zaledju izvira leta 1988 izvrtana in nato leta 1989 poglobljena do globine 147 m vrtina Li - 0188 (Čar & Janež 1990). Z namestitvijo limnigrafa v vrtino je bilo zagotovljeno neprekinjeno beleženje vodostaja. Pri analizi so bili uporabljeni podatki za obdobje od 19.7.1989 do 2.6.1990. Zapisi nihanja podzemne vode kažejo na značilni kraški režim s kratkotrajnimi visokimi valovi in daljšimi obdobji nizkih vod ter veliko amplitudo. Najnižje se je nivo podtalnice spustil do 76.55 m nadmorske višine 29.10.1989, najvišjo vrednost 115.76 m pa je dosegel 7.4.1990. Amplituda torej znaša kar 39.21 m. Porasti vodostaja so hitri s povprečno hitrostjo dviga 1.5 m/h, maksimalne hitrosti pa znašajo celo 5 m/h (Čar & Janež 1990). Vsake zaznavne padavine rezultirajo s porastom piezometriške gladine. Reakcija je zelo hitra, s časovnim zaostankom manjšim od 24 ur. Bolj točne korelacije zaradi grobega merila - dnevni podatek za padavine - ni možno izvesti. V ekstremnih primerih se dvigne nivo podzemne vode nad prelivni flišni rob pri 102 m nadmorske višine in izvir bruha. Po prenehanju padavin sledi doseženemu maksimumu upadanje po negativni eksponencialni krivulji. Pri tem se vrednosti asimptotično približujejo nivoju akumulacije HE Solkan, ki se večji del zadržuje okrog kote 77 m.

Tudi v HE Solkan imajo avtomatsko registrirno napravo za beleženje gladine akumulacijskega jezera. Nivo regulirajo umetno glede na trenutne razmere in potrebe elektrarne. V obdobju od 19.7.1989 do 2.6.1990 je bila maksimalna amplituda nihanja 1.62 m. Najvišja gladina je bila zabeležena 21.12.1989 in sicer 77.20 m nadmorske višine, najnižja 75.58 m pa 1.2.1990.

S primerjavo zapisov obeh nihanj se je pokazalo, da imajo hitra, kratkotrajna znižanja akumulacije HE Solkan v obdobju srednjih in nizkih vod jasen odziv v limnigramu Lijaka. Pri višjih vodostajih pa je ta povezava zabrisana zaradi prevladujočega vpliva padavin na nihanje gladine vode v vrtini.

GEOLOŠKE IN HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

Podatke o geološki zgradbi obravnavanega ozemlja sem povzela po Osnovni geološki karti 1:100 000 list Gorica (Buser 1968) s tolmačem (Buser 1973) ter po člankih Geološka zgradba in nekatere značilnosti bruhalnika Lijaka (Čar & Gospodarič 1988) in Geološka zgradba jugozahodne Slovenije (Placer 1981). Dopolnila sem jih še z rezultati podrobne geološke preučitve okolice Lijaka (Čar & Gospodarič 1986), območja Ravnice in Škabrijela (Čar 1987) in območja Grgarske kotline (Čar 1988).

Stratigrafsko-litološka razčlenitev plasti

Najstarejši na obravnavanem območju so barremijski in aptijski temno rjavkasti do sivo rjavkasti mikritni organogeni apnenci z vložki apnenčevih peščenjakov zahodno od Trnovega. V normalnem geološkem zaporedju prehajajo proti zahodu v svetlo sive do rjavo sive plastnate apnenice albijske in cenomanijske starosti, ki gradijo tudi območje Škabrijela, Skalnice in Sabotina ter dve krpi v okolici Solkana. Enake starosti je pas temno sivega bituminoznega dolomita severozahodno od Voglarjev. Vzhodno od Grgarja, na Sabotinu in na ozemlju med Lijakom in Ravnico najdemo turonijske in senonijske bele do svetlo sive neplastnate ali neizrzito plastnate apnenice z rudisti.

V posameznih krpah v okolici Lijaka izdanjajo zgornjesenonijski in paleocenski rdeči in zelenkasto sivi laporovci in laporasti apnenci. Severno od Ravnice pa ležijo diskordantno na zgornjekrednih plasteh apnenčevi konglomerati in peščenjaki ter peščenjaki in konglomerati, ki so značilni za začetni flišni razvoj. Velik del ozemlja prekrivajo inverzne eocenske flišne plasti Vipavske doline. Kamnine enake starosti najdemo v normalni legi tudi v okolici Ravnice.

Najmlajši so kvartarni terasni sedimenti pri Novi Gorici, aluvialni nanosi v Grgarski kotlini, ob potoku Lijaku in v okolici Solkana ter delno sprijet pobočni grušč, ki prekriva zgornji del flišnega pobočja Vipavske doline in njegov prehod v apnenčeve stene Trnovskega gozda.

Tektonske razmere

V tektonski rajonizaciji jugozahodne Slovenije sta bila na obravnavanem ozemlju opredeljena dva pokrova. Tako pripada Trnovski gozd Trnovskemu pokrovu, območje na severozahodu Vipavske doline pa predstavlja del Hrušiškega pokrova (Placer 1981). Močan narivni stik med obema, ki je nakazan z inverzno lego flišnih plasti, se pred Ozeljanom spusti iz pobočja v dno Vipavske doline in se vleče po flišnih kamninah proti severozahodu

v Furlansko nižino. Plasti Trnovskega gozda prehajajo zahodno od Ozeljana v neprekinjenem zaporedju v pogloblo antiklinalo, ki tone proti severozahodu (Čar & Gospodarič 1986).

Ozemlje je razsekano s številnimi različno močnimi prelomi s prevladujočo dinarsko smerjo. Glavna prelomna cona Raškega preloma se na obravnavanem območju vleče od Šmihela do Grgarske kotline. V eni izmed vzporednih prelomnih con pa se nahaja izvir Lijak (Čar & Gospodarič 1986).

Geološka zgradba neposredne okolice Lijaka

V obdobju 1988/89 so 15 m za izviro izvrtali vrtino Li - 0188. Analiza njenega jedra je dala pomembne podatke o geološki zgradbi tega območja. Do globine 8 m je bil navrtan grobozrnat pobočni grušč, nato pa do globine 126 m svetlo siv zgornjekredni apnenec. Vrtina je potekala skozi enake litološke člene, kar potrjuje s površinskim kartiranjem ugotovljeno subvertikalno lego plasti in s tem na antiklinalni del polegla gube. Od globine 126 m do konca vrtine pri 147 m so bile določene neprepustne flišne plasti. Ob dinarsko usmerjenemu prelomu, ki seka neposredno okolico bruhalnika, je v zgornjekrednih apnencih 20 m široka porušena cona, v kateri leži izvorno območje Lijaka (Čar & Gospodarič 1986).

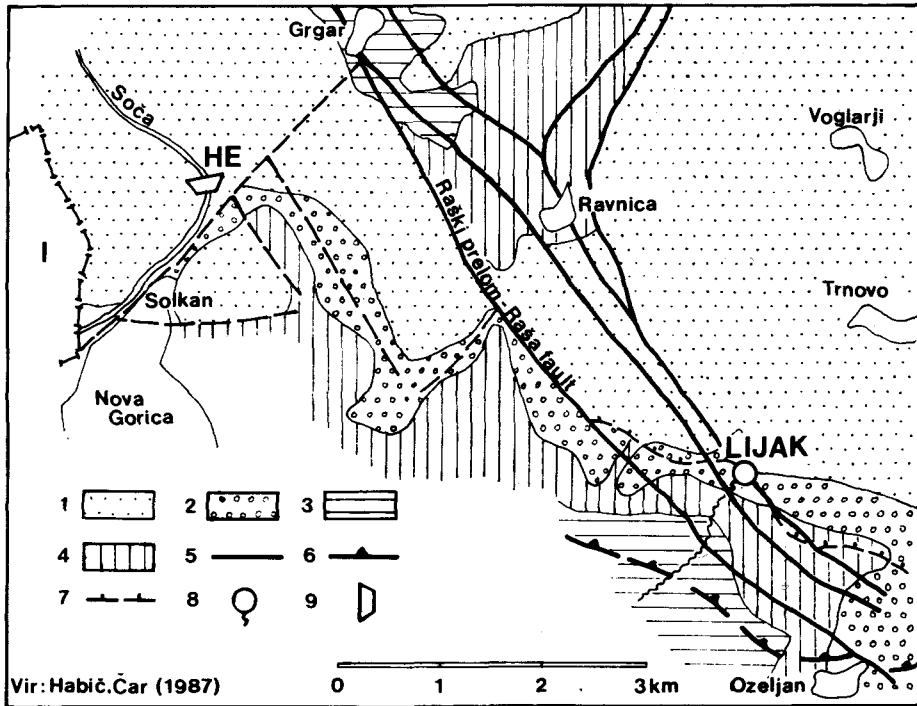
Hidrogeološka funkcija plasti

Po njihovi hidrogeološki funkciji uvrščamo kamnine obravnavanega ozemlja v štiri razrede (Čar & Habič 1987), ki so shematsko prikazani na sliki 1. Močno zakraseli in pretrti spodnjekredni in zgornjekredni apnenci osrednjega dela Trnovskega gozda spadajo med dobro prepustna območja s kraško in razpoklinsko poroznostjo. Kvartarne pobočne grušče in breče, ki prekrivajo prehod iz flišnega pobočja Vipavske doline v apnenčeve stene Trnovskega gozda, uvrščamo med dobro prepustna območja z medzrnsko poroznostjo. Enako poroznost imajo aluvialni nanosi v Grgarski kotlini, okolici Nove Gorice in v širokem pasu med Šempasom in Kromberkom, vendar so slabše prepustni. Fliš Vipavske doline in okolice Ravnice ter paleocenski laporji pa predstavljajo neprepustna območja z omejenimi prepustnimi vložki.

ANALIZA HIDRODINAMIČNEGA REŽIMA KRAŠKEGA VODONOSNIKA

Predstavitev problema

Na sliki 2 so prikazani zapis nihanja podzemne vode v Lijaku, zapis umetnega spreminjanja višine solkanske akumulacije in podatki o dnevni višinih padavin na padavinski postaji Trnovo. Že na prvi pogled je dobro vidna zveza med njimi. Vsake zaznavne padavine povzročijo hiter dvig nivoja podzemne vode v Lijaku, doseženemu maksimumu pa sledi upadanje po značilni negativni eksponencialni krivulji. Vplivi spreminjanja višine akumulacije HE Solkan se kažejo kot odstopanja od te idealne krivulje. Če dejanski krivulji upadanja priredimo teoretično negativno eksponencialno krivuljo, lahko z razlikami med



Sl. 1: Hidrogeološka skica ozemlja med Lijakom in solkansko akumulacijo. 1 - dobro prepustna območja s kraško in razpoklinsko poroznostjo, 2 - dobro prepustna območja z medzrnsko poroznostjo, 3 - slabo prepustna območja z medzrnsko poroznostjo, 4 - neprepustna območja z omejenimi prepustnimi vložki, 5 - prelom, 6 - domnevna meja pokrova, 7 - domnevna naravnica, 8 - kraški bruhalnik Lijak, 9 - jez HE Solkan

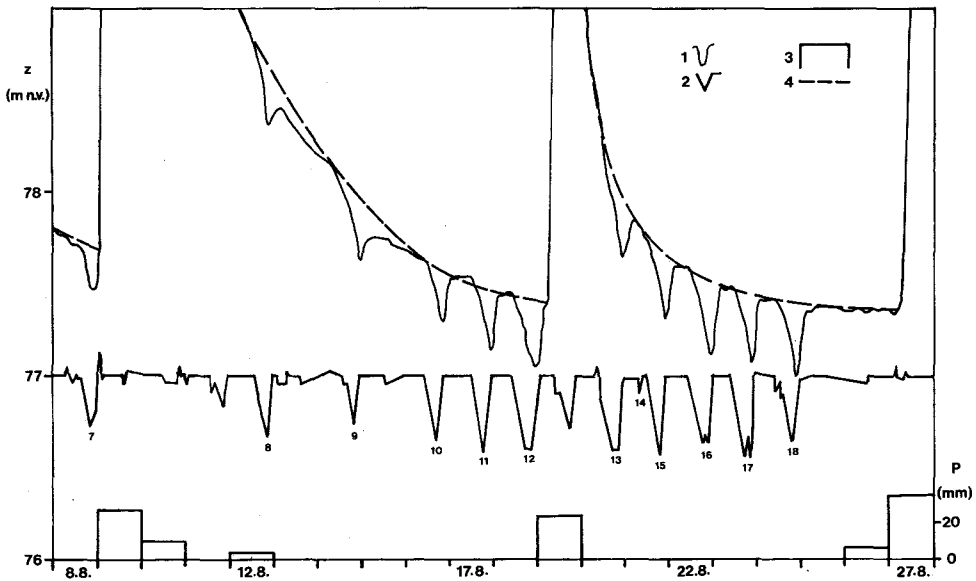
Fig. 1: Hydrogeological sketch of the area between the Lijak effluent and the accumulation Solkan. 1 - well permeable zones with karst and fissure porosity, 2 - well permeable zones with intergranular porosity, 3 - badly permeable zones with intergranular porosity, 4 - impermeable zones with permeable inliers, 5 - fault, 6 - supposed nappe border, 7 - supposed overthrust line, 8 - karst effluent Lijak, 9 - dam of the hydro-power station Solkan

obema krivuljama določimo reakcije piezometriškega nivoja v Lijaku na hitra znižanja solkanskega akumulacijskega jezera. S tem je omogočena direktna primerjava obeh nihanj.

Nadaljnja analiza temelji na predpostavki, da je nihanje piezometriškega vala v Lijaku realizacija osnovnega vala, ki ga povzroči spreminjanje višine solkanske akumulacije. Faktor, ki pogojuje to razširjanje v prostoru in času, je difuzivnost. Izračunamo jo lahko na osnovi splošne enačbe piezometriške površine z upoštevanjem podatkov za osnovni in realizirani

val. Difuzivnost opisuje razširjanje tlačne motnje skozi porozno kamnino, zasičeno z vodo. Definirana je kot kvocient med transmisivnostjo T , ki v vodonosniku opisuje funkcijo prevodnika in koeficientom elastičnega vskladiščenja S , ki določa funkcijo akumulatorja. Če v enačbi širjenja piezometriških valov upoštevamo rezultate kontinuiranega merjenja nihanja nivoja vode v Lijaku in v akumulaciji, lahko ocenimo vrednost difuzivnosti kraškega vodonosnika med njima.

Na osnovi izračunane difuzivnosti in podatkov o spreminjanju gladine akumulacije HE Solkan je mogoče določiti teoretične krivulje nihanja piezometriškega nivoja v Lijaku. V splošnem lahko ob znani vrednosti difuzivnosti vodonosnika v okviru ugotovljene natančnosti določimo vpliv spreminjanja višine akumulacije na nivo podzemne vode na poljubni oddaljenosti od izhodišča.



Sl. 2: Vpliv padavin (3) in umetnega spreminjanja višine akumulacije HE Solkan (2) na piezometriški nivo v Lijaku (1). 4 - teoretična krivulja upadanja

Fig. 2: The influence of precipitations (3) and artificial oscillations in the accumulation Solkan (2) on the piezometric level in the Lijak observation well (1). 4 - theoretical regression curve

Analiza krivulje piezometriškega nivoja vode v Lijaku

Direktna primerjava med spreminjanjem višine solkanske akumulacije in nihanjem nivoja podzemne vode v Lijaku ni možna zaradi prevladujočega vpliva padavin. Dejanski krivulji nihanja zato priredimo teoretično negativno eksponencialno krivuljo, po kateri bi se zniževal piezometriški nivo, če nanj ne bi vplivalo gibanje gladine akumulacijskega jezera. Iz razlike med obema krivuljama nato določimo reakcije podzemne vode v izviru na hitre spremembe višine akumulacije. Tako dobljene vrednosti predstavljajo osnovo za nadaljnjo analizo hidrodinamičnega režima v vodonosniku.

V matematičnem smislu je zgoraj opisano obliko krivulje definirala E. Maillet (1905, po Mijatoviću 1968). Opredelil je t.i. "krivuljo praznjenja", ki podaja zmanjševanje dotoka iz rezervoarja pri pogojih brez napajanja:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot (t-t_0)} \quad (1)$$

- Q_0 dotok ob času t_0 , ko se je praznjenje začelo
 Q_t dotok ob času t
 α Mailletov koeficient praznjenja

Analogno je definirana krivulja upadanja nivoja podzemne vode, ki se prav tako obnaša kot negativna eksponencialna funkcija:

$$H_t = H_0 \cdot e^{-\alpha' \cdot (t-t_0)} \quad (2)$$

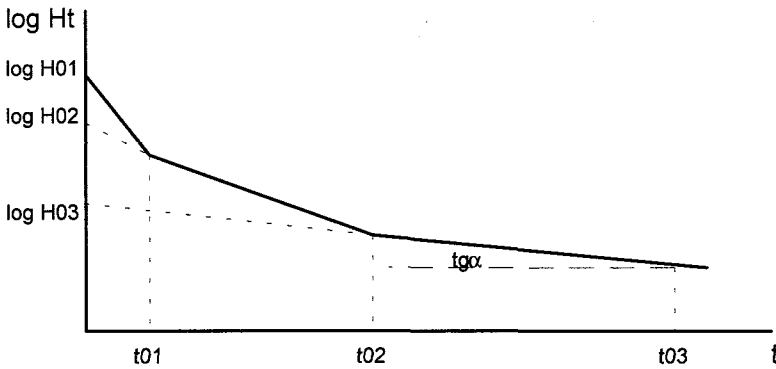
- H_0 nivo podzemne vode v času t_0 , ko se je upadanje začelo
 H_t nivo podzemne vode
 α' koeficient upadanja

Za različne hidravlične tipe kraških vodonosnikov veljajo nekoliko spremenjene oblike te enačbe. V primeru Lijaka pa lahko za obdobje srednjih in nizkih vod privzamemo laminarni režim toka, ki ga opisuje kar osnovna enačba.

Ker praznjenje vodonosnika poteka istočasno iz različnih kolektorjev od kanalov največjega preseka preko manjših kanalov in razpok do mikrorazpok, ima vsak kolektorski nivo poseben podrežim upadanja nivoja podzemne vode, ki ga opredeljuje določen koeficient α' . Enačba upadanja dobi kompleksno obliko (Mijatović 1968):

$$H_t = H_{01} \cdot e^{-\alpha'_1 \cdot (t-t_{01})} + H_{02} \cdot e^{-\alpha'_2 \cdot (t-t_{02})} + \dots + H_{0n} \cdot e^{-\alpha'_n \cdot (t-t_{0n})} \quad (3)$$

Krivulja upadanja je tako sestavljena iz posameznih odsekov, ki jih v semilogaritemskem merilu predstavljajo premice z različnim naklonom. Vsak tak odsek predstavlja poseben podrežim z značilnim koeficientom α' (sl. 3).



Sl. 3: Teoretična krivulja upadanja v semilogaritemskem merilu

Fig. 3: Theoretical regression curve in the semilogarithmic scale

Koeficient α predstavlja tangens kota, ki ga oklepa premica z absciso. Dobimo ga z logaritmiranjem iz osnovne enačbe:

$$\alpha' = \frac{\log H_0 - \log H_t}{0.4343 \cdot (t - t_0)} \quad (4)$$

Neznanki v tej enačbi, H_0 in α' , določata posamezne odseke in omogočata izračun krivulje upadanja. Določimo ju tako, da v izbranih točkah dejanske krivulje upadanja nivoja vode v Lijaku izmerimo vrednosti $H_t = f(t)$ glede na referenčni nivo 77 m. S prikazom v semilogaritemskem merilu lahko opredelimo posamezne podrežime upadanja in izračunamo koeficiente α' . Z upoštevanjem teh vrednosti v modificirani osnovni Mailletovi enačbi (2) priredimo vsaki krivulji upadanja piezometriškega nivoja v izviru ustrezno teoretično negativno eksponencialno krivuljo. Za primere na sliki 2 so dobljeni koeficienti prikazani v tabeli 1, prirejene teoretične krivulje pa na sliki 2.

Tabela 1: Vrednosti H_0 in α' za primere na sliki 2

Krivulja	t_0 (ura)	H_0 (m)	α'
3	0	0.910	0.011184
	0	10.568	0.031238
4	48	3.981	0.011790
	154	1.738	0.006348
	0	3.802	0.054468
5	25	1.274	0.010446
	104	0.589	0.002987

Izračunane krivulje se ujemajo z dejanskimi. Odstopanja, ki se pojavljajo, pa so reakcija nivoja podzemne vode v Lijaku na spreminjanje višine solkanske akumulacije in predstavljajo osnovni podatek za nadaljnjo analizo hidrodinamičnih razmer v kraškem vodonosniku.

Analiza razširjanja umetnih piezometriških valov

Z analizo razširjanja piezometriških valov lahko v danih okoliščinah opredelimo hidrodinamične lastnosti vodonosnika in ocenimo vrednost difuzivnosti. Pri tem izhajamo iz splošne enačbe toka (Boussinesq 1877; Ferris 1951; po Krivicu 1982):

$$\frac{\delta^2 H(x,t)}{\delta x^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\delta H(x,t)}{\delta t} \quad (5)$$

H(x,t)	piezometriška površina, ki se spreminja v prostoru in času
x	oddaljenost od izhodiščne točke
t	čas, od začetka pri t = 0
S	koeficient elastičnega vskladiščenja
T	transmisivnost

To je enačba nestacionarnega toka, ki opisuje pretakanje podzemne vode skozi sisteme linijskih, paralelnih prevodnikov. Rešitev diferencialne enačbe je odvisna od oblike spreminjanja proste gladine s časom. V naravi je značilno sinusno nihanje nivoja vode v vodonosnikih, ki ga zaradi periodičnosti opisujejo enostavne enačbe. S tem problemom so se ukvarjali številni avtorji, ki so postavili teoretične osnove za različne hidrodinamične modele (Krivic 1982).

V obravnavanem primeru kraškega vodonosnika med solkansko akumulacijo in izviro Lijakom pa nihanje nima oblike sinusoide. V HE Solkan namreč umetno spreminjajo nivo akumulacije glede na trenutne razmere in potrebe elektrarne, zato ima tudi spreminjanje proste gladine s časom poljubno obliko. Ker ga je nemogoče opredeliti z enačbami za periodično nihanje, je za ta posebni primer potrebno izpeljati splošno enačbo. Izpeljava predpostavlja idealizirane razmere v vodonosniku. Rešitev enačbe je funkcija $H = H(x,t)$, ki definira piezometriško površino.

Glede na robne pogoje $H(x,t) = 0$ za $t < 0$ in $H(x,t) = h_0$ za $t \geq 0$ da dvojna transformacija Carson - Laplacea rešitev temeljne enačbe, ki se po aplikaciji teorema superpozicije prehodnih stanj razširi še na bolj kompleksne primere (Bonnet & Schneider 1969 po Krivicu 1982):

$$H(x,t) = h_0 \cdot \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\Pi}} \cdot \int_0^p e^{-y^2} dy\right) + \Sigma((h_i - h_{i-1}) \cdot \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\Pi}} \cdot \int_0^r e^{-y^2} dy\right)) \quad (6)$$

kjer je

$$p = \sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t}} \quad \text{in} \quad r = \sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot (t - t_i)}}$$

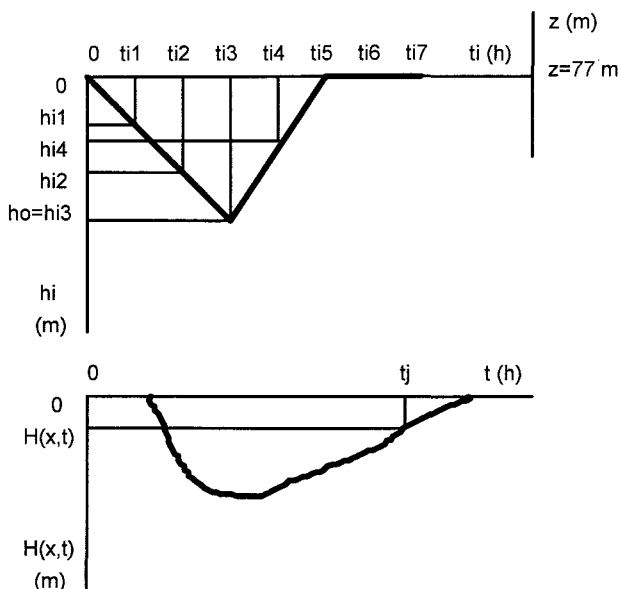
$H(x,t)$	piezometriška površina, ki se spreminja v prostoru in času
h_0	amplituda nihanja
x	oddaljenost od izhodiščne točke
t	čas, od začetka pri $t = 0$
D	difuzivnost
h_i	piezometriška površina izhodiščnega nihanja v času t_i

Izpeljano splošno enačbo piezometriške površine (6) sem uporabila pri analizi razširjanja umetnih piezometriških valov med akumulacijo HE Solkan in izvirom Lijakom. Osnovne pogoje tega širjenja opisujeta dve skupini podatkov (sl. 4). Prva obsega digitaliziran zapis spreminjanja gladine akumulacije HE Solkan in predstavlja vrednost osnovnega vala v izhodiščni točki $x = 0$. Običajno se ta gladina zadržuje na koti 77 m, kratkotrajna znižanja ali zvišanja so posledica umetnega spreminjanja nivoja jezera. Natančno obliko nihanja sem dobila z ločeno analizo za posamezne časovne intervale, ki obsegajo čas od začetka spremembe, preko intervalnega maksimuma do vrnitve v začetno stanje. V celotnem opazovalnem obdobju od 19.7.1989 do 2.6.1990 sem določila 45 različno dolgih intervalov. Drugo skupino podatkov predstavljajo nivoji podzemne vode v Lijaku. Značilne piezometriške višine sem dobila z digitaliziranjem zapisa nihanja podzemne vode, v katerem je bil na osnovi modificirane Mailletove enačbe (2) že odstranjen prevladujoč vpliv padavin. Tudi v tem primeru je referenčni nivo kota 77 m. Izražene vrednosti predstavljajo realizacijo osnovnega vala na oddaljenosti $x = 6000$ m od izhodiščne točke; torej po opravljeni poti od solkanske akumulacije do Lijaka.

Tabela podatkov obsega tako naslednje parametre (sl. 4):

h_i	za vsak interval obsega skupino podatkov o višini vode v akumulaciji glede na referenčni nivo 77 m od začetka ($t_i = 0$) do konca intervala ($t_{i,max}$) v časovnih razmikih $Dt_i = 2$ uri
t_i	čas, ki je potekel od začetka intervala do izbranega trenutka in se spreminja v vsakem intervalu od $t_i = 0$ do $t_{i,max}$.
$H(x,t)$	predstavlja podatek o piezometriški višini vode v vrtini Li - 0188 v izbranem trenutku na oddaljenosti $x = 6000$ m od izhodiščne točke po odstranitvi prevladujočega vpliva padavin; vrednosti so določene glede na referenčni nivo 77 m.
t	v vsakem intervalu trenutni čas t
x	razdalja med akumulacijo HE Solkan in izvirom Lijak; torej pot, ki jo opravi opazovani val
h_0	amplituda vsakega posameznega intervala

Vsak interval s podatki o višini vode v akumulaciji h_i predstavlja en val, ki ga opisuje splošna enačba piezometriške površine (6). V tej enačbi je ob znanih vrednostih za osnovni in realizirani val iskana neznanka difuzivnost D , ki opisuje širjenje teh valov v prostoru in času.



Sl. 4: Osnovni val akumulacije HE Solkan (zgoraj) in realizirani val v Lijaku na oddaljenosti $x = 6000$ m od izhodišča (spodaj)

Fig. 4: Basic wave of the accumulation Solkan (above) and influenced wave in the Lijak observation well at the distance $x=6000$ m from the starting - point (below)

Rešitev integrala $\int e^{-y^2} dy$ je neskončna vrsta, ki konvergira proti $0,5 \cdot \sqrt{\pi}$ (Vidav 1976). Število členov te vrste, ki pridejo v poštev pri izračunu, pa je odvisno od izbranih mej integrala. V obravnavanem primeru je pomembna zgornja meja, ki ima obliko

$$\sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t}}$$

natančnost dosežena že z izračunom prvih šestih členov neskončne vrste. Splošna enačba piezometrične površine dobi tako naslednjo obliko:

$$(7) H(x,t) = h_o \cdot \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\right) \cdot \left(y - \frac{y^3}{3} + \frac{y^5}{10} - \frac{y^7}{42} + \frac{y^9}{216} - \frac{y^{11}}{1320}\right) \Big|_0^{\sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t_j}}} +$$

$$+ \Sigma((h_i - h_{i-1}) \cdot \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\right) \cdot \left(y - \frac{y^3}{3} + \frac{y^5}{10} - \frac{y^7}{42} + \frac{y^9}{216} - \frac{y^{11}}{1320}\right) \Big|_0^{\sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot (t_j - t_i)}}}$$

kjer nastopajo isti parametri kot v enačbi (6).

Vpeljala sem nove spremenljivke:

$$m = \sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot t_j}} \quad n_m = \sqrt{\frac{x^2}{4 \cdot (t_j - t_m)}} \quad k = -\frac{2}{\sqrt{\Pi}} \quad \mu = j - 1 \quad \varepsilon = \sqrt{D}$$

in prikazala enačbo (7) v spremenjeni obliki:

$$\begin{aligned} & -H(x, t_j) + h_0 + (h_{i_1} - h_{i_0}) + (h_{i_2} - h_{i_1}) + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) + \\ & + \frac{k}{\varepsilon} \cdot (h_0 \cdot m + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1} + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2} + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}) \\ & - \frac{k}{3 \cdot \varepsilon^3} \cdot (h_0 \cdot m^3 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^3 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^3 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^3) \\ & + \frac{k}{10 \cdot \varepsilon^5} \cdot (h_0 \cdot m^5 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^5 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^5 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^5) \\ & - \frac{k}{42 \cdot \varepsilon^7} \cdot (h_0 \cdot m^7 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^7 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^7 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^7) \\ & + \frac{k}{216 \cdot \varepsilon^9} \cdot (h_0 \cdot m^9 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^9 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^9 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^9) \\ & - \frac{k}{1320 \cdot \varepsilon^{11}} \cdot (h_0 \cdot m^{11} + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^{11} + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^{11} + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^{11}) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Vrednosti v oklepaju sem izrazila kot:

$$\begin{aligned} a &= -H(x, t_j) + h_0 + (h_{i_1} - h_{i_0}) + (h_{i_2} - h_{i_1}) + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \\ b &= k \cdot (h_0 \cdot m + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1} + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2} + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}) \\ c &= -\frac{k}{3} \cdot (h_0 \cdot m^3 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^3 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^3 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^3) \\ d &= \frac{k}{10} \cdot (h_0 \cdot m^5 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^5 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^5 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^5) \\ e &= -\frac{k}{42} \cdot (h_0 \cdot m^7 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^7 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^7 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^7) \\ f &= \frac{k}{216} \cdot (h_0 \cdot m^9 + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^9 + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^9 + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^9) \\ g &= -\frac{k}{1320} \cdot (h_0 \cdot m^{11} + (h_{i_1} - h_{i_0}) \cdot n_{i_1}^{11} + (h_{i_2} - h_{i_1}) \cdot n_{i_2}^{11} + \dots + (h_{i_j} - h_{i_{\mu}}) \cdot n_{i_j}^{11}) \end{aligned} \quad (9)$$

Ob upoštevanju teh vrednosti in množenju z e^{11} dobi enačba naslednjo obliko:

$$a \cdot \varepsilon^{11} + b \cdot \varepsilon^{10} + c \cdot \varepsilon^8 + d \cdot \varepsilon^6 + e \cdot \varepsilon^4 + f \cdot \varepsilon^2 + g = 0 \quad (10)$$

Z uporabo računalniškega programa EUREKA sem določila ničle tega polinoma. Zaradi visoke stopnje polinoma in velikih vrednosti koeficientov je določitev ničel v nekaterih intervalih nezanesljiva. Vendar je primerjava rezultatov pokazala, da se v večini primerov vrednosti za e gibljejo okoli istega števila. Zato sem na osnovi teh rezultatov določila povprečno vrednost za e in po enačbi $D = \varepsilon^2$ še difuzivnost kraškega vodonosnika:

$$\begin{aligned} e_{sr} &= 734.85 \\ D &= 540\,000 \text{ m}^2/\text{h} \\ D &= 150 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

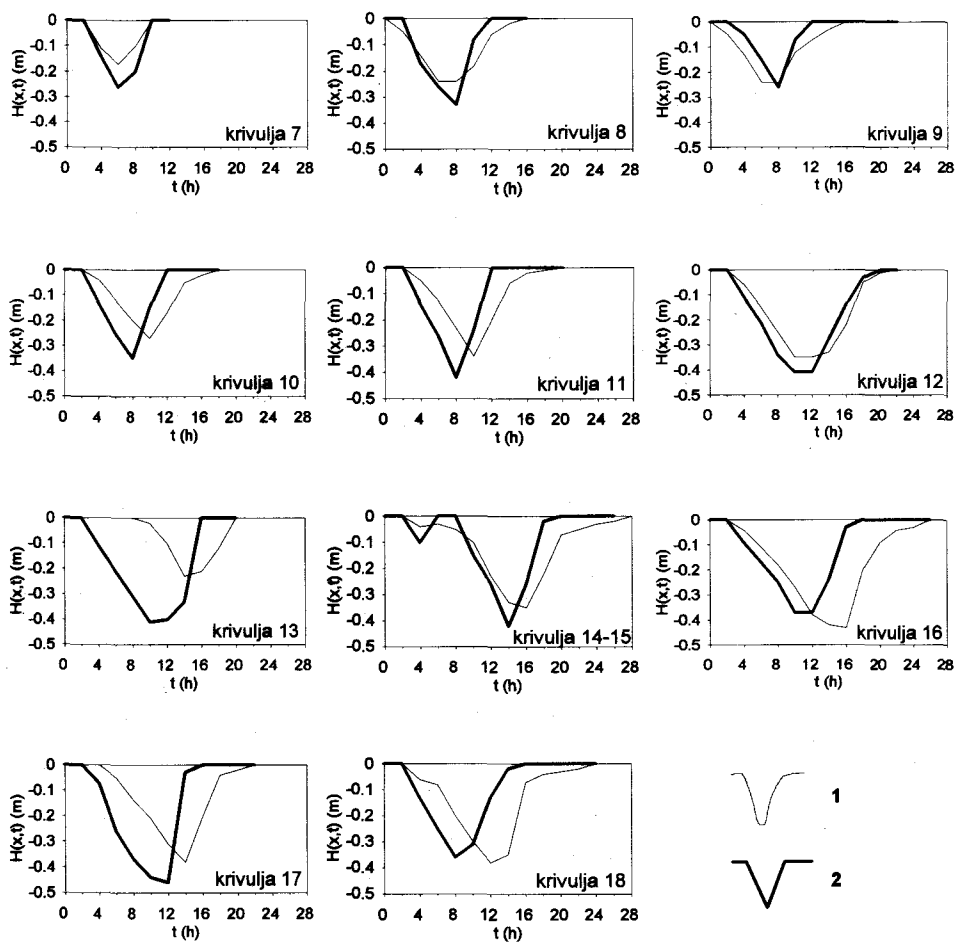
Računi, dobljeni na podlagi zapisa nihanja gladine podzemne vode v Lijaku v odvisnosti od spreminjanja nivoja vode v solkanski akumulaciji na razdalji 6000 m od izhodišča, so torej dali vrednost difuzivnosti 150 m²/s. Kontrola in vrednotenje tega rezultata bi bila možna z analizo rezultatov črpalnega poizkusa. Primerjava iz literature pa je obalni kraški vodonosnik, na katerega vpliva plimovanje v Tržaškem zalivu. S podobno metodo je bila zanj izračunana difuzivnost okrog 200 m²/s (Krivic 1982).

Izračun teoretične krivulje piezometrične površine

Na osnovi izračunane difuzivnosti in podatkov o spreminjanju gladine akumulacije HE Solkan je mogoče določiti teoretično krivuljo nihanja piezometričnega nivoja v vrtini Li - 0188. Vse našteje parametre namreč povezuje splošna enačba piezometrične površine. Vrednosti $H(x,t)$ predstavljajo realizacijo osnovnega vala, ki potuje skozi kraški vodonosnik z difuzivnostjo D na oddaljenosti x od izhodiščne točke. S pomočjo računalniškega programa sem za konstantno vrednost difuzivnosti $D=150 \text{ m}^2/\text{s}$ za vseh 45 intervalov izračunala višine $H(x,t)$. Zadostna natančnost pri izračunu integrala $\int e^{-y^2} dy$ je glede na velikost zgornje meje dosežena z upoštevanjem prvih dvaindvajsetih členov neskončne vrste. Rezultati so prikazani na sliki 5. Vsak interval je predstavljen z izračunano teoretično krivuljo in z dejansko krivuljo nihanja piezometričnega nivoja podzemne vode v Lijaku po odstranjenem prevladujočem vplivu padavin. Iz slik je jasno vidno, da se teoretične in dejanske krivulje dokaj dobro ujemajo.

Odstopanja se razlikujejo od intervala do intervala in so posledica različnih faktorjev:

- (a) Splošna enačba piezometrične površine temelji na hipotezah, ki opredeljujejo preprost model in ne upoštevajo nekaterih stranskih vplivov.
- (b) Spremembe akumulacije manjše od 0.07 m ne povzročijo reakcije piezometra.
- (c) Pri zelo počasnem upadanju nivoja vode v akumulaciji piezometer reagira šele takrat, ko sprememba preseže 0.05 m.
- (d) Razlike nastopajo v drugem delu krivulje, ki opisuje vračanje nivoja podzemne vode v začetni položaj. Pri teoretičnih krivuljah, ki sledijo umetnemu nihanju akumulacije, je



Sl. 5: Dejanske (1) in izračunane teoretične (2) krivulje nihanja podzemne vode
 Fig. 5: Real (1) and calculated theoretical (2) curves of the groundwater level oscillations

ta del strm in vrnitev v osnovno lego je hitra. Dejanska krivulja pa reagira bolj počasi in kaže postopno prilagajanje nivoja podzemne vode, ki je značilno za naravna nihanja. V nekaterih primerih je ta pojav prikrit zaradi vpliva padavin, ki povzročijo hiter dvig gladine podzemne vode.

(e) Nekatera odstopanja so tudi posledica napak pri analizi krivulje upadanja. Te so še

posebej izrazite v začetnem strmem delu, kjer je vpliv padavin največji.

(f) 21.8.1989 sta dva ločena intervala nihanja akumulacije v razponu le dveh ur. Gladina podzemne vode počasi reagira na to spremembo, zato se piezometriški krivulji zlijeta v eno samo.

(g) Na ostre spremembe nivoja akumulacije piezometer ne reagira takoj in posledica je zglajena oblika dejanske krivulje.

Pri primerjavi teoretičnih in dejanskih krivulj se je tudi pokazalo, da se gladina podzemne vode odzove na spremembo z določenim časovnim zaostankom, ki je odvisen od hitrosti širjenja valov skozi vodonosnik in se od krivulje do krivulje razlikuje. V nekaterih primerih je reakcija praktično takojšnja, v drugih pa zamuja tudi do 6 ur. Skušala sem določiti odvisnost hitrosti odziva od višine vodostaja, vendar je primerjava pokazala, da zaostanki niso pogojeni z nivojem vode v vodonosniku. Pri tem moramo upoštevati, da je bila ugotovljena občasna neuskkljenost urnih mehanizmov v Lijaku in Solkanu in si lahko različne zaostanke razlagamo tudi kot posledico teh napak. Poleg tega tudi digitalizacija krivulje nihanja podzemne vode v Lijaku ni dovolj natančna, da bi omogočala točno določitev časovnih zaostankov.

SKLEP

Kraški bruhalnik Lijak leži približno 6 km vzhodno od Nove Gorice v dnu visoke skalne zajede pod robom Trnovskega gozda. Deluje kot občasni izvir, ki le v kratkem obdobju visokih vod preliva čez neprepustno podlago. Voda izvira na kontaktu vodonosnih krednih apnencev Trnovskega gozda in neprepustnih eocenskih flišnih kamnin spodnje Vipavske doline, ki imajo vlogo bočne pregrade.

S preučevanjem in analizo piezometriškega nivoja v vrtni za izvirom je bil ugotovljen značilen kraški režim nihanja podzemne vode s kratkotrajnimi visokimi valovi in daljšimi obdobji nizkih vod ter veliko amplitudo. Porasti vodostaja so hitri, doseženemu maksimumu pa sledi upadanje po negativni eksponentni krivulji. Posebnost Lijaka so nenadne spremembe nivoja vode, ki odstopajo od te idealne krivulje in niso v nikakršni zvezi s padavinami. Ta zanimiv pojav je bil pojasnjen s primerjavo rezultatov opazovanja nihanja podzemne vode v izviru z zapisom spreminjanja gladine akumulacije HE Solkan. Že na prvi pogled je vidna zveza med obema objektoma, saj imajo hitra, kratkotrajna znižanja akumulacijskega jezera jasen odziv v limnigramu Lijaka. Izdelana kvantitativna analiza pa je to zvezo le še potrdila.

Značilnosti vodonosnika sem opredelila na osnovi analize širjenja piezometriških valov od izhodišča v solkanski akumulaciji do opazovane realizacije v Lijaku. Razširjanje teh valov v prostoru in času je pogojeno z difuzivnostjo. Ta je definirana kot kvocient med transmisivnostjo, ki v vodonosniku opredeljuje funkcijo prevodnika in koeficientom elastičnega vskladiščenja, ki opisuje funkcijo akumulatorja. Na osnovi splošne enačbe piezometriške površine sem s primerjavo osnovnega in realiziranega vala izračunala, da ima difuzivnost obravnavanega kraškega vodonosnika vrednost $150 \text{ m}^2/\text{s}$.

Na osnovi podatkov o spreminjanju višine akumulacijskega jezera in izračunane difuzivnosti sem določila še teoretično krivuljo nihanja gladine podzemne vode v Lijaku.

Zaradi privzetih poenostavitev teoretične in dejanske krivulje niso povsem enake, očitno pa je, da se ujemajo v generalnem trendu in s tem dokazujejo ugotovljeno hidravlično zvezo med akumulacijo in izviro. Dobljeni rezultati so potrdili uporabnost prikazane metode za analizo širjenja umetnih piezometriških valov v prostoru in času. Ob znani vrednosti difuzivnosti lahko v okviru ugotovljene natančnosti določimo vpliv spreminjanja višine akumulacije na nivo podzemne vode v določenem času na poljubni oddaljenost od izhodišča.

Rezultate prikazane kvantitativne metode bi bilo potrebno preveriti še z nekaterimi dodatnimi analizami. V HE Solkan in Lijaku so nadaljevali z začetimi meritvami tudi po 2.6.1990 in primerjava dobljenih zapisov bi lahko dala nove podatke o hidrodinamičnih lastnostih vodonosnika in povedala več o mejah uporabnosti prikazane metode. Podobno vlogo bi imela tudi analiza rezultatov črpalnega poizkusa na Lijaku, ki bi omogočila primerjavo izračunanih difuzivnosti. Z namestitvijo dodatnih piezometrov na različnih mestih v kraškem vodonosniku pa bi dobili še širši pregled nad pretakanjem podzemne vode in nihanjem njene gladine v kraškem vodonosniku zahodnega dela Trnovskega gozda.

LITERATURA

Objavljena dela

- Buser, S., 1968: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Gorica. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S., 1973: Tolmač lista Gorica. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Čar, J. & R. Gospodarič, 1988: Geološka zgradba in nekatere hidrološke značilnosti bruhalnika Lijaka. *Acta carsologica* 17/1 (1988), 13-32, Ljubljana.
- Janež, J., 1992: Hidrološke značilnosti kraškega bruhalnika Lijaka. *Rudarsko-metalurški zbornik* 39/1-2 (1992), 181-192, Ljubljana.
- Krivic, P., 1982: Transmission des ondes de marée a través l'aquifere côtier de Kras. *Geologija* 25/2 (1982), 309-325, Ljubljana.
- Mijatović, B. F., 1968: Metoda ispitivanja hidrodinamičnog režima kraških izdani pomoću analize krive pražnjenja i fluktuacije nivoa izdani u recesionim uslovima. *Vesnik Zav. geol. geof. istr.*, B8, 43-81, Beograd.
- Placer, L., 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. *Geologija* 24/1 (1981), 27-60, Ljubljana.
- Vidav, I., 1976: Višja matematika 3. Državna založba Slovenije, Ljubljana.

Neobjavljena dela

- Čar, J., 1987: Podrobna geološka preučitev območja Ravnice in Škabrijela. Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.
- Čar, J., 1988: Podrobna geološka preučitev območja Grgarske kotline. Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.

- Čar, J. & R. Gospodarič, 1986: Podrobna geološka preučitev okolice Lijaka. Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.
- Čar, J. & J. Janež, 1990: Opazovanje nihanja podzemne vode v piezometru Lijak 1/88 in primerjava z vodostaji akumulacije HE Solkan v obdobju 14.6.1989 - 16.6.1990. Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.
- Habič, P. & J. Čar, 1987: Strokovne osnove za zavarovanje vodnih virov in vodnih zalog Trnovsko-Banjške planote, I. faza. Osnove za določitev varstvenih območij in režimov zavarovanja. Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.

HYDRODYNAMIC REGIME OF THE KARST AQUIFER BETWEEN THE ACCUMULATION OF THE HYDRO - POWER STATION SOLKAN AND THE LIJAK EFFLUENT

SUMMARY

The karst effluent Lijak is located about 6 km to the east of Nova Gorica in the bottom of the high rocky indentation under the edge of the Trnovo plateau. It works like a temporary spring and flows over the impermeable basis only during short periods of high waters. The spring is situated on the contact between waterbearing Cretaceous limestones of the Trnovo Plateau and the impermeable barrier of Eocene flysch beds of the lower Vipava valley (Fig. 1).

The typical karst regime of the underground water level oscillations with short periods of high altitudes, longer periods of low waters and high amplitude was established by the measurements and analyses of the piezometric level in the borehole behind the spring. The raise of the water table, that follows the precipitations, is very fast. In the phase of regression the decrease of the piezometric level is described with the negative exponential curve. The peculiarity of the Lijak spring are unexpected changes in the water level, that decline from the ideal curve, and are in no connection with the precipitations. This interesting phenomena was explained with the comparison between the water level oscillations in the accumulation of the hydro-power station Solkan and the effluent Lijak. The connection between both objects is visible at first sight. Fast changes of the water height in the accumulation have an evident response in the water table of the Lijak observation well (Fig. 2). This relationship was confirmed by quantitative analyses.

For the direct comparison between both oscillations the predominated influence of the precipitations on the water level in the spring had to be removed. So first the theoretical negative regression curve was adjusted to the real curve (Fig. 2). From the differences between both curves the reactions of the piezometric level in Lijak on the fast changes of the water level in the accumulation were defined. These data were then used in further analyses.

The calculations were based on a presumption, that the reactions in the Lijak effluent are the realization of the basic waves, which are caused by water level oscillations in the accumulation. The propagation of those waves through space and time is conditioned by

the difusibility. The described parameters are defined in the general equation of the piezometric surface, which for the discussed case can be derived into equations (7), (8), (9) and (10). By the comparison between the basic and the influenced wave and on the bases of those equations the difusibility of the discussed karst aquifer $D = 150 \text{ m}^2/\text{s}$ was estimated .

From the known changes of the water level in the accumulation and calculated difusibility the theoretical curve of the water level oscillations in the effluent Lijak can be established. For the discussed case those curves are shown in Figure 5. Because of the assumed simplifications theoretical and real curves are not completely the same, but it is obvious, that they have the same general trend. Hence this method can be used for the analyses of the propagation of the artificial piezometric waves through space and time. Also the established hydrodinamic connection between the accumulation and the spring has been proved.

The results of the shown quantitative method should be checked with some additional analyses. The comparison with further measurements in the Solkan accumulation and the effluent Lijak would give some new data about the hydrodinamic properties of the karst aquifer and tell us more about the usefulness of the shown method. Through the comparison with the analyses of the pumping test data the calculated difusibility could be confirmed. With the installation of the additional piezometric boreholes on various locations in the karst aquifer also a wider overlook on the groundwater flow and the water level oscillations in the karst aquifer of the Trnovo plateau would be given.