

IZHODIŠČA ZA PROJEKTNO REŠITEV OSKRBE S PITNO VODO POMURJA

STARTING-POINTS FOR DESIGN SOLUTION OF DRINKING WATER SUPPLY OF POMURJE

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.
Barjanska 68, Ljubljana

Strokovni članek
UDK: 628.1

Povzetek | Prispevek obravnava strokovna izhodišča za izdelavo projekta preskrbe s pitno vodo v Pomurju s končno kapaciteto 676 l/s leta 2050. Vodni vir načrtovanega vodovoda je podtalnica, ki je izpostavljena onesnaževanju zaradi kmetijstva in poselitve, vsebuje pa tudi nekaj agresivnih CO₂, železa in mangana. Za zaščito podtalnice bi bilo treba zaradi plitvega vodonosnika in slabe krovne plasti odvzeti kmetijstvu velike površine plodnih tal. Zato so črpališča podtalnice predvidena znotraj protipoplavnih nasipov ob Muri na območju, ki je že zavarovano zaradi krajine ter dragocenega vodnega in obvodnega biotopa. Mura z obrežnim filtratom zagotavlja dovolj vode tudi v največjih sušah. Zaradi kemijske onesnaženosti podtalnice in Mure, ki je v II.–III. kakovostnem razredu, so predvideni možni načini čiščenja in varovanja črpane podtalnice z zalednega kmetijskega območja in reke Mure. V hidravličnem pogledu je zaradi razsežnosti vodovoda in manjših energetskih stroškov črpanja vode na ravninskem delu oskrbovanega območja predvidena izvedba oskrbovalnih tlačnih con v horizontalni smeri.

Summary | The paper describes the concepts on which the Water Supply of a Slovenian region of Pomurje with its final capacity 676 l/s in 2050 should be based. Pomurje is the main granary of Slovenia. The ground water with a thin protecting cover and the characteristics of shallow ground water layer would need extensive areas for its protection. To save the precious agricultural land, the ground water of this, already by Environmental Agency protected riparian area, has been chosen as a main water source of Pomurje region water supply. Significant for the ground water of the whole region is the presence of partly aggressive CO₂, iron, and manganese. The quality and quantity of ground water of riparian area is additionally influenced by the induced infiltration from Mura of II. and III class of river water quality with abundant water also in extremely dry periods of the year.

1 • UVOD

Članek obravnava hidrotehnično-tehnološka izhodišča za predinvesticijske načrte regionalne rešitve preskrbe s pitno vodo Pomurja. Zagotovitev zadostne zdrave in pitne vode v Pomurju, kjer živi danes okoli 128.000 prebivalcev, po demografskih podatkih pa naj bi se število leta 2050 povečalo na 212.000, je eden od primarnih pogojev za razvoj tega ekonomsko manj razvitega območja. Skupna poraba vode do leta 2050 je ocenjena na ca. 676 l/s.

Strokovna problematika tega vodovoda pa se od večine vodovodov v Sloveniji razlikuje po hidrogeoloških in kakovostnih lastnostih podtalnice Pomurja, ki je pglavilni vir pitne vode. V prispevku obravnavamo predvsem tista strokovna vprašanja in rešitve, ki so relevantni in so izhodišče za zasnovo projekta in zanj potrebnih raziskav. Za razliko od večine podtalnic in vodnih virov v Sloveniji, ki so srednje karbonatne trdote iz dolomitnih in kompaktnih ter tudi zakraselih apnenčevih kamenin,

ima podtalnica Pomurja (zaradi prevladujočih vodonosnikov iz eruptivnih kamenin) nižjo karbonatno trdoto, z bolj ali manj agresivnim CO₂ in z vsebnostjo železa in mangana. Zaradi plitve lege in tanjših krovnih plasti, intenzivnega kmetijstva in poselitve pa sodi tudi med najbolj občutljive in onesnaževanju izpostavljene podtalnice (ARSO¹). Z njo se danes v Pomurju z lokalnimi vodovodi oskrbuje večina prebivalstva.

V hidrotehnično-hidravličnem pogledu je za načrtovani vodovod, za razliko od hribovite Slovenije, namesto večinoma vertikalne razporeditve potrebna horizontalna razporeditev vodooskrbnih tlačnih con z njim



Slika 1 • Pogled na Muro



Slika 2 • Koncept aktivne zaščite podtalnice na črpališčih Krog in Dokležovje z obrežnim filtratom, očiščenim železa in mangana, na desnem bregu Mure pri Vučji vasi. Obrežni vodnjaki in ponikalna polja za bogatenje in zaščito podtalnice z vodno zaveso pred onesnaževanjem kmetijstva in iz naselij so v svetlo modri barvi. Vodnjaki vodovoda so v zeleni barvi, končno čiščenje in odvod v omrežje pa v temno modri barvi

primerno izbiro vodnih virov oziroma vodovodnih črpališč. Prečrpavanje vode iz ravninskih oskrbovalnih con je potrebno le za višje zone na Goričkem in v Prlekiji. Za varno obratovanje pa je med horizontalnimi conami predvidena medsebojna povezava. Koncept horizontalnih oskrbovalnih con z več vodnimi viri daje tudi večjo obratovalno varnost, manjši strošek transportnih cevovodov in manjšo porabo energije.

Pomurje je največja žitnica Slovenije z zalagami podtalnice, ki pa bi potrebovala za črpanje zdrave pitne podtalnice vode velike površine vodovarstvenih pasov za zaščito pred konservativnimi onesnažili (nitrati, pesticidi itd.). Za sedanje manjše lokalne vodovode pa teh ni mogoče zagotoviti in še manj nadzorovati. Da bi plodne površine v največji meri ohranili kmetijstvu, obenem pa po količini in

kakovosti zagotovili varnost pitne vode, je bila za preskrbo s pitno vodo sprejeta ekološko in vodnogospodarsko konsistentna in trajnostna strategija izrabe obmurskega filtrata in murske vode kot hrbtenice dolgoročne preskrbe s pitno vodo (slika 1).

Takšna rešitev ima pred rabo padavinske podtalnice pod kmetijskimi površinami pomurske ravnice (izjema sta črpališči Gaberje in Lukavci) naslednje prednosti:

1. načrtovana črpališča s potrebnimi zaščitnimi pasovi znotraj s protipoplavnimi nasipi že varovanega območja ne posegajo na kmetijska zemljišča;
2. zaradi vpliva reke obmurska podtalnica ni izpostavljena sušam – za Muro so značilni veliki poletni pretoki;
3. mogoče je večnamensko koriščenje površin znotraj protipoplavnih nasipov ob Muri za:

- a. zaščito pred poplavami,
- b. zaščito naravnega obvodnega biotopa,
- c. potrebe vodovoda.

Izdatnost podtalnice ob Muri je zaradi lastnosti obrežnega filtrata v primerjavi z zaledno padavinsko podtalnico tudi v največjih sušah in najnižjih pretokih Mure praktično neomejena.

Na podlagi obstoječih podatkov in izkušenj na že več kot 30 let delujočih vodovodih (Murska Sobota, Radenci-Radgona, Ljutomer in Lendava) je podana strokovna problematika in nakazana vsebina potrebnih raziskav, ki bi jih bilo treba izvesti pred izdelavo projektno dokumentacije. Odločitev o vsebini in obsegu raziskav je odvisna od tehničnih možnosti in lastnosti obravnavanih vodnih virov.

2 • RELEVANTNE LASTNOSTI OBRAVNAVANIH VODNIH VIROV

Velikost vodovodnega sistema in omenjena specifična strokovna problematika načrtovanega vodovoda potrebuje za pripravo pitne vode hidrogeološke in tehnološke raziskave, ki naj bi bile zaradi velikih stroškov, uporabnosti in potrebnega časa čim bolj ciljno usmerjene na podlagi v naslednjih poglavjih opisanih lastnosti vodnih virov in možnih tehnoloških rešitev.

2.1 Značilnosti in lastnosti vodnih virov, ki se napajajo tudi z induciranim obrežnim filtratom iz reke Mure – prednosti, pomanjkljivosti

Pozitivne lastnosti obrežnega filtrata

- Zmogljivost črpališča ni odvisna od klimatskih razmer (suša), ker je v Muri dovolj vode.

- Obrežna filtracija predstavlja učinkovito varnostno pregrado pred onesnaženo Muro.
- Z umetnim bogatenjem podtalnice z obrežnim filtratom je mogoča aktivna zaščita pitne podtalnice pred onesnaženo zaledno podtalnico.
- Potrebni so manjši varnostni pasovi. Plodna zemlja ostaja za kmetijstvo in za druge potrebe.

Pomanjkljivosti obrežnega filtrata

- Kakovost obrežnega filtrata je odvisna od sprememb kemičnega onesnaženja Mure.

- Temperatura pitne podtalnice je odvisna od temperature rečne vode.
- Nastanek anoksičnih pogojev pri obrežni filtraciji lahko poveča vsebnost železa Fe²⁺, mangana Mn²⁺, sulfida S²⁻ in CO₂ v obrežnem filtratu.

2.2 Značilnosti in lastnosti vodnih virov, ki se napajajo s padavinsko podtalnico v Lukavcih in Gaberju

Prednosti

- Stalna temperatura črpane podtalnice.
- Manjša koncentracija organskega ogljika.
- Načeloma manjša diverziteteta možnih onesnaženj podtalnice kot pri rečni vodi.

Pomanjkljivosti

- Občutljivost za suše, ko se zmanjša izdatnost podtalnice.
- Večji zaščitni pasovi omejujejo kmetijsko uporabo plodnih tal in uporabo površin v

druge namene (urbanizem, gospodarstvo, promet).

- Zaradi plitve podtalnice možna prisotnost železa, mangana in agresivnega CO₂ preko dovoljenih koncentracij.
- Obstaja nevarnost onesnaževanja zaradi kmetijstva in deloma industrije, obrti s težkimi kovinami, trihalometani itd.

3 • UKREPI ZA KAKOVOST, VARNOST IN KOLIČINO PITNE PODTALNICE IN OBREŽNEGA FILTRATA

3.1 Osnove

Podtalnica, ki se napaja z induciranim obrežnim filtratom iz Mure, se hkrati napaja tudi z zaledno padavinsko podtalnico.

Pri načrtovanju tovrstnih zajetij za zajem podtalnice je treba zagotoviti rešitve, ki izpolnjujejo naslednje pogoje, ki zagotavljajo:

- načrtovano količino vode tudi v najbolj sušnih letih in pri najnižjih vodostajih reke Mure, ki so praviloma v zimskem obdobju;
- potrebno kakovost črpane pitne podtalnice;
- potrebno varnost črpane pitne podtalnice pred onesnaženjem – enako s strani reke Mure kot iz zaledne padavinske podtalnice.

Pogoje pod točkama a in c je treba in mogoče zagotoviti istočasno:

- z ustreznim sifuiranjem linije črpalnih vodnjakov (ali drenaže) proti Muri, kot je prikazano v nadaljevanju;
- z vodno zaveso proti dotoku onesnažene zaledne podtalnice, ustvarjene z umetnim bogatenjem podtalnice s predhodno očiščenim obrežnim filtratom, zajetim zunaj vplivnega območja načrtovanega vodovodnega zajetja;
- s potrebno stopnjo čiščenja obrežnega filtra, ki jo je treba načrtovati po rezultatih tozadevnih tehnoloških analiz.

Izpolnitev pogoja pod točko b je, ob realizaciji zahtev pod a in c, odvisna od oksidno-anoksičnih razmer v obogateni podtalnici. Pri anoksičnem stanju podtalnice (preliminarna ocena anoksičnosti je podana v nadaljevanju) je pričakovati povečane koncentracije železa, mangana in žveplovodika. V tem primeru je treba načrtovati čiščenje:

- na za lastnosti vode primerni čistilni napravi,
- v vodonosniku,
- ali presoditi, ali je treba izboljšati organoleptične lastnosti tako pridobljene pitne vode z aktivnim ogljem z uporabo ozona ali brez nje. Murska voda iz obrežnega filtra lahko kljub kemični neoporečnosti vpliva na organoleptične lastnosti pitne vode.

3.2 Koncepti hidrotehniških rešitev

V tem poglavju so za uspešno izvedbo projekta opisani problemi in kvantitativne ocene možnih rešitev, na katere bo oziroma bi bilo treba odgovoriti, kjer ne gre drugače, tudi z raziskavami.

3.2.1 Uporaba obrežnega filtra za pitno vodo

Kljub dosežkom tehnike čiščenja pitnih voda, kot je ultrafiltracija, ki se po kakovosti čiščenja približujejo naravnemu precejanju padavin preko krovnih plasti zemljine v podtalnico, ima uporaba »naravne« podtalnice, če je na voljo, še vedno prednosti pred vsemi drugimi viri in načini čiščenja površinskih voda. Naravno podtalnico smo dali v narekovaja, ker danes zaradi poznanih antropogenih vplivov takšno podtalnico le težko, če sploh še, najdemo.

Polna uporaba podtalnice je lahko omejena z izdatnostjo ali če jo njeno zaledje preveč ogroža. V takšnih primerih lahko podtalnico ob primernih hidrogeoloških pogojih obogatimo z umetno inducirano obrežno infiltracijo rečne vode, ki ima zaradi naravnih procesov čiščenja prednosti pred tehnološko in ekonomsko zahtevnejšimi načini čiščenja rečne vode.

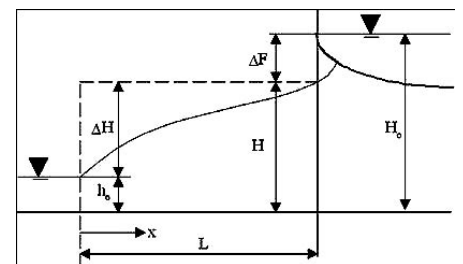
Dejavniki, ki odločajo o uporabi obrežne filtracije:

- primerni hidrogeološki pogoji za zagotovitev potrebnih količin pitne vode,
- kakovost, zadostne količine rečne vode,
- prepustnost rečnega dna in brežin,
- proces kolmatacije in izpiranja rečnega dna in brežin,
- kakovost in varnost zaledne podtalnice,
- dotok in kakovost podtalnice iz nasprotne strani reke.

3.2.2 Hidravlična presoja obrežne (inducirane) infiltracije

Obrežno filtracijo rečne vode v vodonosnik lahko presodimo po Grombach-Haberer-Merkel-Trüeb:

$$q = \left(\frac{q_o}{\Delta F_o} \right)^2 \cdot \left(\frac{L}{k} + \frac{\Delta F_o \cdot H_o}{q_o} + (-) \sqrt{\frac{L^2}{k^2} + 2 \frac{L}{k} \cdot \frac{\Delta F_o}{q_o} \cdot H_o} + \left(\frac{\Delta F_o}{q_o} \cdot h_o \right)^2 \right)$$



Slika 3 • Hidravlična shema obrežne filtracije s hidravličnim uporom ΔF – levo nivo vode v drenaži, desno zgoraj v reki

S spremembo h₀ ali depresije s = H₀ – h₀ se spreminjata izdatnost drenaže q in vrednost ΔF. Pri izmerjeni izdatnosti drenaže q₀ izmerimo h₀ in upor brežine ΔF.

Za določitev konsumpcijske krivulje drenaže q = f(h₀) moramo določiti vsakokratno velikost ΔF₀.

Meritev ΔF₀ pri črpani količini q₀ je težje opraviti. V določenih pogojih je mogoče oceniti ΔF₀ iz podatkov H₀, h₀, q₀ in k:

$$\Delta F_o = H_o - H = H_o - \left(h_o + \frac{2 \cdot q_o \cdot L}{k} \right)^{0,5}$$

Pri enaki depresiji $s = H_o - h_o$ pa se vrednost vrednost ΔF_o in izdatnost drenaže spreminja z oddaljenostjo drenaže L od reke, vendar v konstantnem razmerju (predpostavimo laminarni režim filtracije):

$$\frac{\Delta F_o}{q_o} = \frac{\Delta F}{q} \rightarrow \rightarrow \Delta F = \frac{q}{q_o} \cdot F_o = \frac{L_o}{L} \cdot F_o$$

Razmerje med q in q_o pa je enako

$$\frac{q}{q_o} = \frac{k \cdot (H^2 - h_o^2) \cdot 2 \cdot L_o}{2 \cdot L \cdot k \cdot (H^2 - h_o^2)} = \frac{L_o}{L}$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_o} = \frac{L_o}{L} = \frac{q}{q_o} \quad \text{in} \quad \frac{q}{\Delta F} = \frac{q_o}{\Delta F_o}$$

3.2.3 Problematika kolmatacije dna in brežin

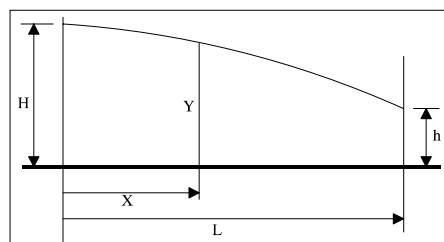
Poteka kolmatacije in od nje odvisne inducirane obrežne filtracije v obrežni vodnosnik ni mogoče zanesljivo napovedati. Obstoječo kolmatacijo je mogoče oceniti le s črpalnim preizkusom na obrežnem vodnjaku. Zato je izvedba tega preizkusa predvidena v okviru projekta spremljajočih raziskovalnih del.

3.2.4 Trajanje pretoka toka infiltrirane vode v vodnosniku med reko in obrežno drenažo

Račun trajanja t pretoka T toka obrežnega filtrata do drenažnega zajetja ali skupine linijskih vodnjakov je možen po naslednji enačbi:

$$t = \frac{n \cdot k}{3 \cdot q^2} \left[H^3 - \left(H^2 - \frac{2 \cdot q \cdot L}{k} \right)^{3/2} \right] \quad q = \frac{k \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot L}$$

Ob upoštevanju efektivne poroznosti vodnosnika n je resnični čas pretoka $T_R = nT$



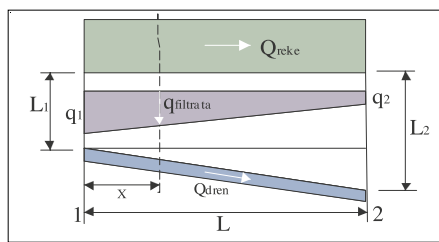
Slika 4 • Shema za določitev časa pretoka obrežnega filtrata med brežino in drenažo

3.2.5 Možno zmanjšanje v reki prisotne koncentracije biokemično nerazgradljivega onesnaženja v obrežni drenaži (v linijskih vodnjakih) vzdolž poti v procesu infiltracije

Spodnji, s poenostavljenimi enačbami prikazan primer kaže, kako je mogoče z odmikom linije obrežne drenaže (ali serije vodnjakov) od smeri reke zmanjšati posledice nepredvidenih onesnaženj z raztopljenim in biološki razgradnji nedostopnim, inertnim onesnaženjem rečne vode.

V prikazanem primeru nista upoštevani disperzija onesnaženja in adsorpcija, ki onesnaženost obrežnega filtrata še dodatno zmanjšujeta. Rešitev predstavlja možnost prve varnostne bariere pred nepredvidenim onesnaženjem reke, kar bo v projektu upoštevano.

Na konkretnem primeru je prikazano zmanjšanje onesnaženja za tri primere (slike 1, 2 in 3) trajanja Δt onesnaženja C_R v reki in razlike dotočnih časov ($T_2 - T_1$) filtrata v skrajni točki 1 in 2 drenaže ali serije vodnjakov:



Slika 5 • Računska shema za upad koncentracije onesnaženja obrežnega filtrata v drenaži dolžine L z odmikom L_1 in L_2 od brežine pri opazovani koncentraciji v reki

$$t_1 = \frac{n_e \cdot k}{3 \cdot q_1^2} \left[H^3 - \left(H^2 - \frac{2 \cdot q_1 \cdot L_1}{k} \right)^{3/2} \right] \quad q_1 = \frac{k \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot L_1}$$

$$t_2 = \frac{n_e \cdot k}{3 \cdot q_2^2} \left[H^3 - \left(H^2 - \frac{2 \cdot q_2 \cdot L_2}{k} \right)^{3/2} \right] \quad q_2 = \frac{k \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot L_2}$$

Δt trajanje onesnaženja v reki

n_e koeficient efektivne poroznosti vodnosnega sloja

$t_{1,2}$ trajanje pretoka iz reke v drenažo

$$Q_D = \frac{(q_1 + q_2) \cdot L}{2} \quad Q_D \cdot C_D \cdot (t_2 - t_1) = Q_D \cdot C_R \cdot \Delta t \quad C_D = \frac{C_R \cdot \Delta t}{(t_2 - t_1)}$$

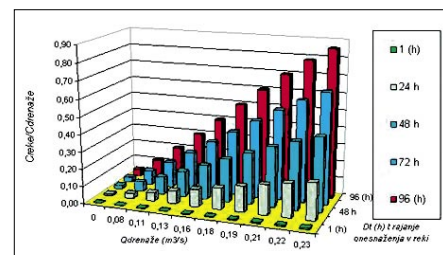
oziroma $\frac{C_D}{C_R} = \frac{\Delta t}{(t_2 - t_1)}$

Kot je vidno iz zgornjih poenostavljenih enačb (brez upoštevanja disperzije ter adsorpcije in kemičnih procesov), je pozitiven učinek takšne položitve drenaže le , če je razmerje $\frac{\Delta t}{(t_2 - t_1)}$ manjše od 1.

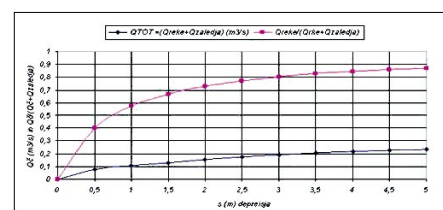
Slike od 1 do 6 kažejo, koliko se zmanjša onesnaženje reke v linijskem vodnem zajetju odvisno od oddaljenosti, naklonskega kota proti reki in od trajanja onesnaženja v reki. Spodaj navedeni primeri so namenjeni za presojo umestitev drenaže ali linijskih vodnjakov naboljšanje obrežnega filtrata v načrtovanih črpalniščih.

n_e	0,24		Koeficient efektivne poroznosti
k	0,0024	m/s	Koeficient poroznosti
H	5	m	Debelina vodnosnega sloja
h	3	m	Globina vode v drenaži
$H-h$	2	m	Depresija

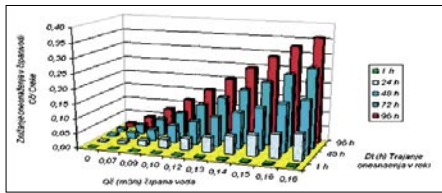
V aproksimativnem računu uporabljene zgornje vrednosti so značilne za obrežni pas Mure.



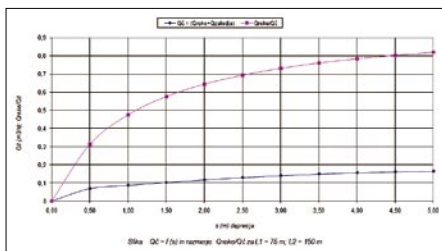
Slika 6 • Redukcija in naraščanje inertnega onesnaženja obrežnega filtrata v $L = 100$ m dolgi drenaži od črpane vode Q (m^3/s) pri odmikih drenaže od brežine reke $L_1 = 25$ m in $L_2 = 100$ m pri trajanju onesnaženja od 0 do 96 ur



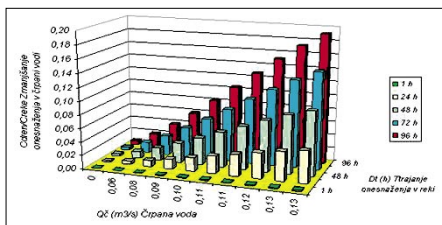
Slika 7 • Razmerje $Q_{filtrata} / (Q_{filtrata} + Q_{zalodne\ podtalnice})$ za drenažo na sliki 6



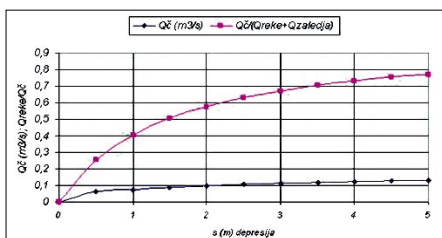
Slika 8 • Redukcija in naraščanje inertnega onesaženja obrežnega filtrata v L = 100 m dolgi drenaži od črpane vode Q(m³/s) pri odmikih drenaže od brežine reke L1 = 75 m in L2 = 150 m pri trajanju onesaženja od 0 do 96 ur



Slika 9 • Razmerje $Q_{filtrata} / (Q_{filtrata} + Q_{zalodne\ podtalnice})$ za drenažo na sliki 8



Slika 9 • Redukcija in naraščanje inertnega onesaženja obrežnega filtrata v L = 100 m dolgi drenaži od črpane vode Q (m³/s) pri odmikih drenaže od brežine reke L1 = 100 m in L2 = 200 m pri trajanju onesaženja od 0 do 96 ur



Slika 10 • Razmerje $Q_{filtrata} / (Q_{filtrata} + Q_{zalodne\ podtalnice})$ za drenažo na sliki 9

3.2.6 Vpliv obrežnega filtrata na temperaturo črpane vode iz obrežnih zajetij

Pri načrtovanju obrežnih zajetij pitne vode je treba argumentirati letni potek sprememb

temperature. Prednost imajo rešitve z manjšim nihanjem temperature.

Za prodni vodonosnik z lastnostmi:

$p = 0,4$ poroznost vodonosnega sloja

$p_e = 0,25$ efektivna poroznost

$\frac{C_s}{C_w} = 0,45$ razmerje med spec. toploto prodna in vode

$$\Delta t = \frac{p.H.C_w + (1-p).H.C_s}{q.C_w} \cdot L = t \cdot \frac{p}{p_e} \left(1 + \frac{1-p}{p} \cdot \frac{C_s}{C_w} \right)$$

Pri zadrževalnem času infiltrirane vode v vodonosniku $t = 30$ dni znaša temperaturni zamik v črpani podtalnici $\Delta t = 2,68 \cdot 30 = 80$ dni.

Za prodni vodonosnik

$p = 0,32$, $p_e = 0,24$ $C_s/C_w = 0,45$

$t = 10$ dni $\Delta t = 2,6083 \cdot 10 = 26,1$ dneva

Vpliv temperature Mure na temperaturo črpane vode bo treba v projektu analizirati z dinamičnim modelom in ob upoštevanju procesa disperzije, ki v zgornjem stacionarnem modelu ni upoštevana.

Rezultati takšnega modela omogočajo namestitve načrtovanih črpalnih vodnjakov obrežnega filtrata na takšni razdalji, da so nihanja temperature črpane pitne vode čim manjša.

3.3 Koncepti tehnologije za pripravo pitne vode

3.3.1 Analiza porabe O_2 v procesu obrežne infiltracije

Od stopnje anoksičnih razmer v obrežni podtalnici zaradi inducirane infiltracije rečne vode je odvisna pojavnost železa, mangana in žveplovodika v obrežni podtalnici.

Rezultati spodaj izvedenega poenostavljenega modela bilance kisika med obrežno filtracijo rečne vode pokažejo v vodi močan upad koncentracije kisika na eni strani in na drugi strani učinkovito zmanjšanje koncentracije BPK_5 oziroma organskega ogljika v vodi. Oboje je pomembno za presojo potrebnega čiščenja obrežnega filtrata do potrebne kakovosti pitne vode.

Poraba kisika:

Bilanco kisika obravnavamo v omejeni prostornini počasnega biološkega filtra oziroma vodonosnika neposredno ob brežini in dnu reke.

Ta prostornina je podana z infiltracijsko površino in tankim biološko aktivnim slojem na omočeni brežini reke, v katerem potekajo ob porabi kisika biokemni procesi oksidacije organskega onesaženja v infiltrirani rečni vodi. Zaradi zgostitve biološke mase mikroorganizmov so ti procesi najbolj intenzivni na

kontaktni površini brežine voda-vodonosnik, ki deluje kot filter.

Prostornina takšnega reaktorja je torej:

$$V_e = n_e \cdot S \cdot \Delta l \quad (m^3)$$

S (m²) površina filtra

Δl (m) debelina aktivne filtrske plasti

n_e (%) efektivna poroznost filtrske plasti

C_{reke} (mgBPK₅/l) rečne vode

$C_{sedimenta}$ (mgBPK₅/l)

$C = C_{reke} + C_{sedimenta}$ (mgBPK₅/l)

O_2 (mgO₂/l) koncentracija kisika

Porabo kisika za oksidacijo organskega onesaženja BPK_5 izrazimo z enačbo:

Pretok filtrirane vode Q_d :

$$\frac{dO_2}{dt} = a \cdot Q_d \cdot (C_{in} - C_e) + b \cdot X_v \cdot V_e \cdot F \quad (kgO_2/d)$$

Q_d (m³/dan) količina obrežnega filtrata na dan

Poraba kisika na 1 m³ reaktorja V (m³):

$$\frac{d[O_2]}{dt} = \frac{C_i - C_e}{\theta_H} \cdot \left(a + \frac{b \cdot Y \cdot X'_d \cdot \theta_c \cdot F}{1 + k_d \cdot \theta_c \cdot F} \right) \left(\frac{mgO_2}{l \cdot d} \right)$$

$$X_v = \frac{Y(C_i - C_e) \cdot \theta_c}{(1 + k_d \cdot X'_d \cdot \theta_c \cdot F) \cdot \theta_H} \quad \left(\frac{kgVSS}{m^3} \right)$$

$$X_d = \frac{X'_d}{1 + k_d \cdot X'_d \cdot \theta_c \cdot F}$$

$$C_e = \frac{K_S \cdot (1 + k_d \cdot \theta_c \cdot F)}{\theta_c \cdot F (\mu_{max} - k_d) - 1}$$

Dotok kisika v obravnavani reaktor z infiltrirano vodo na enoto prostornine reaktorja pa znaša:

$$O_{2dototok} = \frac{[O_2] \cdot Q_d}{V} \quad \left(\frac{mgO_2}{l} \right)$$

Bilanca kisika v privzeti prostornini reaktorja je

$$Q \cdot [O_2]_{dototok} = Q \cdot [O_2]_{dototok} - V_e \cdot \frac{d[O_2]}{dt} \quad (mgO_2/l)$$

$$[O_2]_{dototok} = [O_2]_{dototok} - \theta_H \cdot \frac{d[O_2]}{dt} \quad (mgO_2/l)$$

$$C = \frac{K_S \cdot (1 + k_d \cdot \theta_c)}{\theta_c \cdot (\mu_{max} - k_d) - 1}$$

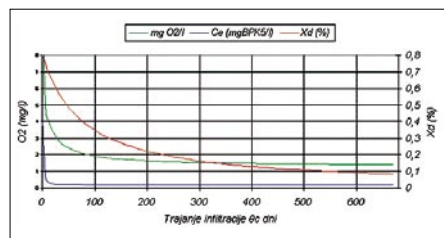
in z upoštevanjem temperature Temp:

$$C_T = \frac{K_s \cdot (1 + k_d \cdot \theta_c \cdot F_T)}{\theta_c \cdot (\mu_{\max} - k_d) \cdot F_T - 1}$$

$$F_T = 1,072^{(T-15)}$$

koeficient	enota	od-do	tipično
k	d ⁻¹	2–10	5
μ _{max}	d ⁻¹	0,8–8	3
K _s	mgBPK ₅ /l	25–100	60
	mgCOD/l	15–70	40
Y	mgVSS/ mgBPK ₅	0,4–0,8	0,6
k _d	d ⁻¹	0,025– 0,075	0,06

Razpredelnica 1 • Podatki o vodonosniku za na slikah od 6 do 10 z aprosimativnim računom prikazan pomen oddaljenosti, odklona drenaže od smeri reke in trajanja katastrofalnega onesnaženja v reki na kakovost iz drenaže črpane vode



Slika 11 • Koncentracija O₂ (mg/l) in % deleža aktivne od skupne biološke organske mase v vodonosniku v odvisnosti od trajanja infiltracije (starosti biološke mase Θ_c)

Rezultat uporabljenega modela na zgornjem diagramu kaže na velik padec koncentracije kisika v infiltrirani rečni vodi in na nujen pojav anoksičnih razmer v obrežnem vodonosniku, ki povzročajo sproščanje v vodonosniku prej netopnega železa, mangana in sulfida v vodo,

na drugi strani pa pozitivno eliminacijo organskega ogljika v infiltrirani vodi.

Medtem ko je po uporabljenem modelu mogoče kvantitativno dovolj realno presoditi padec kisika, pa kvantitativna ocena koncentracij Fe²⁺, Mn²⁺, S²⁻ in resničnega ostanka org. C v obrežnem filtratu ni mogoča.

3.3.2 Tehnologija čiščenja obrežnega filtrata

S predvideno namestitvijo črpalnih vodnjakov ali drenažnega zajetja vzdolž Mure (kafera od obeh možnosti bo na posameznih črpališčih najprimernejša, bo pokazala v projektu izvedena primerjava obeh možnosti) obstajata odvisno od izdatnosti in kakovosti obrežnega filtrata dve možnosti:

- črpalni vodnjaki (drenaža) se napajajo iz Mure neposredno z induciranim obrežnim filtratom brez predhodnega čiščenja;
- pred umetnim bogatenjem se obrežni filtrat ustrezno očisti.

Kateri od obeh načinov je glede količine, po kakovosti pitne vode in v obratovalnem pogledu najprimernejši, je mogoče najbolj zanesljivo določiti s preizkusom na že zgrajenem vodnem zajetju v Podgradu. Na tem zajetju so bili že leta 1968 zgrajeni objekti za infiltracijo, ki pa so bili kasneje, z izgradnjo izdatnejšega zajetja v Segovcih, opuščeni. Za usposobitev teh naprav so potrebna le manjša dela.

3.3.3 Čiščenje železa, mangana, agresivnega CO₂, organoleptičnost

Iz poglavja 4.2.2.6 v elaboratu IEL je razvidno, da bo pri načrtovanih vodnih zajetjih ob Muri (verjetno tudi pri padavinski podtalnici) treba predvideti čiščenje Fe²⁺, Mn²⁺ agresivnega CO₂ in S₂.

V kemičnih analizah elaborata IEL je omenjena le prevelika vsebnost železa in mangana v vrtnah pri Dokležovju in Vučji vasi. Presenečajo pa nizke koncentracije železa, ki so pri tej vrsti podtalnic večinoma višje od koncentracij mangana. **Vsekakor je treba pravilnost teh analiz preveriti.**

Po izkušnjah na črpališčih na Moti (Vodovod Ljutomer) in Mihovci (Vodovod Ormož) je verjetno, da bo železo in mangan tudi tukaj treba odstraniti iz vode že v samem vodonosniku. Pilotski preizkus pa je vsekakor potreben.

3.3.4 Tehnologija čiščenja nitratov

Pomen aktivne zaščite črpane podtalnice z umetnim bogatenjem pred nitratni in pesticidi je predvsem, da odpade potreba po enem ali drugem od spodaj navedenih tehnološko zahtevnih in dražjih postopkov čiščenja pitne vode:

- znižanje koncentracije nitratov z redčenjem s pomočjo umetnega bogatenja podtalnice,
- eliminacija nitratov z jonskimi izmenjevalci, z zamenjavo klorida ali hidrogen-karbonata,
- reverzna ozmoza,
- elektrodializa,
- biološka denitrifikacija:
 - s heterotrofno denitrifikacijo
 - v filtrih
 - v vodonosniku
 - avtotrofna denitrifikacija
 - vodik H₂ prejemnik elektronov
 - žveplo S prejemnik elektronov
- S pomočjo rastlin večjih porabnikov nitrata (sonaravni postopek) v organiziranem mokrišču (tip rastlinske ČN).

3.3.5 Čiščenje železa, mangana, CO₂

Z eliminacijo Fe in Mn v vodonosniku se izognemo sicer za to potrebnim čistilnim napravam za oksidacijo Fe in Mn v čistilnih napravah:

- z O₂; CO₂ s prepihanjem vode in dodajanjem Ca(OH)₂
- s KMnO₄ ali
- z O₃

3.3.6 Uporaba aktivnega oglja za poboljšanje organoleptičnih lastnosti vode in kontrolo pesticidov

Ker tvorita pretežen del črpane vode murski filtrat in obmurska podtalnica, se za »poliranje«
vode pred dovodom v omrežje predvidita še ozoniranje vode in filtracija z aktivnim ogljem.

3.3.7 Pomembna prednost umetnega bogatenja je tudi, da preskrba s pitno vodo proti zaledni podtalnici zaradi velikih poletnih pretokov v Muri ni odvisna od suš

območjih znotraj protipoplavnih nasipov ob Muri.

4 • USKLADITEV LOKACIJE IN NAČINA ZAJEMA NAČRTOVANIH VODNIH VIROV S PROJEKTOM BIOMURA

Spodnje slike so priložene kot primer, ki ga je, prilagojeno lokalnim pogojem, mogoče

uporabiti tudi pri načrtovanih črpališčih pitne vode na naravovarstveno varovanih



Slika 12 • Primer sonaravnega bogatenja podtalnice na dinah (dunes) za vodovod v Amsterdamu



Slika 13 • Drugi pogled na sonaravno bogatenje v Amsterdamu



Slika 14 • Zemeljski bazen za varnostno zalogo vode in bogatenje podtalnice na črpališču Mihovci vodovoda Ormož

5 • VPRAŠANJE REZERVNIH VODNIH VIROV

Za varnost preskrbe s pitno vodo je smiselno proučiti, v kolikšni meri je mogoče uporabiti

že obstoječa vodovodna črpališča Črnske meje, črpališče v Fazaneriji, Beltincih, Do-

brovniku in Krajni, z zagotovitvijo rezerve v kapaciteti načrtovanih vodnih virov in s sodelovanjem med posameznimi sosednjimi deli (conami) vodovodnega sistema.

6 • DOLOČITEV INVESTICIJSKO IN ENERGETSKO OPTIMALNE REŠITVE VODOVODNEGA SISTEMA

Z zasnovo vodovodnega sistema bodo podani investicijski in obratovalni stroški vodovodnega sistema ter varnost pitne vode.

Zaradi razsežnosti vodovodnega sistema bo treba proučiti predvsem:

a. Število tlačnih con v ravninskem in v hribovitem območju.

V ravninskem predelu Prekmurja (levi breg Mure) je višinska razlika med območjem Lendave (160 m n. v.) in Cankovo (216 m n. v.) 56 m.

V obravnavanem območju prevladuje nizka pozidava. Zato večji obratovalni tlaki od 20 m do 30 m niso potrebni, kar je v korist razdelitvi ravninskega območja v dve do tri tlačne oskrbovane cone z možnostjo medsebojne povezave v izrednih pogojih.

Več tlačnih con, v primerjavi z enotno tlačno cono, ima naslednje prednosti:

- nižje energetske stroške,
- manjše vodne izgube,
- omogočena je uporaba nizkotlačnih cevi in s tem manjši investicijski stroški,
- posamezne občine morajo imeti ne glede na število con kontrolirano dobavo celotne porabe vode v občini s števci na svojih odvzemih vode.

Pri načrtovanju sistema je treba s hidravličnim modelom analizirati več variant z eno- in večtlačnimi conami. Zaradi največje porabe vode in profilov cevi so pri ravninskem sistemu z več conami možni prihranki največji.

Ravninski sistem narekuje še presojo naslednjih alternativ:

b. Črpališča in glavni transportni cevovodi so načrtovani za srednjo urno porabo ob dnevu največje porabe. To pomeni, da potrebujejo posamezne cone lastne izravnalne rezervoarje (stolpne ali s hidroforji) ali kombinacijo.

c. Pri hribovitem delu varčevanje z manjšimi tlačnimi conami od 60 m do 70 m ni oportuno, saj povečuje število objektov (prečrpališča, rezervoarji) in s tem zahtevnost obratovanja. Obstajata predvsem dve alternativni:

- vodenje glavnih transportnih cevovodov po dolinah ob vpadnicah na hribovita območja,
- zaporedno prečrpavanje vode po slemenih hribovitega območja.

Pri izbiri med obema variantama, če ni večjih razlik v investiciji, naj bi o prednosti odločala predvsem varnost in enostavnost rešitve.

7 • SKLEP

Predvidena izgradnja enotnega vodovodnega sistema za Pomurje je med strokovno najzahtevnejšimi in ekonomsko največjimi

projekti za pitno vodo v Sloveniji. Namen tega prispevka je, da opozori na ključne probleme, ugotovljene na podlagi 30- in

večletnih izkušenj pri izgradnji in obratovanju že obstoječih vodovodov, na katere bo moral odgovoriti načrt obravnavnega vodovoda.

8 • LITERATURA

Grombach-Haberer-Merkel-Trüeb, Handbuch der Wasserversorgungs-Technik, 2 Auflage, 1993.

IEI, Inštitut za ekološki inženiring, d. o. o., Dolgoročna študija ureditve oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanje vodnih virov Pomurja.