



Spektrofotometrija Hitri testi



Priprava laboratorijske vode



Filtracija vzorcev

Standardni materiali Mikrobiološka gojišča



UPRAVLJANJE ONESNAŽENJ PODZEMNE VODE NA RAVNI FUNKCIONALNEGA MESTNEGA OBMOČJA

**mag. JOERG PRESTOR¹, dr. BRIGITA JAMNIK², SIMONA PESTOTNIK³,
PETRA MEGLIČ⁴, dr. SONJA CERAR⁵, dr. MITJA JANŽA⁶,
mag. PRIMOŽ AUERSPERGER⁷, mag. BRANKA BRAČIČ ŽELEZNIK⁸**

Povzetek

Na kakovost podzemne vode v vodonosniku pod mestom se kljub številnim zaščitnim ukrepom kažejo preštevilni vplivi, ki niso pod nadzorom. Nekatera onesnaževala izvirajo iz daljne preteklosti, druga se v podzemni vodi pojavijo (ne)pričakovano. Izkazujejo se kot onesnaženja različnih koncentracij, kot hitro ali počasi potujoči oblaki ali sporadični pojavi, ki zahtevajo usklajene ukrepe med deležniki. V primeru Ljubljane gre za štiri najpomembnejše vire in vrste onesnaževal, ki so gotovo tipična tudi za številna druga mesta: industrijsko območje (šestvalentni krom), mestno jedro z izgubami iz kanalizacije (nitrat in novodobna onesnaževala), mestno odlagališče nenevarnih odpadkov (bor) ter zaledje mesta z oblakom onesnaženja z desetilatrazinom iz stare gramoznice. Trenutno je onesnaženje z desetilatrazinom najtežji problem s stališča remediacije, saj so se največje koncentracije onesnaževala premaknile v globino 15 do 30 m, masa onesnaževala in koncentracija pa se zmanjšujeta izredno počasi v časovni razsežnosti več desetletij ali stoletja.

Ključne besede: funkcionalno mestno območje, načrt upravljanja, novodobna onesnaževala, onesnaženje, podzemna voda

Abstract

Despite the numerous protective measures, the quality of groundwater in the aquifer under the city is affected by numerous impacts that are not under control. Some pollutants originate from the distant past, others are (un)expected in groundwater. They are appearing as

- 1 Mag. Joerg Prestor, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 2 Dr. Brigita Jamnik, univ. dipl. inž. kem., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana
- 3 Dr. Brigita Jamnik, univ. dipl. inž. kem., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana
- 4 Petra Meglič, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 5 Dr. Sonja Cerar, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 6 Dr. Mitja Janža, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 7 Mag. Primož Auersperger, univ. dipl. inž. kem., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana
- 8 Mag. Branka Bračič Železnik, univ. dipl. inž. geol., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana



contaminations of different concentrations, as rapidly or slowly traveling clouds or sporadic phenomena, requiring coordinated action among stakeholders. In the case of Ljubljana, there are four most important sources and types of pollutants, which are also typical for many other cities: industrial area (hexavalent chromium), urban core with sewage losses (nitrate and new-coming pollutants), urban landfill of non-hazardous waste (boron), and the hinterland of the city with a cloud of pollution from the old gravel pit (desethylatrazine). At present, pollution with desethylatrazine seems to be the most difficult problem from the point of view of remediation, since the maximum concentrations of the pollutant have moved to a depth of 15 to 30 m, and the mass of the pollutant and the concentration are decreasing extremely slowly over the span of decades.

1. UVOD

Ljubljana je v zadnjih sto letih prerastla nekdanji nepozidani prostor do svojih glavnih zajetij pitne vode. Zato se s pitno vodo že danes oskrbuje praktično izpod samega mesta. Funkcionalnost mestnega območja je zaradi tega neposredno odvisna od kakovosti podzemne vode pod njim. Podzemni prostor, iz katerega se mesto oskrbuje s pitno vodo, pa tudi presega sedanje meje mestne občine. Mesto je neposredno odvisno od svojega zaledja. Upravljanje podzemnih voda je že danes povezano z natančnim nadzorom nad stanjem vodnega telesa in tveganji ter z zelo aktivnim preprečevanjem vnosa nevarnih snovi in omejevanjem vnosa vseh drugih snovi v podzemno vodo. Pri tem so tudi vsi potencialni onesnaževalci zavezani k nadzoru nad izpusti in njihovem zmanjševanju. In tako bo nedvomno še bolj v prihodnje.

V projektu AMIIGA, sofinanciranem iz transnacionalnega programa Srednja Evropa 2014–2020, iščemo v tesnem sodelovanju z odločevalci inovativne pristope upravljanja onesnaženj podzemne vode v funkcionalnem mestnem območju. AMIIGA je kratica, izpeljana iz angleškega naziva projekta Integrated Approach To Management Of Groundwater Quality In Functional Urban Areas, v prevodu Celovit pristop upravljanja kakovosti podzemnih vod v funkcionalnih mestnih območjih.

2. UPRAVLJANJE PODZEMNE VODE V FUNKCIONALNEM MESTNEM OBMOČJU

Visoko izdatni aluvialni vodonosnik, na katerem se razvija Ljubljana, sega v zelo pomembnem delu na območje občine Ig in presega tudi današnje meje obeh lokalnih skupnosti skupaj. Občina Ig, ki meji na mestno občino z južne strani, predstavlja eno najpomembnejših napajalnih zaledij podzemne vode v skupnem aluvijalnem vodonosniku Ljubljanskega barja in Ljubljanskega polja. Mesto in njegovo južno zaledje sta poleg tega povezana tudi z vodovodnim sistemom in kanalizacijskim omrežjem. Funkcionalno mestno območje je v tem pogledu mestno jedro in tudi njegovo zaledje, ki sega daleč v masiv Krma na južnem hribovitem območju. Vodarna Brest, eno glavnih zajetij podzemne vode in črpališč, ki oskrbujejo tudi mestno jedro, je danes še daleč v zaledju mesta, na ozemlju občine Ig. Kako pa bo čez sto let?

Podzemna voda funkcionalnega mestnega območja Ljubljana – Ig je del vodnega telesa Savska kotlina in Ljubljansko barje. V Načrtu upravljanja voda Republike Slovenije je stanje tega vodnega telesa z oznako VTPodV_1001 ocenjeno kot dobro. Vplivi obremenitev so namreč majhni, napovedi trendov koncentracij onesnaževal na posameznih merilnih mestih pa kažejo, da bodo do leta 2021 njihove koncentracije z vsaj 95-% verjetnostjo ustrezale standardom kakovosti na več kot 70 % merilnih mestih državnega monitoringa ARSO (MOP, 2016: 103). Vendarle predstavljajo nekatera onesnaževala lokalne okoljske probleme. To so onesnaževala, ki se pojavljajo kot posledica človekovih vplivov v oskrbnih sistemih s pitno vodo, onesnaževala, ki lahko ogrožajo ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemnih vod, in onesnaževala, ki presegajo standarde kakovosti ali vrednosti praga za podzemno vodo (MOP, 2016: 182–184).

Okoljski cilji za podzemne vode so doseženi, če je podzemna voda v dobrem kemijskem stanju in se stanje ne poslabšuje. Koncentracija kateregakoli onesnaževala, ki je posledica človekove dejavnosti, ne sme naraščati, preprečen mora biti vnos nevarnih onesnaževal v podzemno vodo in omejen vnos drugih onesnaževal, ki pomenijo obstoječe ali mogoče tveganje za podzemno vodo. Podzemna voda mora biti tudi v dobrem količinskem stanju (Uredba o stanju podzemnih voda, Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16: 3. člen). Za naraščajoče trende onesnaževal je treba določiti izhodiščno točko za vpeljavo ukrepov za obrat trenda. Izhodiščna točka je načeloma 75 % mejne vrednosti, lahko pa je nižja ali višja, odvisno od učinkovitosti vpeljave ukrepov. Kakršnakoli določitev izhodiščne točke pa ne sme povzročiti prenašanja dejanskih stroškov v prihodnost (Uredba o stanju podzemnih voda, Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16: 13. člen).

Orodje, ki ga država v sodelovanju z občinami uporablja pri načrtovanju in upravljanju onesnaženih območij, so tako imenovani programi varstva okolja, kot jih določa Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). Program varstva okolja za Mestno občino Ljubljana 2014–2020 je bil izdelan v juliju 2014. Program postavlja upravljanje vodnih virov na prvo mesto (Jazbinšek Seršen idr., 2014).

Prva prednostna naloga oziroma strateški cilj omenjenega programa je Dolgoročno zavarovanje vodnih virov z naslednjimi operativnimi cilji: »izboljšati kakovost virov pitne vode, doseči dolgoročno uravnoteženost med odvzemi in obnavljanjem količin podzemne vode ter izboljšati ekološko stanje površinskih voda na območju Mestne občine Ljubljana«. Operativni cilj »izboljšati kakovost virov pitne vode do leta 2020« zajema nekatere ključne dejavnosti, kot so (Jazbinšek Seršen idr., 2014):

- priprava operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode v MOL-u za obdobje 2016–2020 s prednostnimi nalogami na vodovarstvenih območjih (VVO), vsako leto obnoviti 20 km kanalizacijskega sistema na VVO-ju v skladu z operativnim programom, pripraviti pobudo za vzpostavitev pravne podlage za pregled stanja in obnovo kanalizacijskih priključkov;
- monitoring onesnaženosti podzemne vode vodonosnikov Ljubljanskega polja in barja;
- nadzor onesnaženosti tal ter hranil na kmetijskih zemljiščih na VVO MOL;
- ugotoviti izvor in odpraviti vzroke onesnaženj podzemne vode;
- zmanjšati rabo soli za soljenje cest;



- pripraviti pobude za usmeritev transporta nevarnih snovi na južno ljubljansko obvoznico in drugo.

Nekatere trajne naloge izhajajo že iz prejšnjih programov varstva okolja MOL-a, npr., nadzorovati hranila, fitofarmacevtska sredstva (FFS), razvijati informacijski sistem in podobno. V obdobju 2007–2013 je bil tako zaključen tretji ciklus spremljanja rodovitnosti tal na 240 različnih lokacijah znotraj VVO MOL. V letih 2005–2013 so bile na 165 kmetijskih zemljiščih na VVO-ju v MOL-u in vodarni Brest izvedene meritve ostankov FFS-ja in težkih kovin v tleh (Jazbinšek Seršen idr., 2014).

Pri pripravi naslednjega načrta upravljanja podzemne vode na funkcionalnem mestnem območju za obdobje 2021–2027 izhajamo iz obstoječih okvirov in potreb, ki jih določa obstoječi Program varstva okolja MOL.

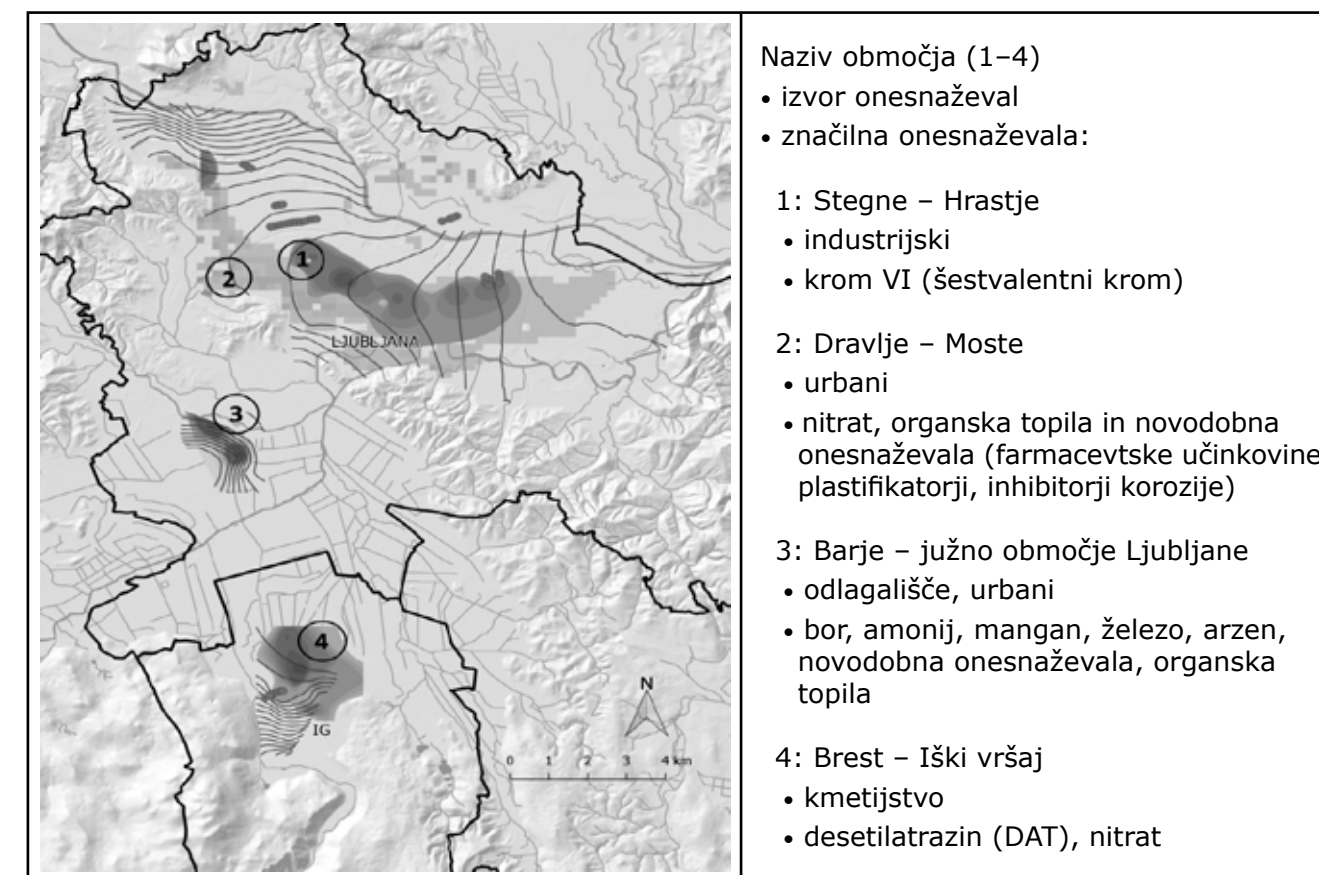
3. ONESNAŽENJA PODZEMNE VODE LJUBLJANE V ZADNJIH DVEH DESETLETJIH

Ključni problem funkcionalnega mestnega območja Ljubljana – Ig predstavljajo različne snovi antropogenega izvora, prisotne v različnih koncentracijah v podzemni vodi, ki se uporablja za oskrbo s pitno vodo. V zadnjih dveh desetletjih (1999–2016) so bila na funkcionalnem mestnem območju odkrita različna onesnaževala in onesnaženja. Nekatera onesnaževala iz razpršenih virov onesnaževanja so stalno prisotna, to so nitrat, atrazin (AT), desetilatrazin (DAT), trikloroeten (TCE), tetrakloroeten (PCE) in šestvalentni krom (Cr VI). Poleg teh je v tem obdobju prihajalo še do posameznih izrednih ali ponavljajočih se onesnaženj (Prestor idr., 2017):

- v letu 2000: 6-diklorobenzamid (BAM) – herbicid za zatiranje plevela;
- v letu 2004: metolaklor (MET) – totalni pesticid, predvsem pa je v uporabi za koruzo nadomestil prepovedani atrazin, trikloroeten (TCE) – topilo za razmaščevanje pretežno v industriji oziroma obrtni dejavnosti;
- v letu 2005: trikloroeten (TCE) – topilo;
- od leta 2008 naprej: ponavljajoča se onesnaženja z metazaklorom (METZ) – pesticid za zaščito predvsem zelja;
- od leta 2010 naprej: ponavljajoča se onesnaženja z benzenom in toluenom – iz zemeljskega plina;
- v zadnjih petih letih, od 2012 naprej: naraščajoče razpršeno onesnaženje z benzotriazoli (antikorozivno sredstvo v široki uporabi, na primer tudi v tabletah za pomivalne stroje) in še z nekaterimi farmacevtskimi sredstvi, kot so benzensulfonamidi.

Do izrednih onesnaženj, ki ogrozijo črpališča pitne vode, prihaja v povprečju kar enkrat letno, bodisi iz industrijskih ali kmetijskih virov. Poleg teh naključnih onesnaženj je nekaj stalnih onesnaževanj in onesnaženj, ki izvirajo iz starih virov. Ti ogrožajo dolgoročno varnost oskrbe z vodo ter obremenjujejo zaščito podzemne vode, upravljavski denar ter omejujejo možnosti ambicioznejših ciljev za kakovost podzemne vode.

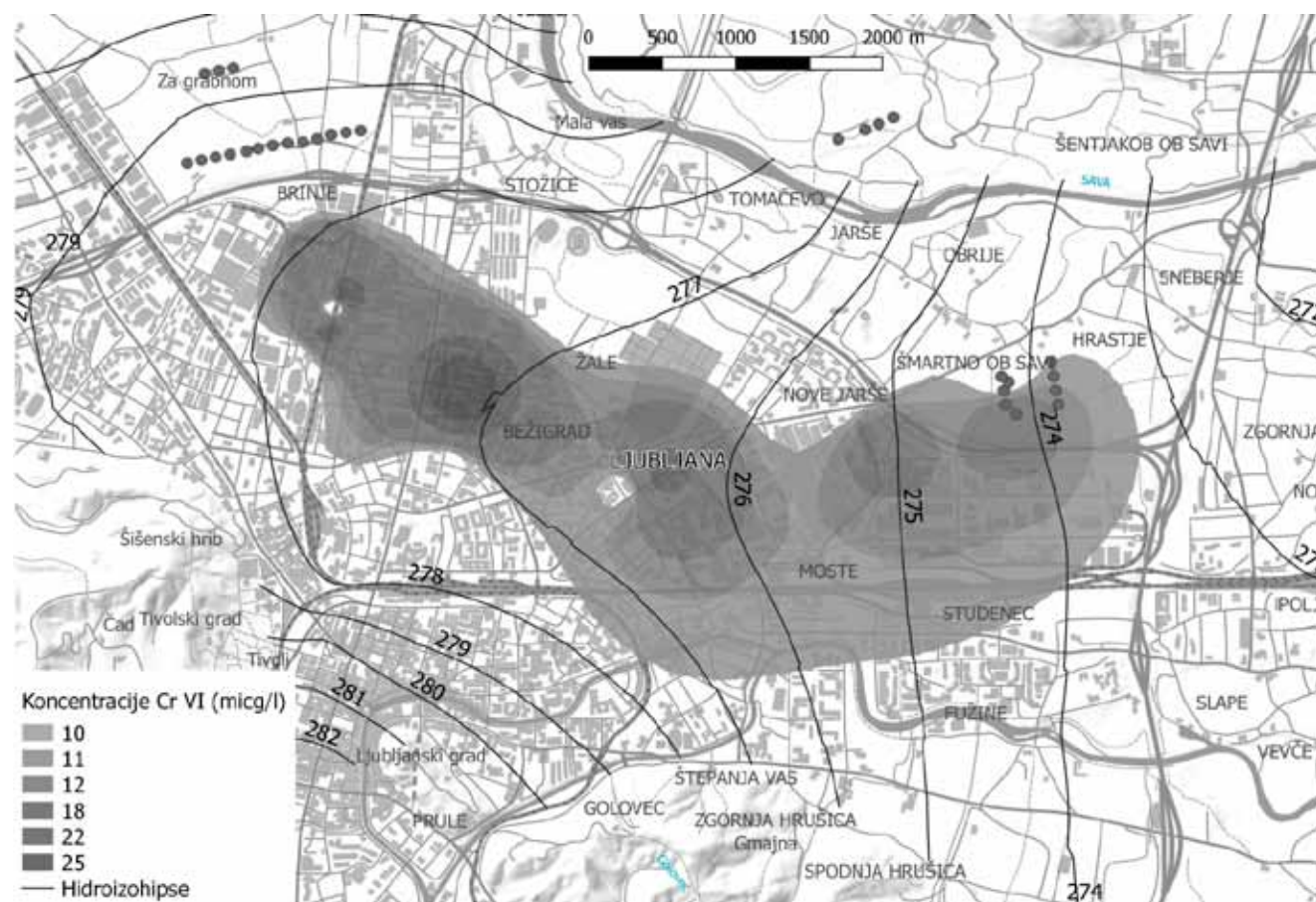
Za funkcionalno mestno območje Ljubljana – Ig so danes najpomembnejši štirje viri onesnaževal, tipični prav za mestna območja in njihova zaledja. To sta v mestnem jedru industrijsko območje Stegne – Hrastje in območje izgube iz kanalizacijskega sistema Dravlje – Moste, v zaledju mesta pa pretekla raba pesticidov in dušika v poljedelstvu (Brest – Iški vršaj) ter mestno odlagališče nenevarnih odpadkov Barje (slika 1).



Slika 1: Funkcionalno mestno območje Ljubljana – Ig s štirimi obravnavanimi območji onesnaženja podzemne vode in občinskimi mejami

3.1. Onesnaženje iz industrijskih virov na območju Stegne – Hrastje

Onesnaženje s šestvalentnim kromom (Cr^{6+}) je eno najresnejših onesnaženj vira pitne vode v Ljubljani. Glavni oblak onesnaženja (v koncentracijah višjih od $10 \mu\text{g/l}$) se razširja med južnim obrobjem Litostroja ter poteka preko Bežigrada, severno od Navja, se nadaljuje proti Mostam in nato sega do Hrastja (slika 2). Prvi zapisi o onesnaženju podzemne vode so iz leta 1985. Območje okoli Kleč je postalo industrijsko po drugi svetovni vojni. Več obratov je delovalo brez ustreznih dovoljenj in tudi brez čistilne naprave in onesnaževalo zemlino in podzemno vodo s toksičnimi kovinami, vključno s šestvalentnim kromom. Po več kot 30 letih se še vedno soočamo z izvori onesnaževanja s šestvalentnim kromom, ki jih ne poznamo oziroma ne odkrivamo sproti.



Slika 2: Položaj sedanjega glavnega oblaka onesnaženja podzemne vode s šestvalentnim kromom Cr^{6+} 2016-2017 (območje Stegne – Hrastje)

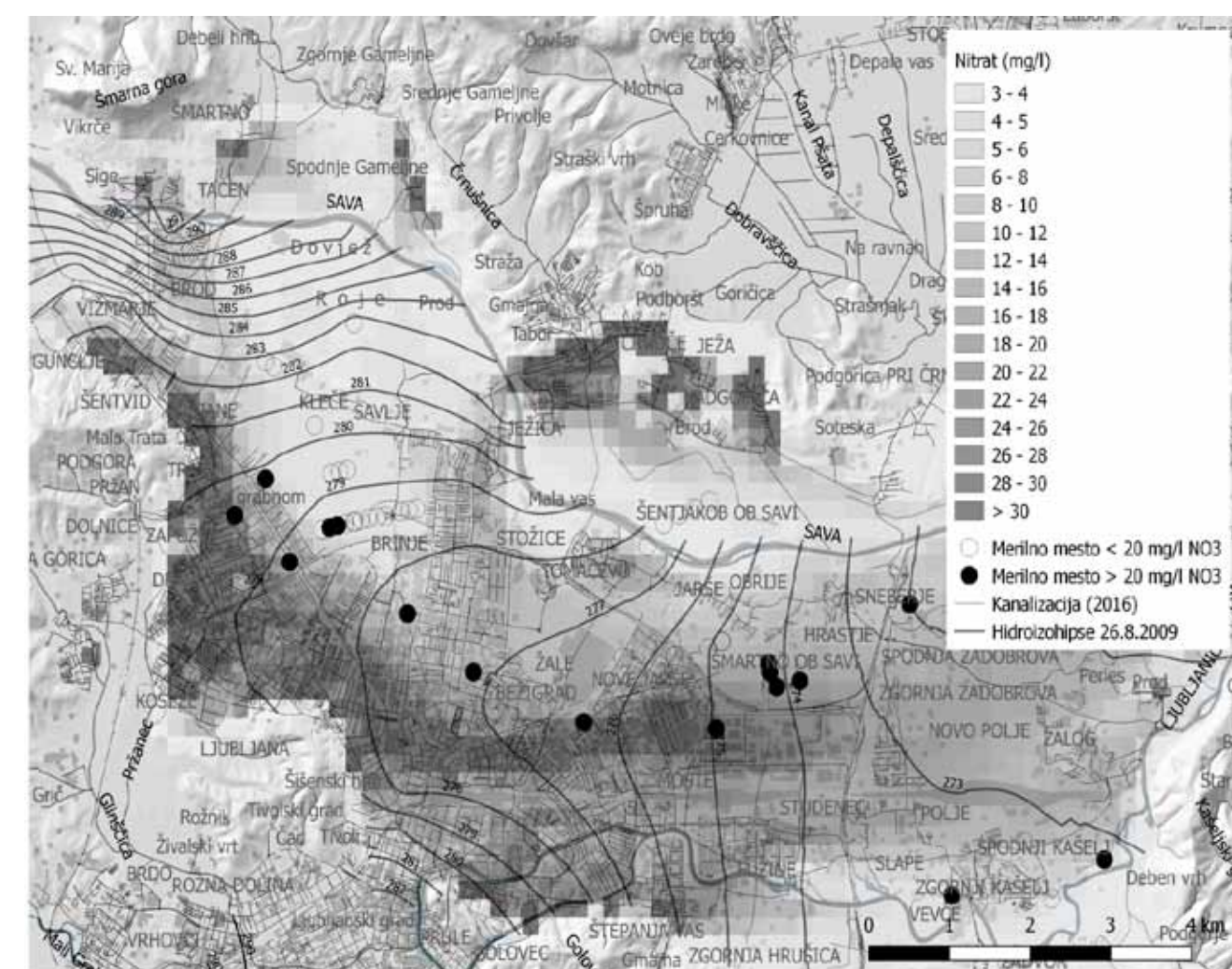
Varnost oskrbe s pitno vodo trenutno ni ogrožena s kromom. V vodnjakih za oskrbo s pitno vodo Ljubljane so koncentracije kroma zelo nizke. Vendarle pa je glede na dosedanja pojavljanja onesnaženj s šestvalentnim kromom jasno, da so posamezni deli oblaka lahko bolj onesnaženi (s koncentracijami $> 35 \mu\text{g/l}$) in da konična onesnaženja lahko presežejo tudi priporočeno mejo $50 \mu\text{g/l}$.

Pri masni bilanci kroma in njegovih spojin so bili zbrani rezultati analiz kroma na vtoku v Centralno čistilno napravo (CČN) Ljubljana. Ti kažejo koncentracije kroma med 11 in $39 \mu\text{g/l}$. Po kanalizacijskih ceveh letno steče povprečno okoli 730 kg kroma. Masna bilanca kroma iz znanih izpustov in v podzemni vodi kaže, da je večina onesnaženja iz nenadzorovanih virov. Vendar pa se število naprav in tudi masa kroma v izpustih bistveno spreminjata z leti. Zato so tudi vplivi izgub kroma iz kanalizacije spremenljivi in je izvore težko izslediti. Problem je tudi majhno število analiz kroma na vtoku CČN Ljubljana, za leto 2014 le dve (Pestotnik idr., 2017).

3.2. Onesnaženje iz izgub iz kanalizacije na območju Dravljje – Moste

Glavni oblak onesnaženja iz izgub iz kanalizacije se širi od Dravelj preko Šiške in nato Bežigrada ter naprej med Mostami in Novimi Jaršami proti Zadobrovi in Novemu Polju (slika 3). Večina merilnih mest s koncentracijami nitrata nad 20 mg/l je značilno razporejenih vzporedno,

vendar nekoliko severno od osi jedra oblaka iz izgub iz kanalizacije (slika 3), kjer se oblaku onesnaženja iz kanalizacije pridruži še onesnaženje iz kmetijstva (Janža idr., 2017). Po modelu INCOME je bila pred sedmimi leti povprečna koncentracija nitrata v celotnem telesu podzemne vode Ljubljanskega polja $17,6 \text{ mg/l}$. K taki koncentraciji nitrata je prispevalo 270 t N/leto iz izgub iz kanalizacije ter 407 t N/leto iz presežkov v kmetijstvu in naravnega ozadja. Razmerje obeh virov je po tem modelu 40 : 60 (Pestotnik idr., 2017).



Slika 3: Simulacija razporeditve koncentracij nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja zaradi izgub iz kanalizacije (krogi označujejo merilna mesta z opazovanji nitrata v letu 2016 in dodatnim vzorčenjem v letu 2017)

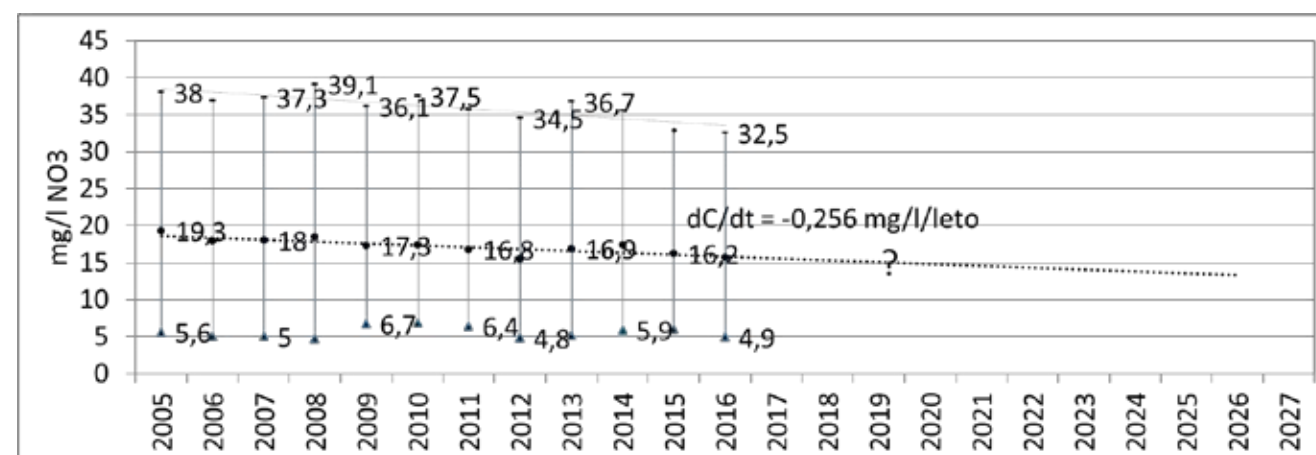
Analiza trendov dušika, ki smo jo v tem letu opravili v okviru projekta AMIIGA z vključitvijo vseh novih podatkov skupnega monitoringa, potrjuje, da gre za značilen trend upadanja nitrata, ki se nadaljuje v zadnjih desetih letih. Za celotno Ljubljansko polje je značilen regionalni trend upadanja nitrata v obdobju 2007–2016. Največji trend upadanja se pri tem kaže v zaledju Hrastja ($3,1 \text{ mg/l}$ na deset let), najmanjši pa v zaledju Kleč ($1,2 \text{ mg/l}$ na deset let).

Eno najzanimivejših vprašanj je, kakšen trend lahko napovemo za naslednje desetletje, ali se bo trend upadanja nitrata še nadaljeval, oziroma, kaj je treba storiti, da bi se nadaljeval,



ter kakšni so lahko realni cilji za naslednje obdobje 2021–2027 in do leta 2050 (slika 4). A pomembno je vedeti tudi, kateri ukrep je največ prispeval k zniževanju nitrata in ali je trend stalen ali je prišlo le do spremembe srednje vrednosti v določenem obdobju.

Novodobna organska onesnaževala (herbicidi, farmacevtska sredstva in tudi plastifikatorji, topila itn.) so danes lahko bolj zaskrbljujoča z okoljskega vidika kot nitrat. Ukrepi za nadaljnje zniževanje nitrata v podzemni vodi pa so pomembni ravno za zmanjševanje morebitnega trenda novodobnih onesnaževal, ki ga danes dejansko še ne poznamo.



Slika 4: Trend koncentracij nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja – srednje vrednosti na vseh merilnih mestih ter srednje vrednosti na merilni postaji z najnižjimi in najvišjimi koncentracijami

3.3. Onesnaženje na območju odlagališča odpadkov in južnega dela Ljubljane

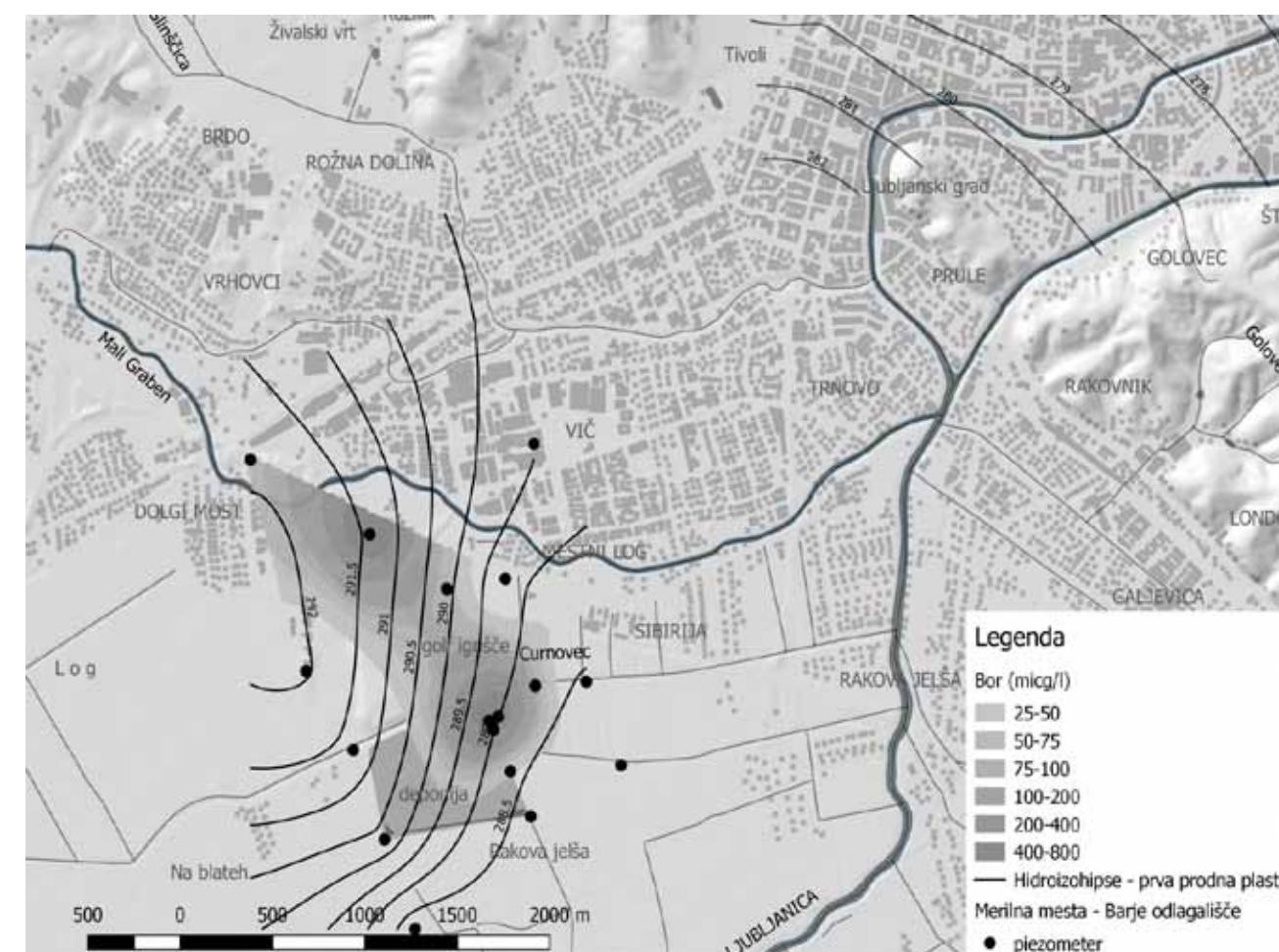
Na južnem obrobju mesta se nahaja odlagališče nenevarnih odpadkov Barje. Obratuje od leta 1964. Na starem delu so bili odpadki odloženi na zaglinjene geološke plasti še brez zaščitne neprepustne folije. V obdobju 1990–2000 je postalo jasno, da bodo potrebni dodatni zaščitni ukrepi. Nato je bil vzpostavljen zapleten obratovalni monitoring, ki danes obsega več kot 30 opazovalnih mest dolvodno in gorvodno od odlagališča, v treh različnih geoloških plasteh. Izvedeno je bilo veliko dodatnih zaščitnih ukrepov, predvsem za zmanjšanje precejšnje izcedne vode iz telesa odlagališča v geološke plasti pod njim.

Glavno onesnaženje pod vplivom odlagališča se danes zadržuje do razdalje približno 200 m okoli odlagališča. To omogočata predvsem slaba prepustnost geoloških plasti, ki zadržuje anorganske snovi, ter redukcijsko okolje z zelo nizko vsebnostjo kisika, kar pospešuje razgradnjo organskih snovi. Glavno možno pot širjenja onesnaževal predstavlja tanka prodna plast, ki se med vrhnjimi plastmi večinoma pojavlja v globini 4–6 m pod površjem in se delno drenira tudi v površinske kanale.

Najznačilnejša onesnaževala odlagališča Barje so bor (0,004–7,8 mg/l) (slika 5), amonij (0,5–28 mg/l), nitrit (0,007–0,030 mg/l), železo (1,5–33 mg/l), mangan (0,8–3 mg/l), arzen (0,004–0,015 mg/l) in sulfat (0–800 mg/l). Ista onesnaževala pa so v okolici odlagališča pri-

sotna tudi v naravnih razmerah, saj gre za menjavanje geoloških plasti v zaprtih hidrogeokemijskih razmerah in bogatih z organskimi snovmi (zlasti šoto).

Visoko povišane koncentracije onesnaževal se pojavljajo v opazovalnih vrtinah tik nad dolvodnim robom odlagališča. Organska onesnaževala so tam prisotna v sledovih, večinoma kot posledica razpada različnih plastičnih materialov, vključno z nekaterimi obstojnejšimi dodatki (npr. zaviralci gorenja, plastifikatorji). Poleg tega se lahko zaznavajo farmacevtska sredstva (propifenazon, antipirin, lidokain ...). Še posebej se je med organskimi onesnaževali kot značilno reprezentativno sledilo do sedaj izkazal propifenazon, ki kaže bistveno večjo obstojnost v anoksičnih razmerah, značilnih za Barje, kot v prezračenih razmerah Ljubljanskega polja.



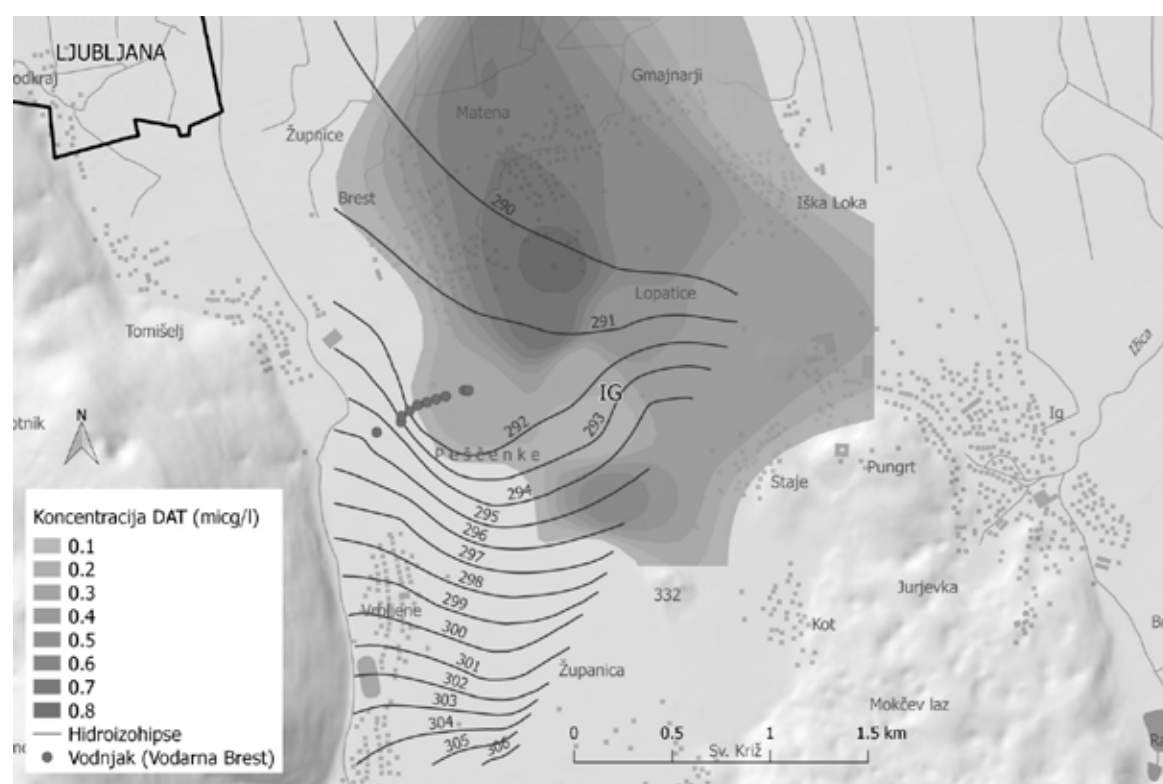
Slika 5: Piezometrična gladina podzemne vode v prvi prodni plasti in razporeditev koncentracij bora med opazovalnimi vrtinami obratovalnega monitoringa Odlagališča Barje (2013)

V zadnjih nekaj letih je bilo analiziranih skoraj 200 časovnih nizov podatkov o pojavljanju onesnaževal v treh različnih geoloških plasteh. Trendi onesnaževal so le redko značilni. Sipanje rezultatov je veliko, vendar pa so pričakovani razponi nihanja koncentracij v naslednjih letih znani. Bor, ki je danes najznačilnejše in najpomembnejše onesnaževalo z odlagališča, bo presegal normativ 0,5 mg/l v naslednjih desetih letih le še na vzhodnem robu odlagališča in samo v prvi prodni plasti ter vrhnjih plasteh nad njo. Trendi organskih onesnaževal še niso bili ugotovljeni, a so predmet podrobnega nadzora v obratovalnem monitoringu.



3.4. Območje onesnaženja iz pretekle kmetijske dejavnosti Brest – Iški vršaj

Vodarna Brest na Iškem vršaju je bila zasnovana v letu 1975, v javni oskrbni sistem pa je vključena od leta 1981. Danes oskrbuje s pitno vodo uporabnike kar štirih občin: Ig, Brezovica, Škofljica ter v Mestni občini Ljubljana (Bračič Železnik, 2016). Ob povečevanju zmogljivosti tega vodnega vira je bila v letu 2002 nenadoma zaznana visoka koncentracija desetilatrazina (DAT) v vodnjaku VD Brest-1a. Koncentracija je kljub ustavitvi vodnjaka še naraščala in dosegla najvišjo vrednost 0,762 µg/l. Ob črpanju količin vode, ki jih narekujejo današnje potrebe, sta za varno oskrbo s pitno vodo potreben skrbno nadzorovan režim črpanja in monitoring. Najvišje koncentracije desetilatrazina se še naprej zadržujejo na severnem delu Iškega vršaja in ob izvornem mestu gramoznice na južnem robu oblaka (slika 6). Visoke koncentracije desetilatrazina so v jedru oblaka vzhodno od vodarne precej nad dovoljeno mejo za pitno vodo. Glavna koncentracija desetilatrazina je danes v globljih delih aluvialnega vodonosnika na globini med 15 in 30 m pod površjem (Jamnik idr., 2017: 31). Poglavitni razlogi, da se onesnaženje vztrajno zadržuje na tem območju še po 13 letih po prepovedi atrazina, so zelo počasna razgradnja, lepljenje na glinasto frakcijo in slaba topnost v vodi. Tudi raba tega pesticida je bila očitno izredno neustrezna in brezobzirna, predvsem pa odlaganje v večjih količinah na mestu nekdanje gramoznice in morda še kje na tem onesnaženem območju. V letu 2011 je bila skupna masa onesnaževala v oblaku 25 kg, v letu 2017 pa 23 kg. Masa onesnaževala v oblaku onesnaženja se zmanjšuje le za približno 0,3 kg/leto. V zadnjih 20 letih se je odstranilo približno 6 kg čistega desetilatrazina in atrazina. To je toliko, kot je bila enoletna poraba tega pesticida na 6 hektarih njivskih površin (Pestotnik idr., 2017).



Slika 6: Položaj oblaka onesnaženja z desetilatrazinom (DAT) vzhodno od vodarne Brest zaradi rabe pesticida atrazina pred prepovedjo v letu 2004 (današnje stanje – v začetku leta 2017)

4. SKLEP

Podzemna voda je bistveni element funkcionalnosti mestnega območja Ljubljane, mestnega jedra in njegovega zaledja, ki se razteza v zelo pomembnem delu na območje občine Ig in še naprej v masiv Krma.

Dejstvo je, da sta danes najpomembnejši onesnaževali šestvalentni krom na Ljubljanskem polju in desetilatrazin na Iškem vršaju. Šestvalentni krom povzroča grožnjo možnih koničnih onesnaženj preko varne meje 50 µg/l v oblaku onesnaženja med Stegnami in Hrastjem. Oblak onesnaženja je dinamičen, se spreminja, vendar je stalno prisoten. Nadaljnje preiskave onesnaženja s kromom smo zato usmerili v ugotavljanje korelacije med gibanjem oblaka in spreminjanjem obremenitev iz izpustov ter ugotavljanje kumulativnega vpliva iz več možnih točkovnih virov kroma na dinamiko in geometrijo oblaka. To nam bo omogočilo, da lahko izsledimo posamične izvore onesnaženja podzemne vode.

Desetilatrazin predstavlja najresnejši problem za nadaljnji razvoj vodnega vira Brest. Oblak onesnaženja z desetilatrazinom vzhodno od vodarne Brest omejuje današnji razvoj celotnega količinskega potenciala vodnega vira Iškega vršaja za oskrbo s pitno vodo. Njegov potencial je zlasti pogrešan v sušnih obdobjih, ko črpanje iz zgornjega dela aluvialnega vodonosnika ni več možno. Nadaljnje raziskave smo zato usmerili v ugotavljanje obstoja DAT v nižjem karbonatnem vodonosniku pod črpališčem Brest, ali je vodonosnik v podlagi aluvialnega vodonosnika tudi kontaminiran in ali je možno in smiselno vključiti vodnjak VD Brest-3a, ki odvzema vodo iz globokega karbonatnega vodonosnika, v redni sistem oskrbe z vodo in pod kakšnimi pogoji.

Onesnaženji iz izgub iz kanalizacije na območju Dravlje – Moste na Ljubljanskem polju in z odlagališča Barje na južnem obrobju Ljubljane ne ogrožata sedanjih zajetij podzemne vode. Koncentracija nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja se je zniževala z značilnim trendom iz preteklega obdobja tudi v zadnjih letih 2011–2017. Učinkovito nadaljnje zniževanje vnosa dušika iz izgub iz kanalizacije in kmetijske rabe je zelo pomembno, saj s tem posredno preprečujemo naraščanje prisotnosti novodobnih onesnaževal v podzemni vodi. Trende teh onesnaževal skušamo danes šele čim boljše ugotoviti in prepoznati med njimi značilne kazalce posameznih virov onesnaženj, kot na primer karbamazepin za kanalizacijo. Prepoznavanje izvorov je pomembno za pravilno določanje kritičnih točk in odločanje za izvedbo ukrepov.

Najznačilnejše onesnaževalo z odlagališča Barje je bor. Med organskimi snovmi se kaže kot možno sledilo vpliva propifenazon, ki je obstojen v anoksičnih razmerah. Vendarle pa bo to treba še potrditi z nadaljnjimi preiskavami. V bližnji oddaljenosti od odlagališča se pojavljajo že vplivi onesnaževal iz drugih virov. Monitoring podzemne vode med odlagališčem in prehodom med Gradom in Rožnikom še ni dobro vzpostavljen, zato onesnaženjem iz zunanjih virov ni možno slediti. Tudi še ni možno dovolj natančno opredeliti, kakšna voda se danes v povprečju pretaka z Ljubljanskega barja na Ljubljansko polje in kakšne so mase onesnaževal. Sploh pa še ni možno oceniti, kakšna voda prihaja iz različnih delov južnega mesta.

Današnji sistem monitoringa je že zelo obsežen. Treba ga je stalno optimizirati, vendar pa hkrati zagotavljati kontinuiteto, ki omogoča spremljanje trendov in ustrezno pokrivanje de-



lov funkcionalnega mestnega območja. Še pomembnejše kot monitoring je stalno in načrtno zmanjševanje obremenitev. Stalno zmanjševanje obremenitev zanesljivo zagotavlja tudi konkretne rezultate. Zmanjševanje obremenitev je smiselno konkretno opredeliti v bilanci onesnaževal v Programu varstva okolja in podlagah prostorskega načrta. Zmanjševanje obremenitev je pomembno zaradi novih prihajajočih onesnaževal, zaradi podnebnih sprememb in zaradi naraščajočega prebivalstva oziroma migracij.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Mestni občini Ljubljana (MOL) in njenemu Oddelku za varstvo okolja, Občini Ig, Javnemu podjetju Snaga kot pridruženim partnerjem za njihovo dejavno sodelovanje, po-bude in podporo projekta AMIIGA. Zahvaljujemo se tudi vsem članom interesne skupine, ki so sodelovali na dosedanjih delavnicah.

LITERATURA IN VIRI

1. Bračič Železnik, B., 2016. Dinamika podzemne vode sistemov vodonosnikov Iškega vršaja. Magistrsko delo. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.
2. Jamnik, B., Cerar, S., Auersperger, P., Meglič, P., Prestor, J., Bračič Železnik, B., 2017. D.T2.2.2 - Report on additional targeted sampling campaign and laboratory analysis. Project AMIIGA (Interreg, Central Europe).
3. Janža, M., Meglič, P., Prestor, J., Jamnik, B., Pestotnik, S., 2017. D.T2.2.3 Report on the improved transport and surface-groundwater interactions model. AMIIGA project, Programme Interreg Central Europe.
4. Jazbinšek Seršen, N., Regina, H., Stojin Božič, Z., Jankovič, M., Piltaver, A., Čermelj, S., Babić, V., 2014. Program varstva okolja za Mestno občino Ljubljana 2014–2020. Mestna uprava Mestne občine Ljubljana, Oddelek za varstvo okolja. Dostopno na: <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/varstvo-okolja/program-varstva-okolja/> [9. 8. 2017].
5. Mestna občina Ljubljana, 2017. Program varstva okolja. Prednostne naloge Programa. Dostopno na: <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/varstvo-okolja/program-varstva-okolja/> [9. 8. 2017].
6. Ministrstvo za okolje in prostor, 2016. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016–2021. Ljubljana. Dostopno na: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_II/NUV_VOD.pdf [9. 8. 2017].
7. Pestotnik, S., Prestor, J., Meglič, P., Janža, M., Šram, D., 2017. T2.2.4 Report on actualized contaminants mass balance and pressures-impacts model. AMIIGA project, Programme Interreg Central Europe.
8. Prestor, J., Jamnik, B., Janža, M., Auersperger, P., Meglič, P., Bračič Železnik, B., Mali, N., Urbanc, J., Horvat, B., Pestotnik, S., 2017. D.T2.2.1 Report on the actual status of four contamination sites selected for remediation measures. AMIIGA project, Programme Interreg Central Europe.
9. Prestor, J., Pestotnik, S., Janža, M., Meglič, P., 2014. Načrtovanje zaščitnih ukrepov na podlagi modela obremenitev in vplivov na podzemno vodo. V: Kladnik, D., Topole, M., ur. Skrb za vodo. Ljubljana: Založba ZRC. Str. 79-92.
10. Uredba o stanju podzemnih voda. Uradni list, št. 25/09, 68/12 in 66/16.

SANACIJA VODNIH VIROV SEGOVCI IN PODGRAD

dr. GORAN PIPUŠ¹

Povzetek

Na desnem bregu reke Mure sta obstoječa vira Segovci in Podgrad problematična zaradi intenzivnega kmetijstva v njunem zaledju. Kot najprimernejši postopek za sanacijo vodnih virov Podgrad in Segovci je bilo izbrano aktivno varovanje in bogatenje obeh vodnih virov z obrežnim filtratom reke Mure. Tehnološki postopek priprave pitne vode je bil določen in potrjen z izvedenimi pilotnimi testi čiščenja pitne vode ter ga lahko razdelimo na tri zaokrožene tehnološke dele: črpanje in priprava obrežnega filtrata v Segovcih, črpanje in priprava obrežnega filtrata v Podgradu ter priprava pitne vode v vodarni Podgrad. Sistem bogatenja in varovanja podzemne vode za vodna vira Segovci in Podgrad omogoča oskrbo s kakovostno pitno vodo v zadostnih količinah za vodovodni sistem Gornja Radgona in vodovodni sistem Apače.

Ključni besedi: priprava pitne vode, varovanje vodnih virov

Abstract

Water source Segovci and Podgrad located on the right bank of river Mura were problematic, because of intensive agriculture. The active protection and enrichment of both water sources with bank filtrate of river Mura was chosen as most appropriate process. The technological process of drinking water treatment was confirmed with pilot tests. The drinking water treatment process can be divided into three separate technological units: pumping and treatment of bank filtrate in Segovci, pumping and treatment of bank filtrate in Podgrad and drinking water treatment in Podgrad. The system of enrichment and protection of groundwater for water sources Segovci and Podgrad ensure safe supply of drinking water for the drinking water supply system Gornja Radgona and drinking water supply system Apače.

¹ Dr. GORAN PIPUŠ, univ. dipl. inž. kem. inž., Hidroinženiring, d. o. o.