

UPORABA OBREŽNEGA FILTRATA MURE ZA PRESKRBO S PITNO VODO POMURJA

THE APPLICATION OF BANKFILTRATE OF THE RIVER MURA FOR DRINKING WATER SUPPLY OF POMURJE REGION

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

m.rismal@masicom.net

Barjanska 68,1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 628.112(282)(497.4)

Povzetek | Članek obravnava, namesto prej načrtovanega fizikalno-kemičnega čiščenja obrežnega filtrata Mure, eliminacijo železa in mangana v vodonosniku z bogatenjem podtalnice za vodovod Pomurja pri črpališču Podgrad, Apaško polje, vodovoda Gornja Radgona–Radenci.

Ključne besede: preskrba s pitno vodo, obrežna filtracija, eliminacija železa in mangana v vodonosniku, umetno bogatenje podtalnice

Summary | The paper describes underground iron and manganese removal from the Mura river bankfiltrate, instead of the previously designed physical-chemical elimination on the purification plant, before it is applied for artificial ground water recharge on the waterwork Podgrad of the water supply system Radgona – Radenci.

Key words: Water supply, bank filtration, underground iron and manganese removal, artificial groundwater recharge

1 • UVOD

Preskrba s pitno vodo za Mursko Soboto in Gornjo Radgono z Radenci v Pomurju je bila med letoma 1964 in 1968 načrtovana in zgrajena s 400 m dolgo drenažo z bogatenjem pitne podtalnice z obrežnim filtratom Mure v Podgradu na Apaškem polju, znotraj s protipoplavnim nasipom obdanega obvodnega biotopa, z namenom hkratne zaščite pitne podtalnice in zalednih kmetijskih površin.

Ker pa načrtovana naprava za čiščenje murske vode, ki je bila tedaj slabe kakovosti, in obrežnega filtrata (ca. 200 mg/l KMnO_4 ali 50 mgO_2 /l) ni bila zgrajena (slika 8), se je bogatenje uporabilo le v sušah kot prehodna rešitev do izgradnje 700 m dolgega drenažnega zajetja zaledne podtalnice pri Segovcih.

Z novim načrtom za enotno preskrbo s pitno vodo celotnega Pomurja pa sta predvidena tudi rekonstrukcija in dograditev črpališča v Podgradu.



Slika 1 • Mura je pglavilni vir za pitno vodo Pomurja in namakanje. Je obnovljivi vir energije in z obvodnim biotopom naravna vrednota. Uskladitev teh danosti in potreb potrebuje vodnogospodarsko integralno in naravovarstveno usklajeno trajnostno rešitev

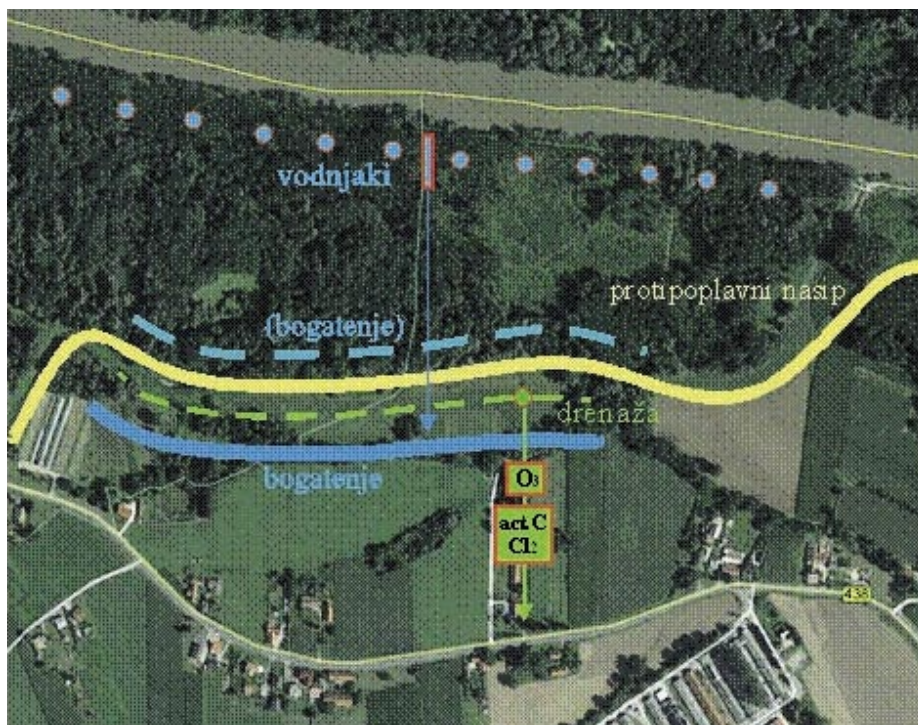
Načelna vprašanja uporabe umetnega bogatenja podtalnice za ta novi načrt so opisana v članku (Rismal, 2011).

Od izgradnje omenjenega črpališča v šestdesetih letih prejšnjega stoletja se je onesnaženost Mure zaradi izgradnje čistilnih naprav za odpadne vode v Avstriji tudi pri nizkih pretokih (decembra 2011 in januarja 2012) znižala na kemijsko porabo po $K_2Cr_2O_7$ na $15 \text{ mgO}_2/\text{l}$ in TOC na $2,9 \text{ mg/l}$. V obrežnem filtratu pa pod $5 \text{ mgO}_2/\text{l}$ in TOC na $1,8 \text{ mg/l}$. Motnost obrežnega filtrata NTU pa ni večja od 0,5.

Zato je namesto prej načrtovanega fizikalno-kemičnega čiščenja obrežnega filtrata (slika 7) predvideno sonaravno biokemično čiščenje z adsorpcijsko sposobnostjo vodonosnika in končnim »poliranjem« vode z ozonom in filtracijo preko aktivnega oglja (sliki 2 in 9). Obramba pred sušo in proti pesticidom, nitratom iz zaledne podtalnice – aktivna zaščita – pa ostaja, kot je bila načrtovana, z umetnim bogatenjem podtalnice.

V obrežnem filtratu prisotna železo in mangan, ki se med filtracijo murske vode reducirata v topno obliko Fe^{2+} in Mn^{2+} , z amonijem NH_4 in sulfidom S^{2-} , z recirkulacijo dela črpanega in prej dobro prezračenega filtrata v vodonosnik (slika 10), oksidirata in se odstranijo iz vode že v vodonosniku. S tako očiščenim filtratom pa se, kot rečeno, bogati podtalnica ob že zgrajeni drenaži (sliki 2 in 9).

Za dodatno izboljšanje organoleptičnih lastnosti in za odstranitev ostankov še preostalih onesnažil, kot so sledovi farmacevtskih metabolitov itd., iz drenaže črpane vode je predvidena še uporaba ozona s filtracijo vode



Slika 2 • Shema načrtovanega bogatenja in čiščenja obrežnega filtrata Mure in zaščite iz drenaže črpane vode z bogatenjem pred možnim onesnaženjem iz zaledne podtalnice v Podgradu

preko aktivnega oglja, na koncu pa še z dodatkom rezidualnega klora za preprečitev kasnejše mikrobiološke zarasti v omrežju.

Upravljanje takšnega čiščenja je zaradi velike izravnalne prostornine vodonosnika, ki deluje kot biokemični reaktor, bolj enostavno in bolj varno, kot je pri mnogo manjši prostornini reaktorjev za kemično obdelavo, sedimentacijo in filtracijo vode na čistilni napravi s fizikalno-kemijskim čiščenjem vode (slika 9).

Procesi čiščenja so stabilnejši, pogonski in investicijski stroški pa manjši.

Zmogljivost obrežnih vodnjakov, 72 l/s , pa mora biti – zaradi recirkulacije ozračene vode v vodonosnik – večja od načrtovane povprečne dnevne porabe vodovoda 55 l/s (preglednica 3).

Obrežna drenaža z vodnjaki kot hidravlično analogna rešitev ni bila izbrana zaradi težje nadzorovanega čiščenja Fe in Mn.

2 • PRESOJA IZDATNOSTI VODNJAKOV OB MURI ZA ČIŠČENJE OBREŽNEGA FILTRATA ZA VODOVOD

Načrtovano kapaciteto črpališča 72 l/s s šestimi vodnjaki v medsebojni razdalji 60 m , v ekstremno nizkih vodostajih Mure za porabo vodovoda, 55 l/s in 34 l/s , za čiščenje Fe in Mn (preglednica 3), smo ocenili po podatkih raziskave prepustnosti kolmatiranega dna, brežine in prepustnosti vodonosnega Mure: $k = 1,99E-04 \cdot x^{9,79E-1}$ (slika 3), ki je je s simulacijo vodnega vala iz reke v zaledno podtalnico sloja s črpalnim preizkusom (Prestor, 2012) pri vodnjaku VPG-1 (10 l/s in 16 l/s).

Hidravlični upor dna reke Δh (diagram 1) smo določili po shemi obrežne infiltracije

(slika 4). Zaradi varnosti smo za prepustnost dna $k = 1,97E-05 \text{ m/s}$, po oceni $0,5 \text{ m}$ debele plasti kolmatiranega dna, upoštevali nižjo vrednost (po črpalnem preizkusu je za enako debelino plasti $k = 1E-04 \text{ m/s}$). Pod to plastjo je do neprepustne podlage vodonosnika še $0,5$ -metrska plast manj zablatega proda boljše propustnosti $k = 3,0E-3 \text{ m/s}$.

Potrebna zmogljivost obrežnega filtrata za črpanje vode je ocenjena z enačbami 1 po shemi na sliki 4. Prispevek podtalnice iz nasprotne strani Mure zaradi tanke plasti proda pod dnom ni upoštevan.

$$\Delta Q_n = k_0 \cdot \Delta h_n / (h_0 \cdot B \cdot \Delta L) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

infiltracija preko zablatega dna na prečnem odseku korita ΔL na vplivni fronti vodnjakov B

(1)

$$Q_{n-1} = Q_n - \Delta Q_n \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

pretok v nekolmatiranem vodonosniku pod reko

(2)

$$\Delta h_n = \Delta h_{(n-1)} - Q_{(n-1)} \cdot \Delta L / (2 \cdot k_1 \cdot B \cdot h_1) \quad (\text{m})$$

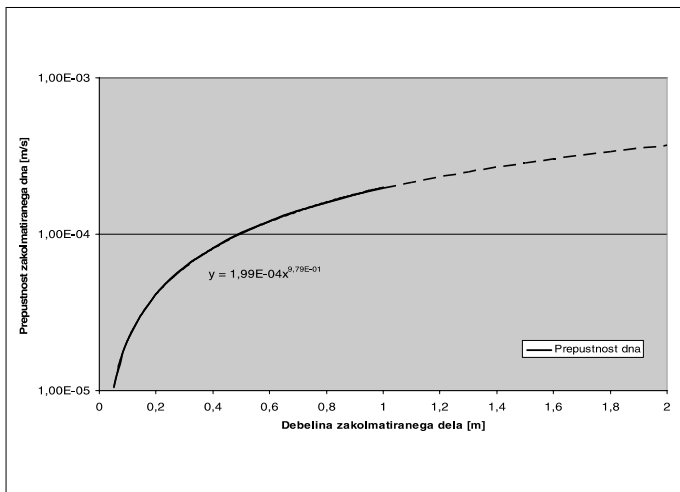
upor dna

(3)

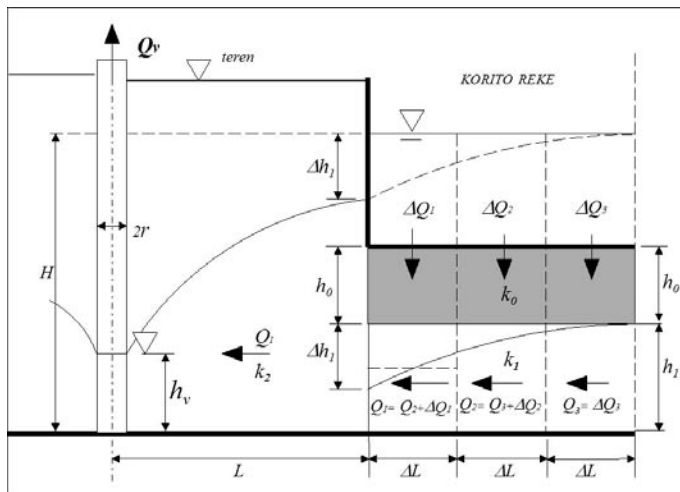
Podatki:

$Q_1 = 0,072 \text{ (m}^3/\text{s)}$ maksimalna zmogljivost šestih vodnjakov

$\Delta h_1 = 0,70 \text{ (m)}$ znižanje gladine podtalnice ob brežini pri črpanju Q_0 iz skupine šestih vodnjakov



Slika 3 • Koefficient prepustnosti kolmatirane brežine in dna Mure pri Podgradu (Prestor, 2012)



Slika 4 • Hidravlična shema infiltracije preko kolmatiranega rečnega dna v vodonosnik ob reki

- $B = 300,00$ (m) vplivna dolžina fronte šestih črpalnih vodnjakov
- $h_0 = 0,500$ (m) debelina zablatega dna Mure
- $h = 0,500$ (m) debelina vodonosnika pod zablategim dnom Mure
- $\Delta L = 0,50$ (m) računski odsek dna
- $k = 3,0E-3$ (m/s) prepustnost vodonosnega sloja pod dnom Mure
- $k = 1,97E-05$ (m/s) nižja izbrana prepustnost za $h_0 = 0,5$ m zablatega dna,

od vrednosti po enačbi 4 je na varni strani $k_{(h_0=0,5\text{ m})}$

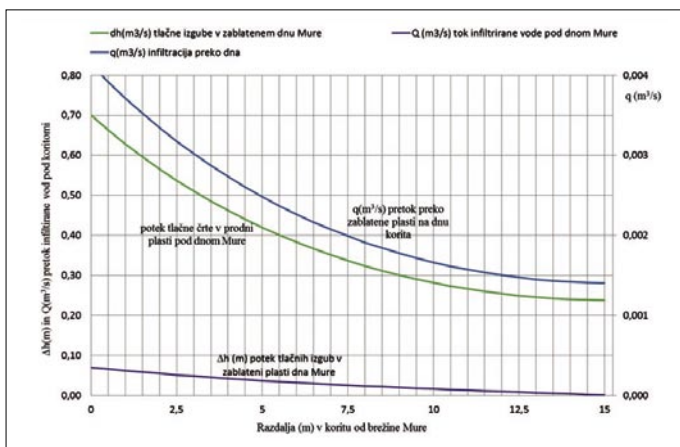
$k = 1,99E-04 \cdot x^{0,79E-01}$ (m/s)
 koef. prepustnosti po (Prestor, 2012) (4)

Lega nepropustne podlage je povzeta iz priloženih prečnih profilov Mure in zaledne podtalnice v vodnjaku VPG1 na koti 204,15 in gladina podtalnice med črpalnim preizkusom pri nizkem vodostaju Mure 206,73 m. Rezultate tako ocenjene infiltracije Mure v obrežne vodnjake na 300 m dolgem odseku smo primerjali s podatki iz literature (Kittner, 1964).

Po tem viru, na strani 169, je infiltracija iz rek odvisna od razmerja hitrosti vodnega toka v reki $v_{reke} / v_{infiltracije} = 20.000$ do 30.000 , kar pomeni pri hitrosti vodnega toka Mure 1 m/s infiltracijo med $2,88 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dan do $4,32 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dan. Obe vrednosti sta, po mnenju izkušenih strokovnjakov, precenjeni, kar kažejo tudi rezultati računa, po shemi na sliki 3, v preglednici 2.

Po teh meritvah izračunana infiltracija med $0,883 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dan in $1,113 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dan, na dolžinski meter zajemne fronte vodnjakov 300 m pa med $0,153 \text{ l/s m}$ in $0,193 \text{ l/s m}$, je v velikostnem razredu drugje opazovanih vrednosti (preglednica 1).

Zmogljivost načrtovanih šestih oziroma dvanajstih obrežnih vodnjakov za zajem obrežnega filtrata na fronti vodnjakov dolžine 300 m, alternativno za 15 m in 20 m od brežine (sliki 7a in 7b), je določena po enačbah 5 in 6 v (Averjanov, 1959), stran 162, s tem (slika 6) da je upoštevan tudi v nadaljevanju ocenjeni hidravlični upor dna in brežine $\Delta h = 0,70$ m. (Pri črpanju 10 l/s iz $l_1 = 31,5$ m od Mure oddaljenega vodnjaka je bil izmerjeni $\Delta h = 0,44$ m).



Slika 5 • Rezultati računa uporov kolmatiranega dna in potek infiltracije v prečnem profilu Mure za črpanje 72 l/s iz šestih, od brega Mure 15 m oddaljenih vodnjakov

Reka	infiltracija preko dna m^3/m^2 dan	Infiltracija vzdolž reke l/sm
Mura, Podgrad		
oddaljenost vodnjakov od brežine 20 m	0,883	0,153
oddaljenost vodnjakov od brežine 15 m	1,113	0,193
Rheinau pred zajezbo	0,324	0,30
Rheinau po zajezbi	0,421	0,40
Sennschur	1,296	0,30
Linsental	1,728	0,40
Aare Aarberg	0,249	0,09

Preglednica 1 • Primerjava ocenjenega upora kolmatiranega dna reke na tekoči meter fronte šestih obrežnih vodnjakov in infiltracije na m^2 sodelujoče površine rečnega dna

Enačba za izdatnost skupine popolnih vodnjakov ob reki:

$$q = \frac{2 \cdot \beta_1}{1 + \beta_1} \cdot \left[Q^* + \frac{2 \cdot \sigma \cdot k \cdot T_1}{l_1} \cdot (H - h_0) \right] \quad (5)$$

$$\beta_1 = \frac{l}{1 + \frac{2 \cdot \sigma}{l_1} \cdot B} \quad B = 0,733 \cdot \log \frac{\sigma}{\pi \cdot r}$$

$$T_1 = \frac{H + h_0}{2} \quad (6)$$

Pri tem pomenijo:

q (m³/s) izdatnost posameznega vodnjaka
 σ (m) polovična razdalja med dvema vodnjakoma

l_1 (m) oddaljenost linije vodnjakov od brežine reke

r (m) polmer vodnjaka

Q^* (m³/s) dotok podzemne vode iz zaledne podtalnice na širini 2σ

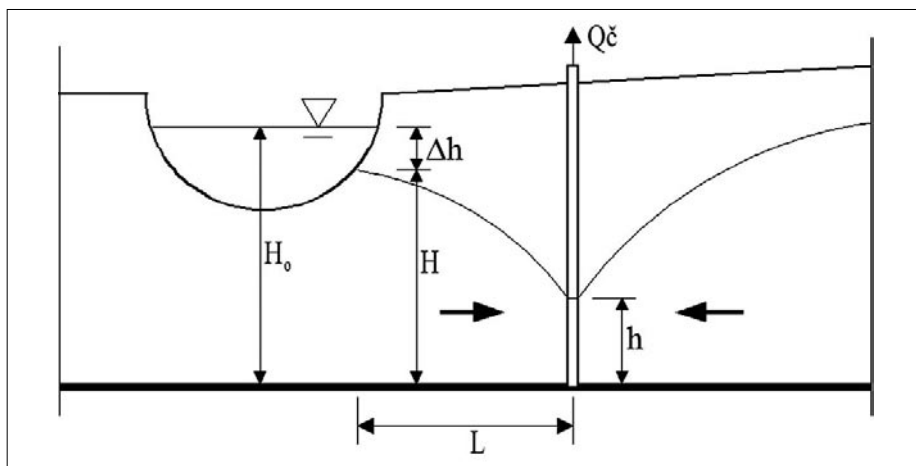
k (m/s) koeficient propustnosti vodonosnika

T_1 (m) srednja debelina vodonosnega sloja

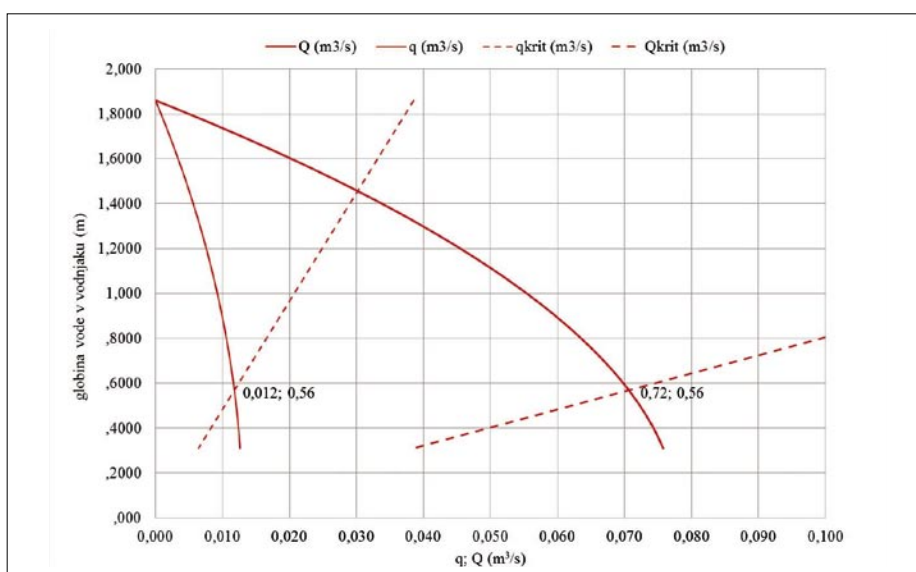
Rezultati računa, koliko vode je mogoče očistiti v vodonosniku z izmeničnim črpanjem vode iz prvih šestih in s povratnim nalivanjem prej ozračene (s kisikom zasičene vode) v drugih šest vodnjakov, so v razpredelnici 3. Račun je opravljen za skupino dvanajstih vodnjakov v medsebojni razdalji 60 m v oddaljenosti od Mure 15 m ali 20 m.

V naslednjem ciklu pa se vloge vodnjakov zamenjajo.

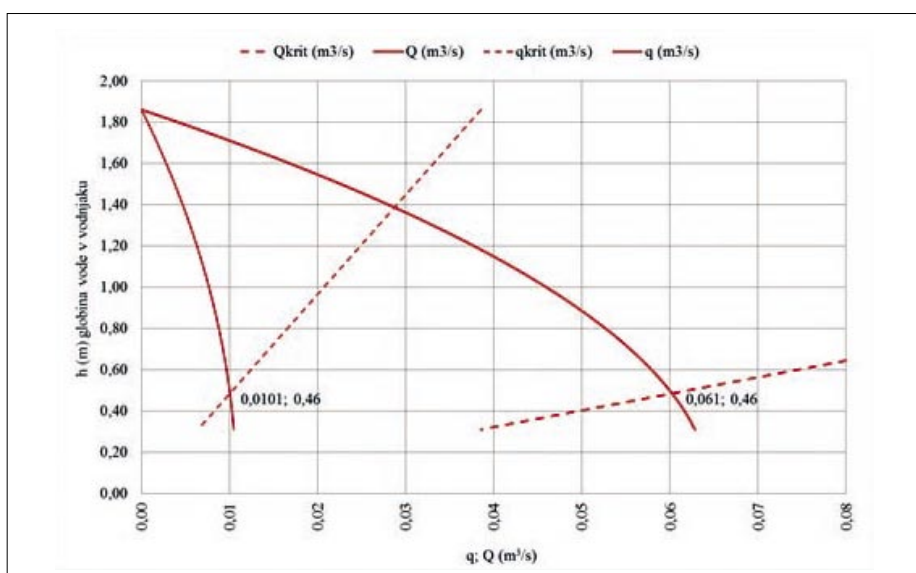
Maksimalna zmogljivost posameznih in skupine šestih vodnjakov je določena po Sichardtju z $v_{krit} / 15$ in za ponikanje vode z $v_{krit,inf} / 30$ (sliki 7a in 7b)



Slika 6 • Shema infiltracije po Averjanovu z upoštevanjem upora brežine in dna Δh



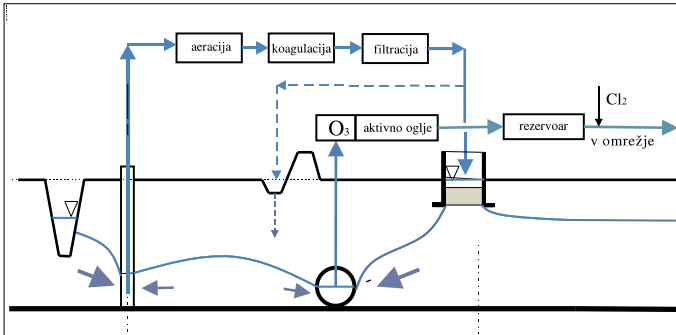
Slika 7a • Zmogljivost šestih obrežnih vodnjakov 15 m od brežine Mure



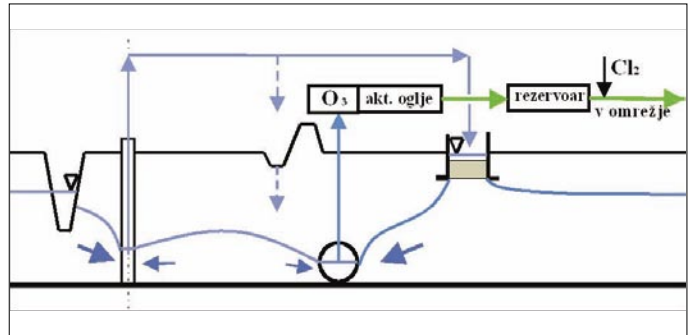
Slika 7b • Zmogljivost šestih obrežnih vodnjakov 20 m od brežine Mure

3 • DEFERIZACIJA IN DEMANGANIZACIJA OBREŽNEGA FILTRATA V VODONOSNIKU

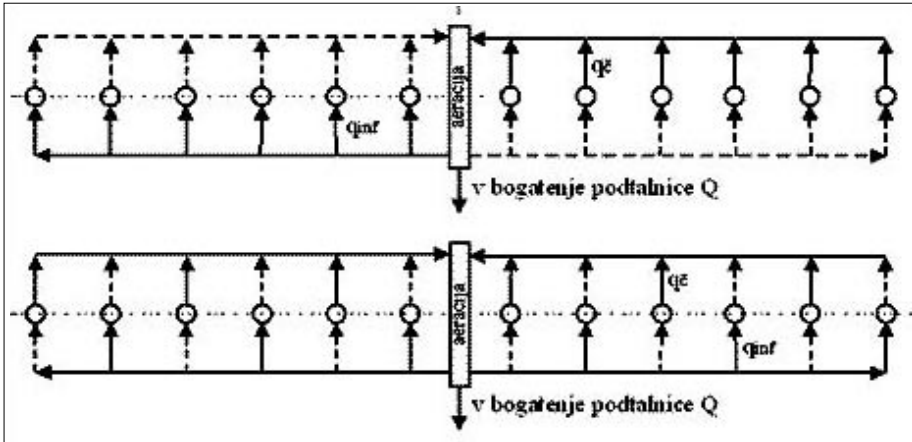
Na slikah 8 in 9 sta shemi pred leti načrtovanega fizikalno kemičnega čiščenja obrežnega filtrata in novo načrtovanega sonaravnega čiščenja v vodonosniku. Na sliki 10 pa sta dva možna načina recirkulacije dela f (%) črpane in prej prezračene vode.



Slika 8 • Shema prvotno načrtovanega kemično-fizikalnega čiščenja obrežnega filtrata



Slika 9 • Shema načrtovanega čiščenja suspendiranih snovi murske vode z obrežno filtracijo in biokemičnega čiščenja Fe in Mn iz obrežnega filtrata v vodonosniku z bogatjenjem pitne podtalnice. Nakazana je možnost bogatjenja iz opuščene struge potoka Plitvice



Slika 10 • Dva možna načina čiščenja obrežnega filtrata v vodonosniku z izmenično recirkulacijo dela f (%) dobro prezračene vode v vodonosnik iz prvih šestih vodnjakov v preostalih šest in nasprotno

	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	S (mg/l)	TOC (mg/l)
merjeno	0,1	0,4	0,1	0,1	1,0
dopustno	0,05	0,02	0,05	0	-

Preglednica 2 • Koncentracije onesažil v obrežnem filtratu:

Potrebno razmerje f v obratovalnem ciklu $T_i(h)$ za oksidacijo v preglednici 2 navedenih onesažil v obrežnem filtratu, med črpanjem obrežnega filtrata V_e (m³) iz prve skupine šestih vodnjakov in nalivanjem $T_i(h)$ v drugo skupino šestih vodnjakov V_{inf} (m³), je določeno stehiometrično, s poenostavitvijo, brez upoštevanja endogene respiracije sodelujočih mikroorganizmov, in sicer po enačbi 7.

Pri tem pomeni:

- V (m³) prostornina vode
- Q (m³/s) skupni pretok iz vodnjakov črpane vode (č), v vodonosnik (inf) nalife vode in v vodovod črpane (v) vode
- q_e (m³/s) zmogljivost črpalk v posameznih vodnjakih
- q_{inf} (m³/s) infiltracija – nalivanje vode v posamezne vodnjake
- n število vseh vodnjakov
- x število nalivalnih vodnjakov

$$f = \frac{V_{in}}{V_e} = \frac{2[NH_4^+]}{2[NH_4^+] + [O_2]} + \frac{[Fe^{2+}]}{[Fe^{2+}] + 4[O_2]} + \frac{[Mn^{2+}]}{[Mn^{2+}] + 2[O_2]} + \frac{2[S^-]}{2[S^-] + [O_2]} + \frac{[TOC]}{[TOC] + [O_2]} \quad (7)$$

Za pokritje (slika 10) porabe vodovoda V (m^3) v enem ciklu T (h) je potrebna količina iz šestih vodnjakov črpane q_c (m^3/s) in v drugih šest vodnjakov nalite vode q_{inf} (m^3/s) odvisna od razmerja f (enačba 3) in ΔT (reakcijski čas za oksidacijo), (enačba 4 in slika 11).

$$V_c = \frac{V_v}{(1-f)}$$

$$V_c = (n-x) \cdot q_c \cdot T \quad (m^3)$$

črpana voda iz vodnjakov (8)

$$V_{inf} = f \cdot V_c \quad (m^3)$$

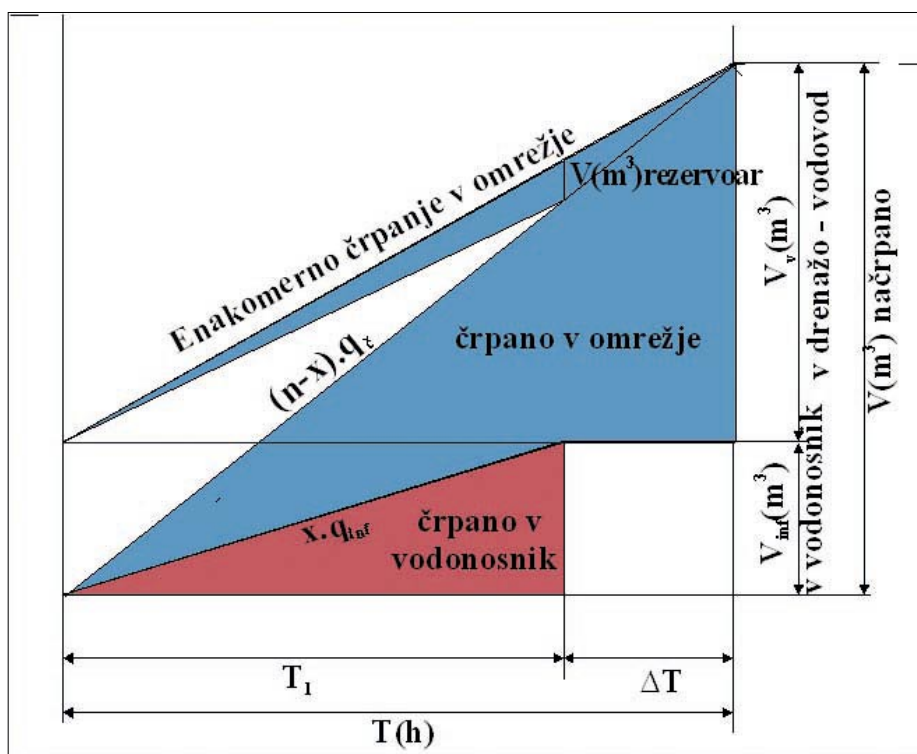
$$V_{inf} = x \cdot q_{inf} \cdot T_1 \quad (m^3)$$

voda, nalita v nalivalne vodnjake (9)

$$V_v = V_c \cdot (1-f) \quad (m^3)$$

$$V_v = [(n-x) \cdot q_c - x \cdot q_{inf}] T_1 + (n-x) \cdot q_c \cdot (T - T_1) \quad (m^3)$$

načrpano v vodovod (10)



Slika 11 • Časovni potek črpanja in nalivanja vode v enem turnusu T

Pri prvem načinu se voda $T(h)$ črpa iz prvega in $T_1(h)$ za demanganizacijo, deferizacijo v vodonosniku, naliva v sosednji vodnjak. V naslednjem turnusu T pa se vloga vodnjakov zamenja (slika 10)

V našem primeru je skupaj dvanajst vodnjakov. Za deferizacijo in demanganizacijo se del $V_{inf} = f \cdot V_c$, v času $T_1(h)$ črpane in dobro prezračene vode iz prve skupine šestih vodnjakov, vrača v vodonosnik preko šestih sosednjih vodnjakov. Z drugim delom V_v v turnusu $T(h)$ načrpane vode pa se obogati podtalnica oziroma drenaža (slika 11). V naslednjem turnusu pa se vlogi obeh skupin vodnjakov zamenjata (slika 10).

Rezultati za izračunano zmogljivost skupine šestih vodnjakov v medsebojni razdalji 60 m so v preglednici 3.

Oddaljenost vodnjakov od Mure	Črpanje iz	Nalivanje Q_{inf} v			Skupno za vodovod	
	1 vodnjaka	1 vodnjak	6 vodnjakov	Q_{sr} dnevno	Q_{max} urno	
	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	
15 m	12	5,71	34	55	72	
20 m	10	4,76	29	46	61	

Preglednica 3 • Povprečna in maksimalna urna zmogljivost vodnjakov načrtovanega črpališča v Podgradu

4 • LASTNOSTI DEFERIZACIJE IN DEMANGANIZACIJE V VODONOSNIKU IN AKTIVNE ZAŠČITE PITNE PODTALNICE Z UMETNIM BOGATENJEM

Pred neposrednim zajemom vode iz Mure ima izbrana uporaba obrežnega filtrata naslednje prednosti:

- Ni potrebno čiščenje murske vode za odstranitev suspendiranih snovi s koagulacijo, sedimentacijo in filtriranjem preko hitrih peščenih filtrov. Suspendirane snovi se odstranijo že med obrežno filtracijo. Z eliminacijo Fe in Mn v vodonosniku se prepreči izločanje obeh na vstopnem filtru vodnjakov, ki povzročata njihovo mašenje.
- Preostalo onesnaženje Mure pa se v veliki meri odstrani na račun naravnih biokemij-

skih procesov, ki potekajo med obrežno filtracijo in pri recirkulaciji s kisikom zasičene vode v vodonosnik. Dodatno čiščenje sledi v počasnem biološkem filtru infiltracijskega bazena in končno ponovno v vodonosniku do horizontalne drenaže.

- Za izboljšanje organoleptičnih lastnosti pa je, za eliminacijo ostanka metabolitov farmaceutskih in drugih mikroonesnaževalcev, predvidena še uporaba ozona in filtri z aktivnim ogljem (slika 9).
- Procesi čiščenja so zaradi daljših reakcijskih časov v vodonosniku bolj stabilni, obra-

tovanje pa bolj enostavno.

- S protipoplavnimi nasipi omejeni naravni obvodni biotop se ohrani.
- Za varovanje črpane pitne podtalnice obsežni strogi varnostni pasovi v zaledju črpališča na Apaškem niso več potrebni. S tem pa ni rečeno, da na teh površinah ni treba spoštovati vseh drugih veljavnih predpisov za varovanje podtalnice in površinskih voda.
- Pomembna prednost opisane uporabe obrežnega filtrata Mure je tudi, da je preskrba s pitno vodo zaradi z vodo bogate Mure, kljub plitvim vodonosnikom Pomurja, varna tudi pred največjimi sušami.

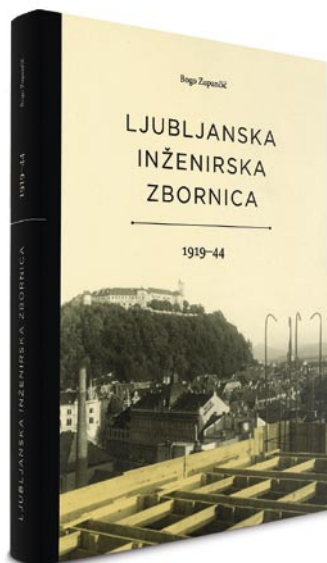
5 • LITERATURA

Averjanov, S. F., Romanov, A. V., Vjerigin, N. N., Zahvati podzemnih voda, Građevinska knjiga, Beograd, stran 162, 1959.

Kittner, H., Starke, W., Wissel, D., Wasserversorgung, Taschenbuch für das Bauwesen, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1964.

Prestor, J., Sadnikar, J., Ratej, J., Blažeka, Ž., Geološki zavod Slovenije, GEOKO geološke raziskave, IRGO, Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Inštitut za ekološki inženiring, Rezultati črpalnega preizkusa, 13. julij 2012.

Rismal, M., Izhodišča za projektno rešitev oskrbe s pitno vodo Pomurja, Gradbeni vestnik, letnik 60, str. 212–218, avgust 2011.



Izšla je prva knjiga o Ljubljanski inženirski zbornici in njenih pooblaščenih inženirjih in arhitektih v Dravski in Primorski banovini Kraljevine SHS in pozneje Jugoslaviji.

SPECIFIKACIJA KNJIGE

Format: 230 x 310 mm
Trde platnice, 128 strani
146 fotografij
Avtor dr. Bogo Zupančič

PONUDBA ZA NAKUP

1 knjiga = 25 EUR
2 do 5 knjig = 5% popust
6 do 10 knjig = 10% popust
več kot 10 knjig = 20% popust

DDV v višini 9,5% je že všteti v ceni. Knjige vam dostavimo po povzetju. Ob naročilu večjega števila izvodov je zaželeno, da jih prevzamete na IZS oz. se za način prevzema dogovorite osebno.

Knjiga je primerno darilo za vaše sodelavce in poslovne partnerje.



INŽENIRSKA ZBORNICA SLOVENIJE
Jarška cesta 10/b
1000 Ljubljana

Telefon: 01/547 33 37
e-naslov: petra.kavcic@izs.si
Spletna stran: www.izs.si