

**OCENA EFEKTIVNE INFILTRACIJE V  
ŠTUDIJSKEM POLIGONU TIČNICE**

**ESTIMATION OF THE EFFECTIVE  
INFILTRATION IN THE TIČNICA  
EXPERIMENTAL BASIN**

**METKA PETRIČ**

**Izvleček**

UDK 556.33(497.4 Idrija)

**Metka Petrič: Ocena učinkovite infiltracije v študijskem poligonu Tičnice**

Efektivna infiltracija je podana z deležem padavinske vode, ki neposredno napaja podzemni odtok. Ker se pogoji infiltracije spreminjajo v odvisnosti od reliefnih, klimatskih, vegetacijskih in hidrogeoloških razmer, je njeno vrednost težko natančno določiti. V članku je predstavljena ena izmed možnih metod ocene tega parametra, ki temelji na preučevanju odnosov med padavinami in pretoki v eksperimentalnem bazenu. Za študijski poligon je bil izbran mali karbonatni vodonosnik Tičnice pri Idriji. S primerjavo količin vode je bila določena karakteristična vrednost učinkovite infiltracije za območja s podobnimi značilnostmi.

**Ključne besede:** učinkovita infiltracija, eksperimentalni bazen, karbonatni vodonosnik, Tičnica, Idrija, Slovenija

**Abstract**

UDC 556.33(497.4 Idrija)

**Metka Petrič: Estimation of the effective infiltration in the Tičnica experimental basin**

The effective infiltration is given with the portion of rainfall water which directly feeds the underground discharge. As the infiltration conditions change due to relief, climate, vegetation and hydrogeological conditions, it is very difficult to determine its value accurately. In the article one of the possible methods to evaluate this parameter is presented. It is based on the study of relations between precipitation and discharge in an experimental basin. As experimental basin a small carbonate aquifer of the Tičnica near Idrija was chosen. Comparing the amounts of water the characteristic value of the effective infiltration for areas with similar characteristics was determined.

**Key words:** effective infiltration, experimental basin, carbonate aquifer, Tičnica, Idrija, Slovenia

*Naslov - Address*

mag. Metka Petrič, dipl. ing. geol.

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Titov trg 2

SI - 6230 Postojna

Slovenija

## UVOD

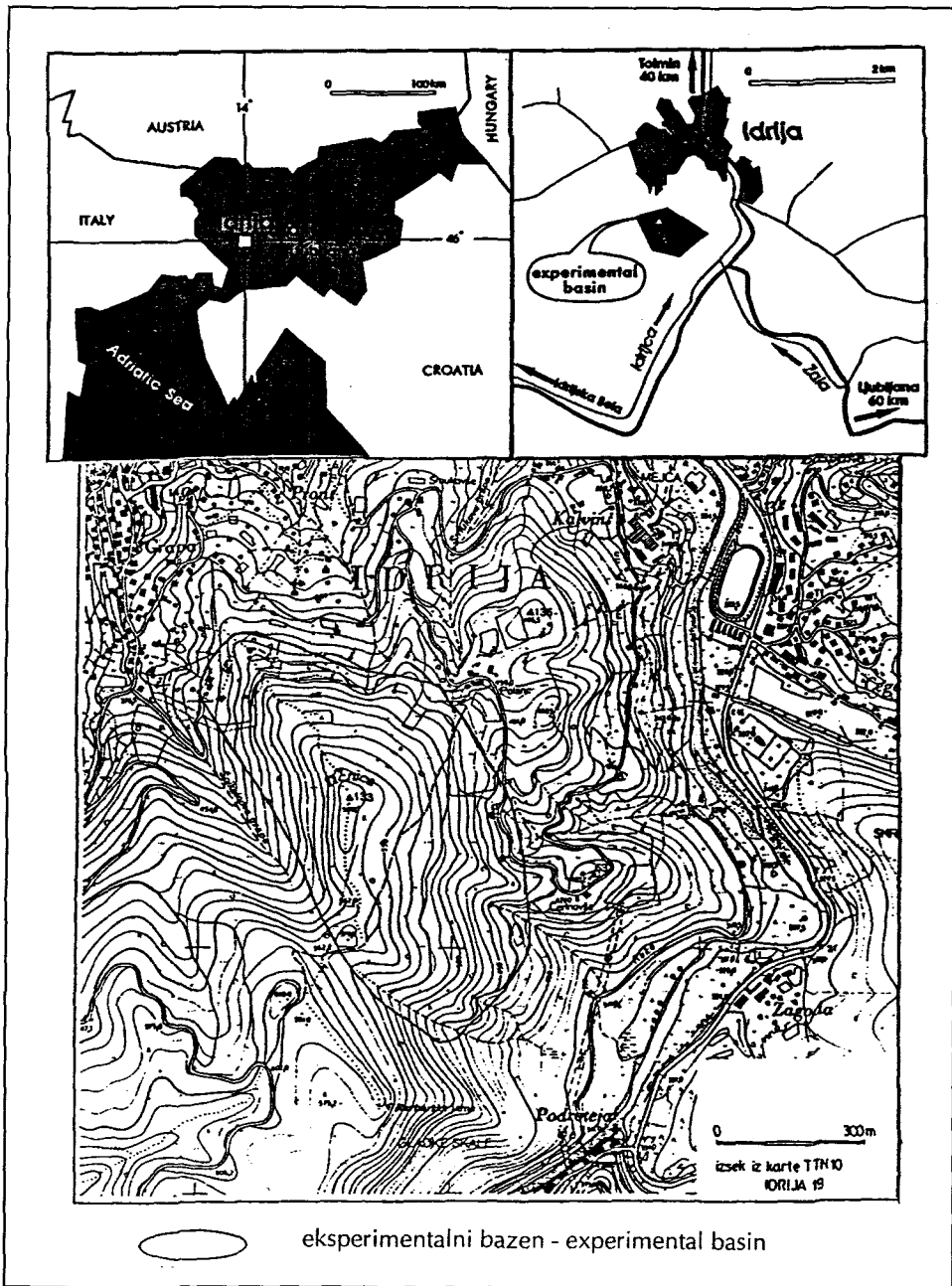
Pri preučevanju hidrogeoloških bazenov se pogosto srečujemo s problemom postavitve ustreznih odnosov med padavinami in pretoki izvirov. Eno izmed osnovnih vprašanj, ki si jih zastavljamo, se nanaša na učinkovito infiltracijo, oz. na delež padavin, ki neposredno napajajo podzemni odtok. Čeprav je vprašanje na videz enostavno, pa lahko nanj le redko natančno odgovorimo. Problem se pojavlja predvsem pri velikih bazenih, saj točne dimenzije običajno niso znane in ni možno spremljanje celotnega odtoka. Tudi splošne empirične enačbe upoštevajo samo nekatere izmed pogojev, ki vplivajo na vodno bilanco in zato ne dajejo realnih rezultatov.

Možna rešitev se ponuja z uporabo manjših eksperimentalnih bazenov, kjer lahko direktno primerjamo padavine in pretoke. Karbonatni vodonosnik Tičnice pri Idriji v severozahodni Sloveniji ima vse lastnosti takega študijskega poligona, saj so znani njegove dimenzije, sestava tal, geološka zgradba, relief in stanje vegetacije, za enoletno obdobje pa sem zbrala tudi dnevne podatke o padavinah in pretokih vseh izvirov na tem območju. S primerjavo med količino vode, ki je v času opazovanja padla na površino bazena v obliki padavin in količine vode, ki je medtem odtekla skozi vse izvire, sem lahko ocenila karakteristično vrednost učinkovite infiltracije za območja s podobnimi značilnostmi.

## OSNOVNI PODATKI O VODONOSNIKU

### GEOGRAFSKI POLOŽAJ IN TOPOGRAFSKE ZNAČILNOSTI

Hrib Tičnica se dviguje na južnem robu mesta Idrije, ki leži 35 km zahodno od Ljubljane na vzporedniku 46 severne širine in poldnevniku 14 vzhodne dolžine (slika 1). Na severni in vzhodni strani se spušča proti mestu, na jugu proti Podroteji, na zahodni strani pa je omejena s Špikelново grapo. Študijski poligon obsega karbonatni vodonosnik v zgornjem delu hriba med kmetijami Čerinovše, Polanc in Kosmač. Tičnica predstavlja mikroenoto v predalpskem hribovju zahodne Slovenije, zato je obravnavani vodonosnik primeren poligon za študij hidrodinamičnih zakonitosti na tem območju.

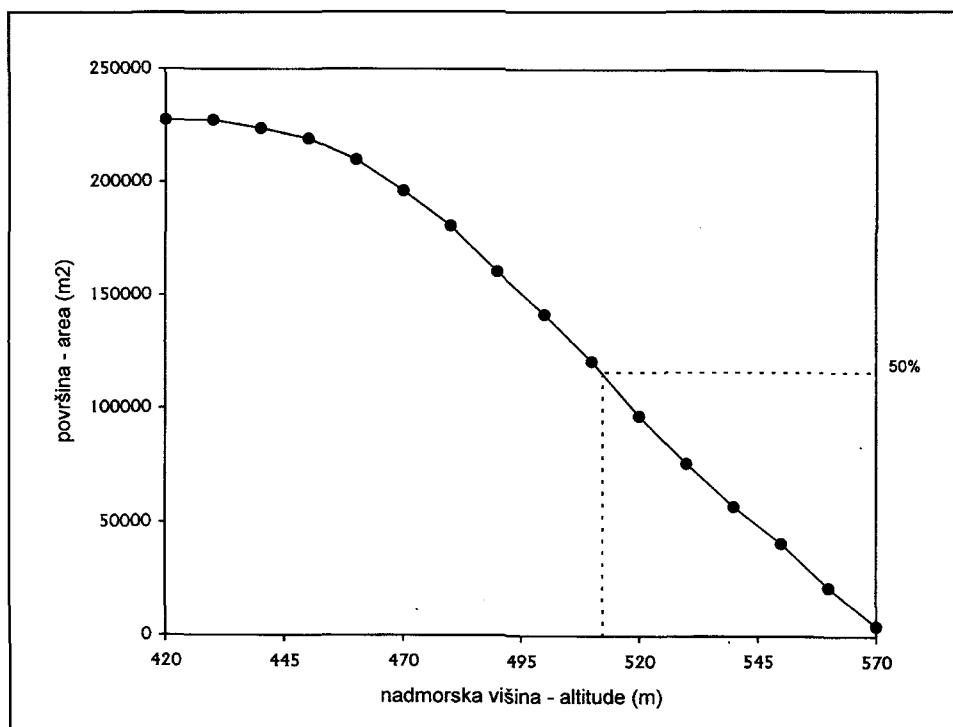


Sl. 1: Pregledna karta obravnavanega območja  
Fig. 1: Location map of the studied area

Pri opredelitvi hidrogeoloških razmer imajo pomembno vlogo topografske značilnosti ozemlja. Predvsem z vidika padavin, evapotranspiracije in deleža površinskega odtoka so pomembni parametri površina in nadmorska višina površine bazena, nagib in orientacija pobočij ter sestava tal in vegetacijskega pokrova.

Določanje površine vodonosnika je običajno zahtevna naloga predvsem zaradi težav pri natančni postavitvi njegovih mej. Pri Tičnici tega problema ni, saj so meje geološko jasno določene in predstavlja površina 227.500 m<sup>2</sup> dokaj zanesljiv podatek.

Porazdelitev površine bazena glede na nadmorsko višino je opisana s kumulativno krivuljo na sliki 2. Linearost krivulje v območju med 460 m in 570 m kaže na enakomerno razporeditev po višini. Pod 460 m se teren spusti samo v ozkem pasu na Čerinovšu. Srednja nadmorska višina obravnavanega območja je 512 m, vrh Tičnice je na 580 m, najnižja točka površine vodonosnika pa na 420 m. Tudi iz položaja izohips je razvidno, da se pobočje Tičnice enakomerno dviga od roba vodonosnika proti vrhu.



Sl. 2: Kumulativna krivulja nadmorske višine površine bazena  
Fig. 2: Cumulative curve of the basin surface altitude

Stalnih površinskih tokov ni in številne manjše grape se napolnijo z vodo samo po močnejšem deževju. Na delež površinskega odtoka zelo vpliva strmina terena. Parameter, s katerim jo običajno opisujemo, je srednji nagib pobočij, ki je definiran kot kvocient med produktom ekvidistanc izohips z njihovo skupno dolžino ter med površino bazena (Veselič 1984). Skupna dolžina izohips z ekvidistanco 10 m je na območju vodonosnika Tičnice 12400 m, površina pa 227500 m<sup>2</sup>. Razmerje med temi parametri da vrednost 0.55 oz. izraženo v stopinjah 29. Pobočja so večinoma orientirana proti vzhodu, manjši del pa proti zahodu in severu.

Pomemben vpliv na pretakanje vode in določanje tipa odtoka ima sestava tal, ki je odvisna od klime, organskih snovi, kamninske podlage, reliefa in časa. Na Tičnici je osnovna kamnina prekrita s tudi do 4 m debelo dolomitno in tufsko preperino. Posledica sestave tal na pretakanje vode se kaže z zmanjšano učinkovito infiltracijo.

Obravnavano območje je z izjemo manjše travnate površine v neposrednem zaledju izvirov pri Kosmaču v celoti poraslo z mešanim gozdom, ki ga lahko glede na njegovo sestavo uvrstimo v tip dinarskih jelovo bukovih gozdov (Kordiš 1993). Ta tip, v katerem prevladujeta bukev in jelka, je značilen za višje predele južne in jugozahodne Slovenije in se razprostira v praktično nepretrgani verigi od planot nad dolino Soče na zahodu do Bele krajine na vzhodu. Zajema večje število razgibanih gorskih planot z vmesnimi dolinami, pa tudi hribovito ozemlje s hitro spremenljivim reliefom in strmimi pobočji.

## METEOROLOŠKI PODATKI

### **Klimatske razmere**

Zaradi geografskega položaja in geomorfoloških značilnosti se klima znotraj Slovenije zelo hitro spreminja. Mešajo se mediteranski, celinski in alpski vplivi, razmere pa se še dodatno zapletajo zaradi pestre razgibanosti reliefa. V z gozdom poraščenem območju v okolici Idrije je pomemben klimatski vpliv dinarskega visokega krasa (Kordiš 1993). Značilne so razmeroma velike količine padavin, ki so razporejene tekom celega leta in imajo zelo izrazit jesenski maksimum in slabše izražen spomladanski višek. Obilne padavine so posledica visokih pregrad (Nanos, Trnovski gozd), ob katerih se zrak dviguje in ohlaja. Zaradi pospešene kondenzacije doseže v najvišjih predelih letna količina padavin tudi 3500 mm, nato pa se s spuščanjem terena proti notranjosti zniža do 1400 mm (v Idriji 2214 mm). Pomembna faktorja, ki vplivata na količino padavin, sta nadmorska višina in oddaljenost od pregradnih grebenov.

Tudi povprečna letna temperatura se spreminja v odvisnosti od nadmorske višine in sicer se na širšem območju giblje v mejah med 5°C in 8.5°C. Tičnico s temperaturami med 7.9°C in 8.2°C lahko uvrstimo v ta okvir. Za mikroklimo je pomembna še razvitost vegetacije, saj so v zavetju gozda temperaturna nihanja ublažena in je razpon med ekstremnimi vrednostmi manjši.

### Temperatura zraka

Za območje Idrije obstajajo podatki o temperaturi zraka samo za obdobji 1926-1965 in 1980-1985. Te vrednosti sem sicer uporabila za oceno dolgoletnih povprečij, manjkali pa so mi podatki za postavitve odnosov vodne bilance v času opazovanja od 1.4.1993 do 31.3.1994. Srednje mesečne temperature zraka v tem obdobju sem zato ocenila statistično z metodo multiple regresije. Osnovno primerjavo sem izvedla med povprečnimi temperaturami v letih 1980-1985 za Idrijo (I) in temperaturne postaje v bližini: Vojsko (V), Bilje (B), Novo Gorico (G) in Postojno (P).

Regresijsko enačbo sem postavila v naslednji obliki:

$$I = b_0 + b_1 \cdot V + b_2 \cdot B + b_3 \cdot G + b_4 \cdot P \quad (1)$$

Po metodi najmanjših kvadratov sem z uporabo matrik določila koeficiente  $b$ , pri katerih je bila korelacija med parametri najvišja (koeficient korelacije 0.9998) in enačbo zapisala kot:

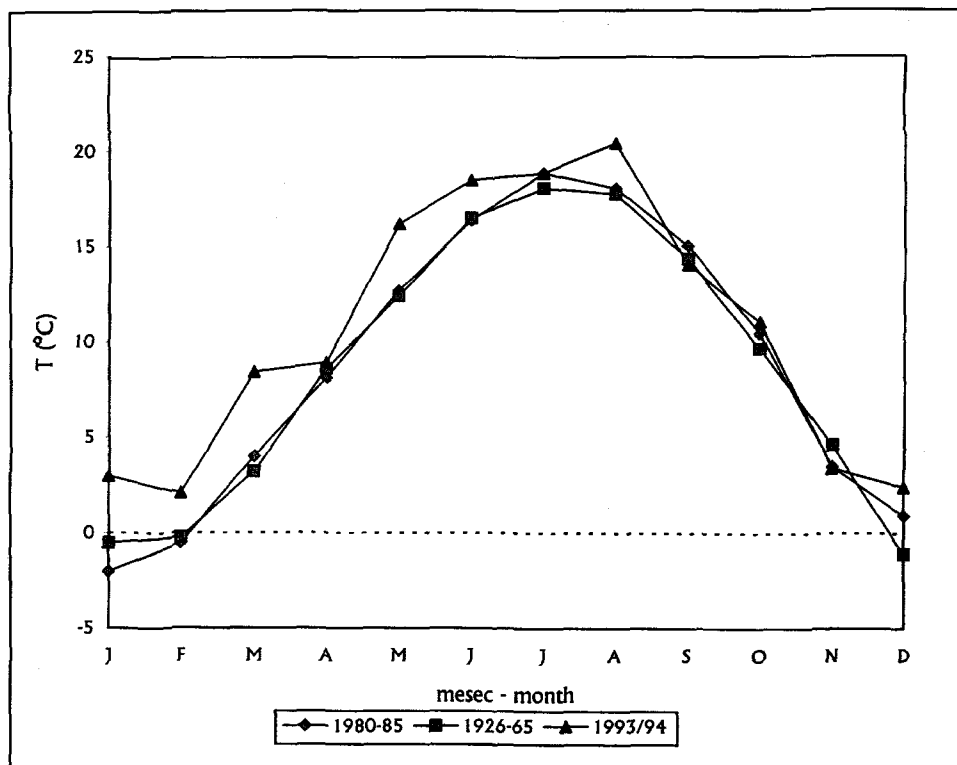
$$I = -3.72 - 0.48V + 0.06B + 0.76G + 0.73P \quad (2)$$

Po tej enačbi sem z upoštevanjem izmerjenih temperatur v izbranih postajah za obdobje 1.4.1993 - 31.3.1994 določila vrednosti temperatur zraka za območje Idrije. Natančnost uporabljene metode opisuje 3% relativna napaka, ki je še vedno v okviru sprejemljivega. Rezultati so prikazani v tabeli 1 skupaj s temperaturami za Tičnico, pri katerih je upoštevan faktor korekcije zaradi nadmorske višine. Temperatura namreč z višino pada z gradientom  $0.42^\circ \text{C}/100 \text{ m}$  (Šebenik 1986).

Srednje mesečne temperature zraka za obravnavano obdobje in dolgoletno povprečje so prikazane na sliki 3. Primerjava pokaže, da je bilo leto 1993/94 nadpovprečno segreto, saj so z izjemo jesenskih mesecev temperature višje od srednjih vrednosti. To se odraža tudi na srednji letni temperaturi  $10.6^\circ \text{C}$  za Idrijo in  $10.0^\circ \text{C}$  za Tičnico.

Tabela 1: Ocenjene srednje mesečne temperature ( $^\circ\text{C}$ ) v obdobju 1993/94 za Idrijo in Tičnico

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Idrija	8.9	16.2	18.5	18.9	20.5	14.1	11.1	3.4	2.4	3.0	2.1	8.4
Tičnica	8.3	15.6	17.9	18.3	19.9	13.5	10.5	2.8	1.8	2.4	1.5	7.8



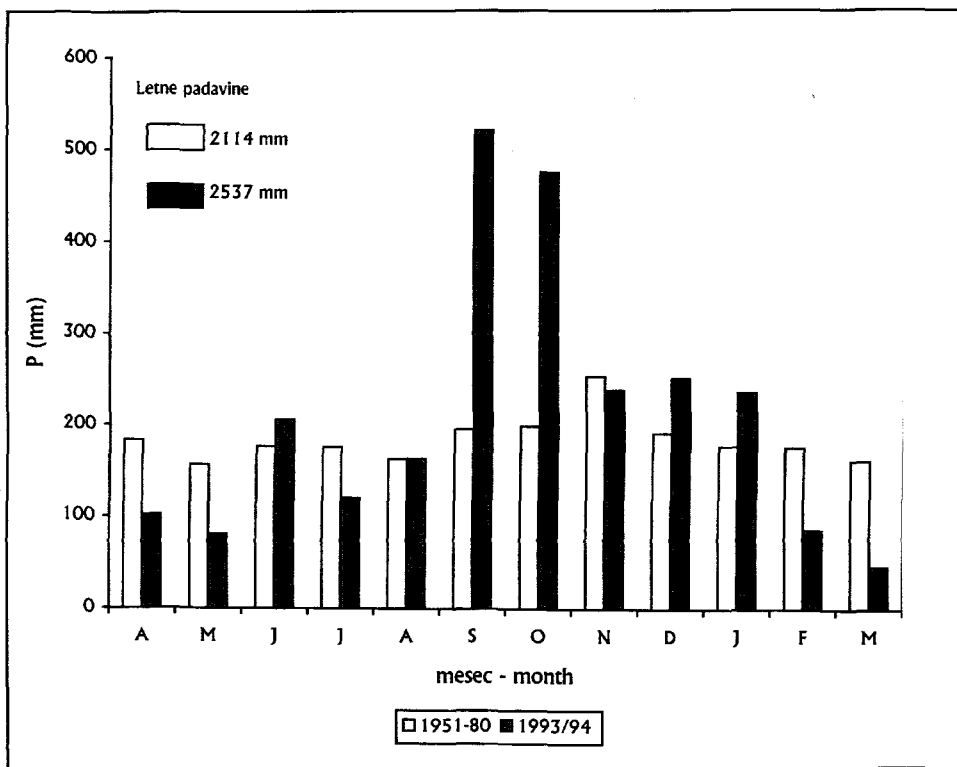
Sl. 3: Srednje mesečne temperature zraka v Idriji  
 Fig. 3: Average monthly air temperatures in Idrija

### Padavine

Opis značilnega padavinskega režima temelji na dolgoletnem povprečju za obdobje 1951-1980 (slika 4). Srednje letne padavine na območju Idrije dosežejo 2214 mm, vrednosti za posamezna leta pa se gibljejo med 1602 mm in 3039 mm. Največ padavin je jeseni z viškom v novembru, od spomladanskih mesecev pa je najbolj namočen junij. Najhujša suša je v maju, le nekaj več dežja pa pade v avgustu in februarju.

Primerjava razporeditve padavin za opazovano obdobje 1993/94 kaže na velika odstopanja od povprečja in sicer so te razlike izrazite tako v razporeditvi ekstremov kot tudi v količinah mesečnih in letnih padavin. Za obdobje 1993/94 je s skupno 2537 mm padavin značilna nadpovprečna namočenost, še posebej izrazita pa sta maksimuma v septembru in oktobru (slika 4).



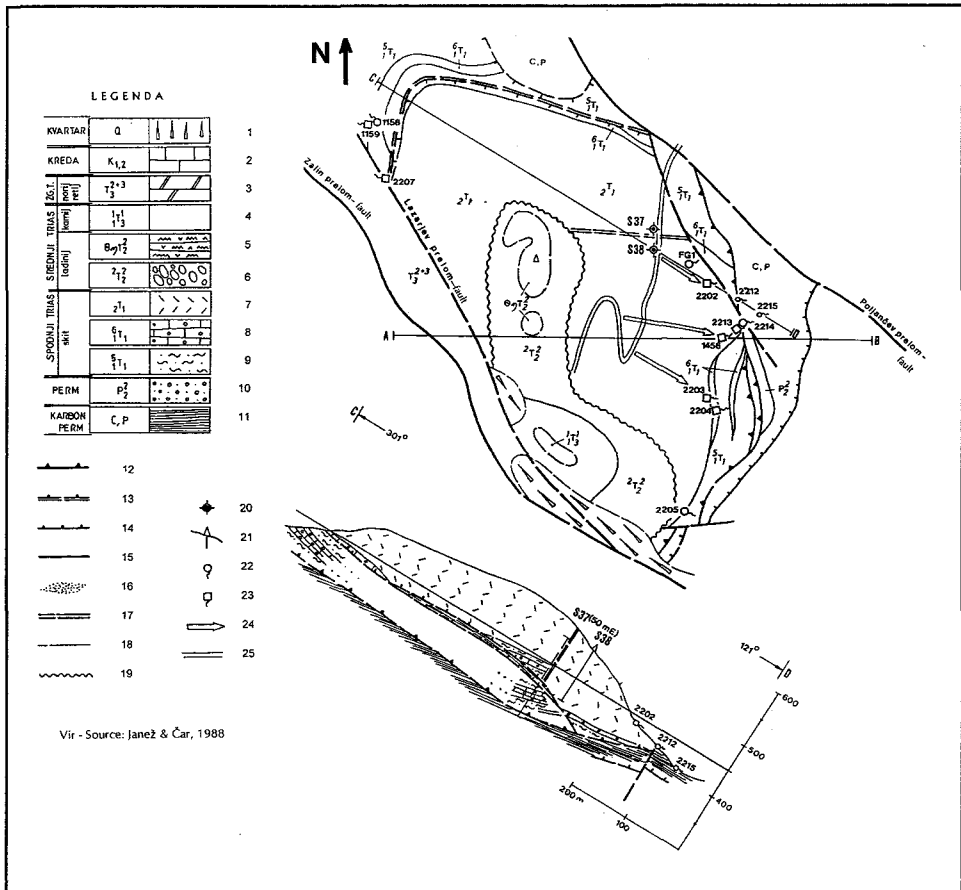


Sl. 4: Primerjava mesečnih padavin v obdobju april 1993 - marec 1994 s povprečnimi mesečnimi padavinami v obdobju 1951-1980

Fig 4: Comparison between monthly precipitation from April 1993 to March 1994 and average monthly precipitation in years 1951-1980

## GEOLOŠKA ZGRADBA

Značilnosti geološke zgradbe Tičnice sem opisala na osnovi starejših raziskav območja Idrije (Mlakar 1969; Placer 1973; Janež & Čar 1988; Čar 1995). Po projektu določitve varstvenih pasov zajetij na Čerinovšu (Janež & Čar 1988) sem povzela geološko karto in prerez (slika 5) in ju dopolnila na podlagi novih ugotovitev.



Sl. 5: Geološka zgradba in prerez Tičnice. 1 - pobočni grušč, 2 - temno sivi bituminozni apnenec, 3 - svetlo sivi in beli zrnati dolomit, 4 - beli zrnati dolomit, 5 - sivozelene tufi in tufiti z roženci, 6 - apnenčevo-dolomitni konglomerat, 7 - sivi zrnati dolomit, 8 - leče sivega oolitnega apnenca, 9 - rdečkasti meljevci in glinavci, 10 - rdečkasti do rjavosivi grōdenski peščenjak, 11 - temnosivi do črni skrilavi glinavci in meljevci, 12 - meja notranje narivne grude, 13 - dvojna narivnica, 14 - narivnica znotraj pokrova, 15 - prelom, 16 - milonitna cona, 17 - triasni prelom, 18 - normalna meja, 19 - diskordanca, 20 - vrtina (tloris), 21 - vrtina (prerez), 22 - nezajeti izvir s katastrsko številko, 23 - zajeti izvir s katastrsko številko, 24 - dokazana smer pretakanja podzemne vode, 25 - gozdna cesta (Risal: A. Albreht)

Fig. 5: Geological map and cross-section of Tičnica. 1 - slope rubble, 2 - dark grey bituminous limestone, 3 - light grey and white granular dolomite, 4 - white granular dolomite, 5 - grey-greenish tuff and tuffit with chert, 6 - limestone-dolomitic conglomerate, 7 - grey granular dolomite, 8 - lenses of grey oolitic limestone, 9 - reddish siltstones and claystones, 10 - reddish to brown-grey Grōden sandstone, 11 - dark grey to black shale claystones and siltstones, 12 - border of inner thrust sheet, 13 - double thrust plane, 14 - thrust plane within the nappe, 15 - fault, 16 - milonitic zone, 17 - Triassic fault, 18 - normal border, 19 - discordance, 20 - borehole (ground plan), 21 - borehole (cross-section), 22 - uncaptured spring with cadastre number, 23 - captured spring with cadastre number, 24 - proved direction of underground water flow, 25 - forest road (Drawn by: A. Albreht)

Območje Idrije predstavlja majhen izsek iz krovne zgradbe jugozahodne Slovenije. Tičnica pripada Tičenski notranji narivni grudi, ki je narinjena na Idrijsko notranjo narivno grudo in predstavlja del Trnovskega pokrova. Glede na ugotovljene tektonske razmere jo razdelimo na 3 etaže (Čar 1995). Spodnja je Čerinova tektonska luska s spodnjeskitskimi meljevci in glinavci z vložki oolitnih apnencev, ki je od karbonskih in permskih klastitov Idrijske notranje narivne grude ločena s Tičensko narivnico. Navzgor preko narivnega stika znotraj pokrova sledi ozka cona karbonskih in permskih skrilavih glinavcev in meljevcev Kalanove tektonske luske. Vrhnji in hkrati osrednji del Tičnice pa gradijo spodnjeskitski meljevci in glinavci z vložki oolitnih apnencev, zgornjeskitski zrnati dolomit, ladinijski apnenčevo-dolomitni konglomerat ter tufi in tufiti z roženci. Od druge etaže so ločeni z narivnico znotraj pokrova in pripadajo Čukovi tektonski enoti. Tičnica je torej sestavljena iz dveh vodonosnih enot, ki ju loči vmesna cona paleozojskih klastitov.

Narivna zgradba je v neotektonski fazi doživela dodatne spremembe zaradi številnih zmikov. Na območju Idrije je najpomembnejši Idrijski prelom, ki predstavlja tektonsko strukturo regionalnih razsežnosti, v zvezi z vodonosnikom

Tičnice pa so zanimivi nekateri spremljajoči prelomi. Jugo zahodno mejo Tičenske notranje narivne grude predstavlja Lazarjev prelom, Poljančev prelom na severovzhodni strani pa omejuje blok Tičnice znotraj širšega območja Tičenske notranje narivne grude.

## **HIDROGEOLOŠKE RAZMERE**

### **HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI**

Kamnine na območju vodonosnika Tičnice lahko glede na hidrogeološke karakteristike uvrstimo v dva razreda. V prvem razredu prepustnih kamnin z razpoklinsko poroznostjo so spodnjeskitski oolitni apnenec, zgornjeskitski dolomit in ladinjski konglomerat. Drugo skupino predstavljajo neprepustne plasti: paleozojski skrilavi glinavci in peščenjaki, spodnjeskitski klastiti in ladinjske piroklastične kamnine. Vodonosnik se je razvil predvsem zaradi ugodnega strukturnega položaja vodonosnih kamnin na stiku z neprepustno podlago. Na osnovi ugotovljene geološke zgradbe ga lahko razdelimo v dva dela. Njegov osrednji del gradi zgornjeskitski dolomit, ki je v območju prelomnih in narivnih struktur pretrt do stopnje zdrobljene cone (milonitna moka), drugod pa le do stopnje razpoklinskih con. V dolomitu se pojavljajo do 1 cm široke vertikalne razpoke, ki so lahko tudi korozijsko razširjene. Zakraselost se kaže v žepih na površini, ki so zapolnjeni s preperino. Edini vir napajanja so padavine, podzemna voda pa odteka proti izvirom na Čerinovšu. Spodnji del vodonosnika predstavljajo oolitni apneneci v spodnjeskitskih meljevcih in glinavcih, ki so z ozkim pasom Kalanove tektonske luske ločeni od zgornje cone in se drenirajo proti izvirom pri Kosmaču.

Geometrija vodonosnika je definirana z njegovo geološko zgradbo. Spodnjo mejo predstavlja Tičenska narivnica, ki ga loči od neprepustnih skrilavih kamnin karbonske in permske starosti. Narivnica je vbočena in gradi ugodno strukturo za akumuliranje podzemne vode. Tudi bočne meje poligona na severni, vzhodni in južni strani so neprepustne karbonske, permske in skitske plasti, na zahodu pa ga omejuje milonitiziran zgornjetriasni dolomit ob Lazarjevem prelomu. Čeprav je vodonosnik zgrajen iz dveh delov z različnim hidrodinamičnim režimom, ga pri izračunu efektivne infiltracije obravnavam kot celoto. Edini vir napajanja so padavine, podzemni odtok pa sem spremljala z merjenjem pretoka izvirov na Čerinovšu in pri Kosmaču.

### **PODATKI O IZVIRIH**

Izvi re na območju Tičnice razdelimo glede na njihovo lego v dve skupini (slika 5). Na južnem in vzhodnem robu so izviri na Čerinovšu, ki drenirajo zgornji dolomitni del vodonosnika in jih označujemo z naslednjimi katastrskimi številkami: 2205, 2204, 2203, 1456, 2213, 2214, 2215, 2212, 2202 in FG1 (v smeri od juga proti severu). Izviri pri Kosmaču na severozahodnem robu z oznakami 1158, 1159, 2207 in 2208 pa so povezani s spodnjim delom

vodonosnika z oolitnimi apnenci. Pri računanju efektivne infiltracije sem vse izvire obravnavala skupaj, saj me je zanimal celotni iztok iz vodonosnika.

## IZMERJENE VREDNOSTI

### PADAVINE

Po večletni prekinitvi je začela leta 1993 padavinska postaja v Idriji spet delovati. V času opazovanja od 1.4.1993 do 31.3.1994 je Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije izvajal dnevne meritve količine padavin z ombrometrom. V aprilu in maju predstavljata praktično edine zaznavne padavine 5-dnevni deževni obdobji v sredini meseca. Več padavin je bilo junija, vendar dnevne količine ne presežejo 43 mm. V juliju in avgustu so bile z izjemo močnejšega dežja 27. julija (60 mm) in v obdobju od 26. do 29. avgusta (skupaj 156 mm, dnevni maksimum 90 mm) padavine le občasne. Tudi njihova intenziteta je bila zelo majhna, saj ne presežejo 20 mm. Največ padavin je bilo septembra, ko je deževalo kar 18 dni (maksimalno 90 mm), le malo manj pa oktobra z maksimalno količino 273 mm v 5-dnevnem intervalu od 21. do 25. oktobra. Novembra so bile padavine sicer pogoste in enakomerno razporejene, vendar dnevne količine ne presežejo 40 mm. Konec novembra in v začetku decembra je bilo obdobje brez padavin, v drugi polovici decembra pa je padla celotna mesečna količina 253 mm. 15. decembra je bil s 95 mm dosežen tudi dnevni maksimum opazovanega obdobja. V prvi polovici januarja so bile padavine še pogoste (do 81 mm dnevno), nato pa v februarju in marcu 1994 le občasne z dnevnimi vrednostmi do 24 mm.

### PRETOK IZVIROV

Tudi pretoke izvirov sem v obdobju od 1.4.1993 do 31.3.1994 beležila enkrat dnevno. Izjema so bila daljša obdobja brez padavin, ko sem interval merjenja podaljšala na 2 do 3 dni. V teh primerih so bile spremembe pretokov tako majhne, da sem lahko te vrednosti ocenila iz krivulj praznjenja. Sodim, da tako pridobljena napaka ne izstopa iz siceršnjih okvirov natančnosti. Manjša je baza podatkov za izvira 1456 in 2202, ki dajeta del vode v skupni rezervoar, natančno pa lahko merimo samo preliv iz zbiralnika. Pri obdelavi sem zato upoštevala le podatke za obdobje 1.7.1993 - 25.12.1993, ko sta bila izvira zaradi neustrezne kvalitete izključena iz vodovodnega omrežja. Dotok v rezervoar je bil zaprt in na izvirnem mestu je bilo možno meriti celoten pretok za 1456 in 2202.

## OCENA DELEŽA INFILTRACIJE

### PREDSTAVITEV METODE

Infiltracija je eden bistvenih procesov za dinamiko podzemne vode. Predstavlja količino vode, ki se pretoči skozi površinski sloj tal. Odvisna je od časa

trajanja padavin, stopnje predhodne zasičenosti tal z vlago, stanja vegetacije, tal in geološke podlage ter nagiba terena. Efektivna infiltracija pa je podana z deležem padavinske vode, ki neposredno napaja podzemni odtok. Nastopi šele takrat, ko se porabi voda za evapotranspiracijo in napolnitev deficita vlažnosti.

Faktorje, ki vplivajo na infiltracijo, je kvantitativno zelo težko opredeliti. Težave nastopijo zaradi nepoznavanja točnih mej vodonosnikov, pa tudi merjenje ostalih parametrov vodne bilance je zamudno in drago. Splošne empirične enačbe upoštevajo samo nekatere izmed teh faktorjev in zato ne dajejo realnih rezultatov. Ena izmed možnih metod, s katero bi lahko rešili ta problem, je usmeritev raziskav na manjše vodonosnike s točno določenimi mejami, znano geološko zgradbo in možnostjo postavitve opazovalnih točk na vseh pomembnih lokacijah, pri katerih lahko ovrednotimo dobljene rezultate in postavimo splošne odnose. S primerjavo med količino vode, ki v določenem obdobju opazovanja pade na površino bazena v obliki padavin in količine vode, ki v tem času odteče skozi vse izvire, lahko ocenimo karakteristično vrednost efektivne infiltracije za območja s podobnimi značilnostmi.

Karbonatni vodonosnik Tičnice ima take lastnosti eksperimentalnega bazena. Majhne dimenzije in znana geometrija sta omogočila postavitve študijskega poligona. Njegove meje in geološka zgradba so s površinskim kartiranjem in raziskovalnimi vrtinami zelo zanesljivo določene. Na severni, vzhodni in južni strani je omejen z neprepustnimi plastmi, na zahodni pa z milonitiziranim dolomitom ob Lazarjevem prelomu. V globino so vodonosne plasti omejene s Tičensko narivnico in neprepustnimi karbonskimi in permskimi klastiti. Edini vir napajanja predstavljajo padavine, za katere lahko kot reprezentativne privzamemo podatke s padavinske postaje Idrija. Iztok iz vodonosnika pa spremljamo z merjenjem pretoka izvirov na Čerinovšu in pri Kosmaču.

### IZRAČUN EFEKTIVNE INFILTRACIJE ZA VODONOSNIK TIČNICE

V študijskem poligonu vodonosnika Tičnice sem torej zbrala podatke o dnevnih padavinah in pretokih izvirov za enoletno obdobje opazovanja od 1. aprila 1993 do 31. marca 1994 (Petrič 1995). Efektivno infiltracijo oziroma delež padavin, ki neposredno napajajo podzemni odtok, sem izračunala po naslednji enačbi:

$$I_{ef} = \frac{Q_m \cdot t}{P_0 \cdot F} \quad (3)$$

kjer je:

- $I_{ef}$  infiltracija v določenem časovnem obdobju izražena v % padavin
- $Q_m$  skupna izdatnost izvirov v istem času
- $t$  trajanje osnovne enote merjenja (1dan = 86400 s)

- F površina vodonosnika  
P<sub>0</sub> skupne padavine v obravnavanem obdobju izražene v mm vodnega stolpca

Ker so bili pretoki nekaterih izvirov merjeni samo pol leta, sem efektivno infiltracijo najprej izračunala za obdobje od julija do decembra 1993. Za tri majhne, občasne izvire izdatnosti ni bilo možno določiti, obstaja pa tudi možnost, da se nekaj vode izceja skozi skrite izvire. Količino iztekle vode, ki ni bila merjena, sem na osnovi primerjave z opazovanimi izviri ocenila na 0.1 l/s. Upoštevanje skritega pretoka pri skupni izdatnosti izvirov spremeni vrednost infiltracije za 1 %. Napaka, ki sem jo na ta način naredila, je približno 5 % in je še vedno v okvirih sprejemljivega. Efektivno infiltracijo za vodonosnik Tičnice sem tako po enačbi (3) določila za posamezne mesece in letne čase v obdobju od julija do decembra 1993 (tabela 2).

Analiza dobljenih vrednosti pa je pokazala, da izračunane mesečne efektivne infiltracije ne kažejo realne slike. Uporabljena poenostavljena metoda ne upošteva razlik v stanju vodnih zalog, ki so za posamezne mesece očitne. Te razlike lahko zanemarimo samo pri računanju efektivne infiltracije za celotno obdobje opazovanja od aprila 1993 do marca 1994. Nivo podzemne vode v dveh vrtinah na območju Tičnice je namreč na začetku in koncu opazovanja praktično na enaki višini, kar kaže na zanemarljivo majhno spremembo stanja vodnih zalog. Ker pretoki nekaterih izvirov niso bili stalno merjeni, sem oceno povprečne infiltracije za enoletno obdobje omejila samo na jugozahodni del Tičnice. Na ta način sem ločila severovzhodni del, ki se drenira v izvire 2202, FG1, 1456, 2213 in 2214 s podatki o pretokih le za 6 mesecev. Mejo sem potegnila od severnega roba vodonosnika po grebenu do vrha Tičnice, od tu pa po stranskem grebenu proti jugovzhodu do kmetije Čerinovše. Po enačbi (3) sem za jugozahodni del s površino 162400 m<sup>2</sup> nato ocenila efektivno infiltracijo za celotno obdobje opazovanja od 1.4.1993 do 31.3.1994 (tabela 2). Primerjava rezultatov obeh izračunov je pokazala, da se vrednosti v poletnih in jesenskih mesecih dobro ujemajo. Zato sem tudi povprečno letno efektivno infiltracijo, izračunano v jugozahodnem delu, privzela za celotno območje Tičnice. Dobljena vrednost 17 % pove, da je delež padavin, ki napajajo podzemni odtok, majhen. Večji del vode, ki pade na površino vodonosnika v obliki padavin, torej odteče kot površinski tok ali pa se z evapotranspiracijo vrača v atmosfero. Strm relief in debela plast preperine sta vzroka za velik delež površinskega odtoka, zaradi goste poraslosti z mešanim gozdom pa je velika tudi evapotranspiracija.

	Tičnica		J-Z del Tičnice	
	$I_{ef}$ (%) mesec	$I_{ef}$ (%) letni čas	$I_{ef}$ (%) mesec	$I_{ef}$ (%) letni čas
A			18	
M			8	12
J			10	
J	5		4	
A	11	14	10	14
S	17		17	
O	20		18	
N	28	19	29	18
D	16		16	
J			23	
F			30	28
M			42	
L			17	

Tabela 2: Ocena efektivne infiltracije

### OCENA VODNE BILANCE

Vhodno komponento vodonosnega sistema predstavljajo padavine. Z vodno bilanco pa skušamo določiti posamezne elemente v sistemu, na katere lahko razdelimo to začetno količino. V primeru Tičnice sem uporabila poenostavljeno bilanco s štirimi parametri: padavinami, evapotranspiracijo, površinskim in podzemnim odtokom. Predpostavila sem namreč, da so vodne rezerve v vodonosniku na začetku in koncu opazovalnega obdobja enake (majhne razlike v piezometričnih nivojih) in jih zato lahko izključimo iz bilančne enačbe. Evapotranspiracija obsega delež vode, ki se z izhlapevanjem oz. transpiracijo rastlin vrača v atmosfero. Površinski odtok je definiran kot ves odtok padavinske vode, pri katerem voda ne ponikne pod površino terena, podzemni odtok pa predstavlja del padavin, ki se je infiltriral in ga lahko beležimo kot pretok izvirov. Bilančno enačbo sem izrazila z odstotnimi deleži padavin, ki napajajo posamezne elemente (evapotranspiracija, podzemni odtok, površinski odtok), pa sem privzela efektivno infiltracijo 17 %. Izmerjenih podatkov o evapotranspiraciji in površinskem odtoku nimam, zato sem skušala vrednosti vsaj približno oceniti. Za izračun evapotranspiracije sem uporabila različne metode.



### Metoda po Thornthwaitu

Thornthwaite je postavil enostavno empirično enačbo, pri kateri potencialno mesečno evapotranspiracijo izračunamo na osnovi mesečnih temperatur zraka (Veselič 1975):

$$ETP = \sum_{i=1}^{12} 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_i}{I}\right)^a$$
$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1.514} \quad (4)$$

$$a = \frac{1.6}{100} \cdot I + 0.5$$

kjer je:

ETP potencialna letna evapotranspiracija (mm)

$T_i$  srednje mesečne temperature v obravnavanem obdobju (mm)

$t_i$  povprečje mesečnih temperatur v daljšem časovnem obdobju (mm)

$I$  letni termični indeks

$a$  empirični koeficient

Thornthwaite in Mather sta enačbo dopolnila še s korekcijskim faktorjem  $f$ , ki ga izračunamo na osnovi dolžine astronomskega dneva  $N$  in števila dni  $d$  v mesecu (Schrödter 1985):

$$f = \frac{N \cdot d}{12 \cdot 30} \quad \text{in} \quad ETP_f = f \cdot ETP \quad (5)$$

Ker na območju Idrije trenutno ni temperaturne postaje, sem srednje mesečne temperature za čas opazovanja od aprila 1993 do marca 1994 določila na osnovi statistične primerjave s temperaturnimi postajami v bližini (Vojsko, Bilje, Nova Gorica in Postojna). Postopek statistične analize je predstavljen v poglavju o temperaturi zraka, ocenjene temperature pa v tabeli 1. Dolžino astronomskega dneva sem za pas  $46^\circ$  severne širine privzela iz astronomskih tabel. Vsi potrebni podatki in izračunane vrednosti so zbrani v tabeli 3:

Tabela 3: Podatki za izračun potencialne evapotranspiracije (mm) po Thornthwaitu

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	L
t - Idrija	8.1	12.7	16.4	18.9	18.1	15.1	10.5	3.5	0.9	-2.0	-0.5	4.0	8.8
t - Tičnica	7.5	12.1	15.8	18.3	17.5	14.5	9.9	2.9	0.3	-2.6	-1.1	3.4	8.2
I	1.85	3.81	5.71	7.13	6.66	5.01	2.81	0.44	0.01			0.56	34.08
T - Idrija	8.9	16.2	18.5	18.9	20.5	14.1	11.1	3.4	2.4	3.0	2.1	8.4	10.6
T - Tičnica	8.3	15.6	17.9	18.3	19.9	13.5	10.5	2.8	1.8	2.4	1.5	7.8	10.0
N	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7	9.1	10.4	11.9	
d	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	365
f	1.13	1.28	1.31	1.33	1.22	1.05	0.94	0.79	0.75	0.78	0.81	1.02	
ETP <sub>f</sub>	45.8	100.4	118.6	123.2	123.4	70.8	48.7	10.3	6.2			38.8	<b>686.2</b>

Uporabljena metoda je dala vrednost letne potencialne evapotranspiracije okrog 686 mm. Po Thornthwaitu (Veselič 1984) sem realno evapotranspiracijo ocenila na osnovi primerjave z mesečnimi padavinami v obravnavanem obdobju, ki je prikazana v tabeli 4:

Tabela 4: Primerjava med potencialno evapotranspiracijo in padavinami (v mm)

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	L
ETP <sub>f</sub>	45.8	100.4	118.6	123.2	123.4	70.8	48.7	10.3	6.2			38.8	686.2
P	101.7	81.0	206.1	120.7	163.5	522.7	477.6	239.8	253.0	237.3	87.0	46.9	2537.0

Osnovna ideja metode je v tem, da je pri mesecih, kjer je količina padavin večja od potencialne evapotranspiracije, realna evapotranspiracija enaka potencialni. Kadar je padavin manj, primanjkljaj lahko nadoknadijo vskladiščene zaloge vode. Če so tudi te porabljene, je realna evapotranspiracija manjša od potencialne. Primerjava za poligon Tičnice v tabeli 4 kaže na višek padavin. Izjema sta meseca maj in julij, ko je  $ETP_f > P$ . Tudi za ta dva meseca pa zaradi obilnih predhodnih padavin sklepam, da so zaloge v vodonosniku zadostne za nadomestitev deficita vode. Zato sem za obravnavani vodonosnik privzela, da je realna evapotranspiracija enaka potencialni in sicer je njena letna količina 686 mm oz. 27 % od celotne količine padavin.

### Metoda po Turcu

Pri tej metodi predpostavimo, da je evapotranspiracija enaka odtočnemu deficitu  $D$ , oz. razliki med padavinami in odtokom (Veselič 1984):

$$D = P - Q = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (6)$$

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$$

kjer so:

P letne padavine (mm)

T srednja letna temperatura (°C)

Formula je postavljena za vrednosti  $P$  in  $T$ , ki se nanašajo na dolgoletna povprečja. Zato sem za območje Tičnice upoštevala srednje letne padavine 2214 mm za obdobje 1951-1980, srednjo temperaturo 8.0 °C pa sem dobila s primerjavo med obdobji 1926-1965 in 1980-1985. Na osnovi teh parametrov sem po zgornjih enačbah (6) določila odtočni deficit  $D=513$  mm. Ta vrednost predstavlja približno oceno evapotranspiracije. Po primerjavi s padavinami lahko povzamem, da se v povprečnem letu 23 % padavin vrača v atmosfero z evapotranspiracijo.

Za primerjavo sem v enačbe (6) vstavila še parametre za obdobje 1993/94. Pri skupni količini padavin 2537 mm in povprečni temperaturi 10.0 °C znaša odtočni deficit 585 mm. Delež evapotranspiracije je torej prav tako 23 %.

### Metoda po Vacherju

Vacher (1971) je namesto Turcove enačbe za majhne alpske razpoklinske vodonosnike predlagal naslednji način izračuna odtočnega deficita  $D$ :

$$D = P \cdot (38 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 12 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0.085 \pm 0.035) \quad (7)$$

kjer so oznake enake kot pri enačbi (6). Če sem upoštevala tudi enake vrednosti parametrov  $T$  in  $P$  kot zgoraj, sem dobila velikost odtočnega deficita med 862 mm in 1017 mm oz. med 39 % in 46 % za povprečno leto ter med 1395 mm in 1573 mm oz. med 55 % in 62 % za obdobje 1993/94.

## **Primerjava uporabljenih metod**

Če torej v bilančno enačbo vključim podzemni odtok 17 % in evapotranspiracijo 27 % (po Thornthwaitu), odpade na površinski odtok 56 % vseh padavin. Podobne rezultate sem z evaporacijo 23 % in površinskim odtokom 60 % dobila pri uporabi metode Turca. Večji vpliv evapotranspiracije pa predvideva metoda Vacherja, kjer je pri evapotranspiraciji 39 % oz. 46 % delež površinskega odtoka 44 % oz. 37 % za povprečno leto ter pri evapotranspiraciji med 55 % in 62 % delež površinskega odtoka med 28 % in 21 % za podatke v obdobju 1993/94. Pri teh ocenah še enkrat poudarjam, da je evapotranspiracija določena na osnovi enostavnih empiričnih enačb, ki dajejo le približne rezultate.

V praksi so vrednosti potencialne evapotranspiracije največkrat izračunane na osnovi modificirane Penmanove enačbe, ki upošteva dnevne podatke o temperaturi, vlagi, vetru in osončenju. Vendar za Tičnico njena uporaba ni bila možna, saj območje Idrije nima meteorološke postaje s kvalitetnimi potrebnimi podatki. Zanimiva pa je primerjava z vrednostmi, ki so bile po tej metodi določene za nekatere druge lokacije v zahodni Sloveniji. V zaledju izvira Hublja na Trnovski planoti je bila za leto 1993 skupna količina padavin na padavinski postaji Otlica 2249 mm, po modificirani Penmanovi enčbi izračunana potencialna evapotranspiracija pa 637 mm ali 28 %. Nekoliko manj padavin je bilo s 1822 mm v letu 1994, delež evapotranspiracije s 628 mm 34 % (Avbelj, 1995). Za isto območje je bilo za obdobje 1959-1979 evapotranspiracija ocenjena na 687 mm oz. 29 % pri povprečni letni količini padavin 2380 mm (Stahl, 1994). Dolgoletna povprečja so bila upoštevana tudi pri njeni oceni za Bilje in Ljubljano (Pristov, 1994). V intervalu 1961-1990 je v Biljah padlo povprečno 1455 mm padavin in evapotranspiracija je bila ocenjena na 770 mm ali 53 %, v Ljubljani pa na 735 mm oz. 53 % pri 1390 mm letnih padavin. Na podoben način je Matičič (1994) primerjal najbolj mokro (1965) in najbolj suho leto (1971) v tem obdobju. Iz njegovih diagramov lahko pri skupnih letnih padavinah med 1209 in 2300 mm delež evapotranspiracije ocenimo na 737 in 690 mm (61 % in 30 %) za Ajdovščino ter pri padavinah med 1107 in 1854 mm na 642 in 575 mm (58 % in 31 %) za Ljubljano. Pri primerjavi teh rezultatov vidimo, da se evapotranspiracija giblje med 575 in 770 mm ter da je odstotni delež v veliki meri odvisen od skupne letne količine padavin (pri najmanjših padavinah je delež največji). Če se vrnemo na območje Tičnice, je bila tam po metodi Thornthwaiteja evapotranspiracija ocenjena na 686 mm, po Turcovi enačbi med 513 in 585 mm, po metodi Vacherja pa med 682 in 1573 mm. Zadnji dve vrednosti sta verjetno previsoki, rezultati enačb po Thornthwaiteju in Turcu pa so primerljivi z ocenjenami evapotranspiracije za bližnje lokacije, ki so jih z uporabo modificirane Penmanove metode dobili različni avtorji.

## SKLEP

S predstavljeno metodo sem torej določila efektivno infiltracijo in izdelala grobo oceno vodne bilance za mali karbonatni vodonosnik Tičnice. Hkrati sem ovrednotila tudi primernost različnih empiričnih enačb za izračun evapotranspiracije v obravnavanem tipu bazena. Odprto pa ostaja vprašanje, kakšna je splošna uporabnost dobljenih rezultatov. Od vsega začetka je raziskava temeljila na ideji, da so vrednosti, ki jih dajo izračuni v študijskem poligonu, karakteristične tudi za večje in bolj kompleksno zgrajene vodonosnike s podobnimi osnovnimi značilnostmi. In glede na končne rezultate lahko zaključim, da je vrednost efektivne infiltracije okrog 20 % z nekaterimi korekcijami res možno brez večje napake uporabiti pri približnih ocenah v praksi. V praksi namreč natančne, zamudne in drage metode običajno ne pridejo v poštev in se dostikrat poslužujemo le približnih ocen, pri katerih je bolj kot natančna vrednost posameznih parametrov pomemben njihov red velikosti. V študijskem poligonu izračunana efektivna infiltracija je torej karakteristična za tip vodonosnikov, ki ga določajo podobne reliefne, klimatske, vegetacijske in geološke razmere. V primeru Tičnice je to območje hribovitega sveta zahodne Slovenije z dolomitno podlago, relativno debelim slojem preperine, dinarskim jelovobukovim gozdom, srednje strmimi pobočji in klimatskim vplivom dinarskega visokega krasa. Razmere se sicer lokalno precej spreminjajo, a osnovne značilnosti ostajajo enake.

Ocena vodne bilance vključuje padavine, evapotranspiracijo ter podzemni in površinski odtok. Padavine so bile merjene, podzemni odtok sem izračunala kot povprečno letno efektivno infiltracijo, težave pa nastopijo pri določitvi ostalih dveh parametrov. Različne vrednosti, ki sem jih dobila pri oceni evapotranspiracije na osnovi enostavnih empiričnih enačb, kažejo na omejeno uporabnost teh metod. Vsaka izmed enačb je bila definirana na osnovi raziskav v določenem vodonosnem sistemu, zato daje dobre rezultate pri preučevanju območij s podobnimi značilnostmi. Privzamemo jih lahko pri približnih ocenah v praksi, za izdelavo natančne vodne bilance pa njihova uporaba ni najbolj primerna.

## LITERATURA

### OBJAVLJENA DELA

- Furlan, D. 1970: Ugotavljanje evapotranspiracije s pomočjo normalnih klimatskih pokazateljev.- Letno poročilo meteorološke službe za leto 1966, Ljubljana.
- Kordiš, F., 1993: Dinarski jelovo bukovi gozdovi v Sloveniji.- Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 139 p, Ljubljana.
- Matičič, B., 1994: Suša in namakanje v Sloveniji.- Ujma, 8, 211-214, Ljubljana.
- Mlakar, I., 1969: Krovna zgradba idrijsko-žirovskega ozemlja.- Geologija, 12, 5-72, Ljubljana.

- Placer, L., 1973: Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko-žirovskega ozemlja.- Geologija, 16, 317-334, Ljubljana.
- Pristov, J., 1994: Namočenost in evapotranspiracija v Sloveniji.- Ujma, 8, 169-173, Ljubljana.
- Schrödter, H., 1985: Verdunstug.- Springer Verlag, 186 p, Berlin.
- Vacher, J. P., 1971: Contribution a l'étude hydrologique du bassin de l'Isère.- Thèse de 3<sup>o</sup> cycle, 2 tomes, Centre d'Hydrogéologie, 65 p, Bordeaux.

#### **NEOBJAVLJENA DELA**

- Avbelj, L., 1995: Poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela aplikativnega raziskovanja. - V: Širjenje škodljivih snovi v krasu, Sledila in modeli v različnih vodonosnikih 7. SWT, poročilo 2. faze raziskav za leto 1994, 83-91, Postojna.
- Čar, J., 1995: Vpliv zapiralnih del in potopitve idrijske jame na stabilnostne in hidrološke razmere na območju Idrije in bližnje okolice. Nove ugotovitve o narivni zgradbi zgornjega dela idrijskega rudišča.- 9 str., Idrija (Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.)
- Janež, J. & J. Čar, 1988: Varstvena območja in pasovi za zajetje idrijskega vodovoda "Čerinovše" s predlogom sanacijskih ukrepov.- 20 str., Idrija (Tipkano poročilo. Arhiv RŽS Idrija.)
- Petrič, M., 1995: Analiza hidrodinamičnih razmer v kraško-raspoklinskem vodonosniku znanih dimenzij.- Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, FNT Montanistika, Odsek za geologijo, 69 p, Ljubljana.
- Stahl, W., 1994: Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Hubelj-Quelle bei Ajdovščina/Slowenien.- Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, 101 p, Karlsruhe
- Šebenik, I., 1986: Klima Idrijsko-Cerkljanskega hribovja.- Seminarska naloga. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 97 p, Ljubljana.
- Veselič, M., 1975: Methodologie d'étude des bassins versants. - Diplome d'études approfondies. Université de Bordeaux - Centre d'hydrogéologie, 46 p, Bordeaux.
- Veselič, M., 1984: Hidrogeologija.- Interna skripta. Univerza v Ljubljani, FNT Montanistika, Odsek za geologijo, 296 p, Ljubljana.

#### **ESTIMATION OF THE EFFECTIVE INFILTRATION IN THE TIČNICA EXPERIMENTAL BASIN**

##### **Summary**

In studying the hydrogeological basins one often comes upon the question how to relate precipitation and spring discharge. One of the basic questions relates to the effective infiltration, or rather the percentage of precipitation supplying the underground discharge. Though the question seems apparently

simple, it can be only rarely answered accurately. In the article one of the possible solutions presented is the use of smaller experimental basins where a direct comparison of precipitation and discharge is possible. The carbonate aquifer Tičnica near Idrija in the north-east of Slovenia contains all the characteristics of such an experimental basin, for its dimensions, the ground structure, the geological structure, the relief and the state of vegetation are known. What is more, the daily precipitation and discharge data of all the springs in the area also have been gathered. Comparing the amount of water, which in the time of observation fell on the basin surface in form of rainfall, and the water amount which meanwhile flowed out at all the springs, the characteristic value of the effective infiltration for the areas of similar characteristics was estimated.

The experimental basin contains the carbonate aquifer on the upper side of the Tičnica hill, rising above the southern part of the town of Idrija (Fig. 1). The lowest point of the treated area, with a total surface of 227.500 m<sup>2</sup>, is situated at 420 m, the top at 580 m above the sea. The average inclination of the slopes, which rise steadily from the edge to the top, is 29°. The whole area is now covered with mixed forest. There are no permanent surface streams, and numerous smaller ravines get filled with water only after heavy rainfall.

The climate affect of the Dinaric high karst is very important for the Idrija region. For the period 1951-1980 the average annual precipitation came to 2214 mm; the evaluation for individual years differs between 1602 mm and 3039 mm. The heaviest precipitation is in autumn, the maximum in November. Among the spring months the wettest is June. The greatest dryness is in May, a little more rain falls in August and February. The air temperatures were measured only in the periods 1926-1965 and 1980-1985. The average annual temperatures in the area of Tičnica range from 7,9° to 8,2°C at this time of the year.

Tičnica belongs to Tičnica inner thrust sheet, thrust onto Idrija inner thrust sheet, and represents a part of Trnovo nappe. According to the determined tectonic conditions it is divided into 3 tectonic units (Fig. 5). The lower is the Čerin tectonic slice with the Lower Scythian siltstones and claystones with lenses of oolitic limestone, which is separated from the Carboniferous and Permian clastic sediments of the Idrija inner thrust sheet by the Tičnica thrust plane. Upwards over the thrust plane within the nappe there follows a narrow zone of Carboniferous and Permian shale claystones and siltstones of the Kalan tectonic slice. The upper and at the same time the central part of Tičnica is made up of Lower Scythian siltstones and claystones with lenses of oolitic limestone, Upper Scythian granular dolomite, Ladinian conglomerate, tuff and tuffit with chert. They are separated from the second unit by the thrust plane within the nappe, and belong to the Čuk tectonic unit. The basic rock is covered also with up to 4 m of weathered rock. In the neotectonic

phase the structure of thrusts went through additional changes owing to numerous faults. The south-west border of the Tičnica inner thrust sheet is represented by the Lazar fault. Poljanec fault on the north-west side is limited by the block of Tičnica inside the wider area of the Tičnica inner thrust sheet.

On the basis of the geological structure found the aquifer can be divided into two hydrogeologically separated parts. The central part is made up of the karstified Upper Scythian dolomite. It is recharged only by precipitation, and the groundwater flows towards the Čerinivše springs on the south-west. The lower part of the aquifer is made up of oolitic limestones in Lower Scythian siltstones and claystones, which are separated from the upper zone with a narrow zone of the Kalan tectonic slice. They are drained towards the north-west to the Kosmač springs. The borders of the aquifer are quite reliably determined. It is separated from the impermeable shale rocks of Carboniferous and Permian age by the lower thrust border. Also the lateral borders on the northern, eastern and southern side are impermeable Carboniferous, Permian, and Scythian layers. But on the west, at the Lazar fault, it is limited by the milonitic Upper Triassic dolomite. Though it is made up of two parts with a different hydrodynamic regime, it is treated as a whole at the evaluation of the effective infiltration. The only source of recharge is precipitation. The groundwater outflow, on the other hand, was determined while measuring the discharge of all the springs.

To estimate the effective infiltration during the year long observation, from 1st April, 1993 to 31st March 1994, data were gathered on the daily precipitation and discharge of all the springs of the Tičnica aquifer. The effective infiltration was expressed as the part of precipitation that feeds the underground discharge, by the following equation:

$$I_{ef} = \frac{Q_m \cdot t}{P_0 \cdot F}$$

where:

- $I_{ef}$  infiltration in a definite time period expressed as % of precipitation
- $Q_m$  total discharge of all springs in the same time
- $t$  duration of the basic time unit (1 day = 86400s)
- $F$  aquifer area
- $P_0$  total precipitation in the observation period

As the discharge of some springs was measured for only half a year, I first calculated the effective infiltration for individual months and seasons in the period between July and December 1993 (table 2). However, evaluations found in such a way do not show the real picture. The simplified method used does not consider any changes in storage, which are obvious for individual months.



These differences are neglectably small only for the whole observation period, for the underground water table in two boreholes in Tičnica area at the beginning of April 1993 and at the end of March 1994 are practically at the same level. Therefore for the south-west part of Tičnica, where the discharge of all the springs was measured regularly all the year, I made the estimation of the average infiltration for one year period (table 2). The results gathered in such a way for the summer and autumn months match very well the values of the effective infiltration determined for the whole Tičnica aquifer for the period between July and December 1993 (table 2). I therefore also accepted the average annual effective infiltration, evaluated in the south-east part, for the whole area of Tičnica. The value of 17 % found indicates that the portion of precipitation watering the groundwater discharge is small. A greater amount of water which falls on the aquifer surface in form of precipitation therefore flows out as a surface run off, or, evaporating, it returns into the atmosphere. The steep relief and the thick layer of weathered rock are the causes for a greater amount of the surface runoff. Owing to the dense mixed forest evapotranspiration is also great.

Elaborating the simplified water budget on the assumption that the change in water storage was insignificant, four parameters were taken into consideration: precipitation, evapotranspiration, and the surface and groundwater discharge. I expressed it by percentage portions of precipitation that feed the remaining three elements.

As a portion of underground discharge I accepted the evaluated average annual effective infiltration of 17 %. As there are no measured data of evapotranspiration and surface discharge, I tried to estimate the two parameters at least approximately. To evaluate the evapotranspiration I used various empirical equations, namely the Thornthwaite, Turc, and Vacher's ones. The calculated values are 686 mm (Thornthwaite), 513 or 585 mm (Turc) and 862 to 1573 mm (Vacher). I compared the gained results with the data from written sources, where the corrected Penman equation was used. For different locations in western Slovenia the values between 575 and 770 mm were calculated. On the basis of the comparison I concluded, that Thornthwaite and Turc's methods are more convenient for Tičnica area. Considering the amount of the groundwater discharge of 17 % and the evaluated evapotranspiration of 23 % or 27 %, the amount of the surface discharge comes to 60 % or 56 %. At these estimations I underline once more that the evapotranspiration was defined on the basis of simple empirical equations, which give only approximate results. So they are not most suitable for the elaboration of an accurate water budget. They are, though, often used in practice, for evapotranspiration measuring is very long, and, what is more, the measured data have only local value.

The question of what the general utility of the results is, remains open. From the very beginning the research was based on the idea that the values

got in the experimental basin evaluation are characteristic also for larger and more complex aquifers, but with similar basic characteristics. To this point the value of the effective infiltration of about 20 %, with some correction, can be possibly used with approximate estimation in practice without any major fault. In practice, accurate, long and expensive methods usually do not come into consideration. Very often only approximate estimations of parameters are used, because their order of size is more important than the accurate value. The effective infiltration evaluated in the experimental basin is therefore characteristic for the type of aquifer which is determined by the similar relief, climate, vegetation, and geological conditions. In the case of Tičnica it is an area of hilly region in the West Slovenia with a carbonate aquifer, with a relatively thick layer of weathered rock, mixed forest, medium steep slopes and the climatic influence of the Dinaric high karst. The conditions can change very much locally, but the basic characteristics remain the same.