GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

SKRB ZA PITNO VODO

BRIGITA JAMNIK,
MITJA JANŽA,
ALEŠ SMREKAR,
MATEJA BREG VALJAVEC, SONJA CERAR, CLAUDIA COSMA, KATARINA HRIBERNIK, MATIJA KRIVIC, PETRA MEGLIČ, SIMONA PESTOTNIK, MATTHIAS PIEPENBRINK, MARTIN PODBOJ, KATARINA POLAJNAR HORVAT, JOERG PRESTOR, CHRISTOPH SCHÜTH, JASNA ŠINIGOJ, DEJAN ŠRAM, JANKO URBANC, GORAZD ŽIBRET

Brigita Jamnik
Naziv: dr., mag., univerzitetna diplomirana kemičarka
Naslov: Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o., Vodovodna cesta 90, Ljubljana, Slovenija
E-pošta: brigita.jamnik@vo-ka.si

Leta 1989 je diplomirala na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani. Na isti fakulteti je študij nadaljevala in leta 1992 sklenila magistrski študij, leta 1995 pa zagovarjala doktorsko disertacijo s področja fizikalne kemije.
Leta 1996 se je zaposlila v Javnem podjetju Vodovod-Kanalizacija, kjer razrešuje probleme, povezane z okoljskimi vidiki upravljanja obeh komunalnih sistemov ter zagotavljanjem skladnosti in zdravstvene ustreznosti pitne vode. Vzpostavila je tesne stike z raziskovalnimi ustanovami in sodelovala pri slovenskih in mednarodnih raziskovalnih projektih, ki so postali temelj strokovnih odločitev podjetja. Je certificirana voditeljica evropskih projektov. S svojim delom prispeva k prepoznavnosti navedenih tem v splošni javnosti. Njena bibliografija obsega okrog 150 enot.

Mitja Janža
Naziv: dr., mag., univerzitetni diplomirani inženir geologije, višji znanstveni sodelavec
Naslov: Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija
E-pošta: mitja.janza@geo-zs.si
Medmrežje: http://www.pazu.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=20&id_informacija=316

Leta 1997 je na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani diplomiral s področja geologije. Na isti fakulteti je leta 2000 je z zagovorom magistrske naloge končal Interdisciplinarni podiplomski študij varstva okolja in leta 2004 zagovarjal doktorsko disertacijo »Modeliranje napajanja regionalnega vodonosnika z uporabo metod daljinskega zaznavanja«.
Od leta 1999 je zaposlen na Geološkem zavodu Slovenije, kjer je od leta 2014 predsednik Znanstvenega sveta. Ukvarja se predvsem z hidrogeološkimi raziskavami, povezanimi z modeliranjem. Sodeloval je v številnih domačih in mednarodnih projektih. Je certificirani vodja evropskih projektov. V letih 2000 in 2001 je kot gostujoči raziskovalec delal na Oddelku za varstvo okolja dežele Benečije. Njegova bibliografija obsega več kot 200 enot.

Aleš Smrekar
Naziv: dr., mag., univerzitetni diplomirani geograf in univerzitetni diplomirani etnolog, višji znanstveni sodelavec
Naslov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, Ljubljana, Slovenija
E-pošta: ales.smrekar@zrc-sazu.si
Medmrežje: http://giam.zrc-sazu.si/smrekar

Leta 1995 je na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani diplomiral in tam leta 2000 tudi magistriral. Leta 2005 je na Fakulteti za humanistične študije Univerze na Primorskem doktoriral z delom Zavest o rabi vode kot naravnega vira.
Od leta 1995 je zaposlen na Geografskem inštitutu Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, kjer od leta 2005 vodi Oddelek za varstvo okolja. Od leta 2012 je predsednik Znanstvenega sveta ZRC SAZU. Sprva se je ukvarjal z metodologijo ranljivosti okolja, zatem je raziskoval integralno obremenjevanje prodnih ravnin, v zadnjih letih se posveča predvsem vrednotenju naravovarstvenih prizadevanj. Sodeluje pri številnih domačih in evropskih raziskovalnih projektih, mnoge tudi vodi. Njegova bibliografija obsega več kot 250 enot.

Mateja Breg Valjavec
dr., univerzitetna diplomirana geografka, znanstvena sodelavka; Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, Ljubljana, Slovenija; mateja.breg@zrc-sazu.si

Sonja Cerar
univerzitetna diplomirana inženirka geologije, mlada raziskovalka; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; sonja.cerar@geo-zs.si

Claudia Cosma
strokovna sodelavka; Technische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Schnittspahn-strasse 9, Darmstadt, Nemčija; cosma@geo.tu-darmstadt.de

Katarina Hribernik
univerzitetna diplomirana geografka, asistentka; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; katarina.hribernik@geo-zs.si

Matija Krivic
univerzitetni diplomirani geograf, asistent; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; matija.krivic@geo-zs.si

Petra Meglič
univerzitetna diplomirana inženirka geologije, asistentka; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; petra.meglic@geo-zs.si

Simona Pestotnik
univerzitetna diplomirana inženirka vodarstva in komunalnega inženirstva, asistentka; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija; simona.pestotnik@geo-zs.si

Matthias Piepenbrink
dr., znanstveni sodelavec; Technische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Schnitts-pahnstrasse 9, Darmstadt, Nemčija;

Martin Podboj
univerzitetni diplomirani inženir računalništva in informatike (un), asistent; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; martin.podboj@geo-zs.si

Katarina Polajnar Horvat
univerzitetna diplomirana geografka, asistentka; Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, Ljubljana, Slovenija; katarina.polajnar@zrc-sazu.si

Joerg Prestor
mag., univerzitetni diplomirani inženir geologije, raziskovalno-razvojni sodelavec; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; joerg.prestor@geo-zs.si

Christoph Schüth
prof., dr., univerzitetni diplomirani geolog; Technische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Schnittspahnstrasse 9, Darmstadt, Nemčija; schueth@geo.tu-darmstadt.de

Jasna Šinigoj
univerzitetna diplomirana inženirka geologije, razvojna sodelavka; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; jasna.sinigoj@geo-zs.si

Dejan Šram
univerzitetni diplomirani inženir geologije, asistent; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; dejan.sram@geo-zs.si

Janko Urbanc
dr., univerzitetni diplomirani inženir geologije, višji znanstveni sodelavec; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; janko.urbanc@geo-zs.si

Gorazd Žibret
dr., univerzitetni diplomirani inženir geologije, znanstveni sodelavec; Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija; gorazd.zibret@geo-zs.si

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

SKRB ZA PITNO VODO

Brigita Jamnik
Mitja Janža
Aleš Smrekar
Mateja Breg Valjavec
Sonja Cerar
Claudia Cosma
Katarina Hribernik
Matija Krivic
Petra Meglič
Simona Pestotnik
Matthias Piepenbrink
Martin Podboj
Katarina Polajnar Horvat
Joerg Prestor
Christoph Schüth
Jasna Šinigoj
Dejan Šram
Janko Urbanc
Gorazd Žibret

ZALOŽBA
ZRC

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

SKRB ZA PITNO VODO

Brigita Jamnik
Mitja Janža
Aleš Smrekar
Mateja Breg Valjavec
Sonja Cerar
Claudia Cosma
Katarina Hribernik
Matija Krivic
Petra Meglič
Simona Pestotnik
Matthias Piepenbrink
Martin Podboj
Katarina Polajnar Horvat
Joerg Prestor
Christoph Schüth
Jasna Šinigoj
Dejan Šram
Janko Urbanc
Gorazd Žibret

LJUBLJANA 2014

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

SKRB ZA PITNO VODO

Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar, Mateja Breg Valjavec, Sonja Cerar, Claudia Cosma, Katarina Hribernik, Matija Krivic, Petra Meglič, Simona Pestotnik, Matthias Piepenbrink, Martin Podboj, Katarina Polajnar Horvat, Joerg Prestor, Christoph Schüth, Jasna Šinigoj, Dejan Šram, Janko Urbanc, Gorazd Žibret

© 2014, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniški odbor: David Bole, Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Matej Gabrovec, Drago Kladnik, Blaž Komac, Jani Kozina, Janez Nared, Drago Perko, Primož Pipan, Nika Razpotnik Visković, Aleš Smrekar, Maja Topole, Mimi Urbanc, Matija Zorn
Urednika: Drago Kladnik, Maja Topole
Recenzenta: Peter Frantar, Metka Petrič
Avtorji poglavij: Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar (1 Uvod), Aleš Smrekar, Mateja Breg Valjavec (2 Register onesnaževalcev vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja), Jasna Šinigoj, Katarina Hribernik, Martin Podboj, Matija Krivic (3 Informacijski sistem okoljskih podatkov), Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik (4 Hidrokemijske in izotopske značilnosti podzemnih vod Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja), Christoph Schüth, Matthias Piepenbrink, Claudia Cosma, Mitja Janža (5 Prstni odtisi onesnaževal z uporabo stabilnih izotopov in večnivojskim vzorčenjem s pasivnimi vzorčevalniki), Petra Meglič, Dejan Šram, Mitja Janža (6 Hidrogeološke raziskave na Ljubljanskem barju z opazovalnimi objekti, izdelanimi s tehnologijo neposrednega vtiskanja (DPT – Direct Push Technology)), Mitja Janža in Dejan Šram (7 Hidrološki model vodonosnika Ljubljanskega polja), Joerg Prestor, Simona Pestotnik, Mitja Janža, Petra Meglič (8 Načrtovanje zaščitnih ukrepov na podlagi modela obremenitev in vplivov na podzemno vodo Ljubljanskega polja), Mitja Janža, Petra Meglič, Gorazd Žibret (9 Razvoj informacijskih orodij za podporo upravljanju vodnih virov), Aleš Smrekar, Katarina Polajnar Horvat (10 Vloga vrednot pri okoljskem ozaveščanju), Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar, Joerg Prestor (11 Sklep – orodje za trajnostno upravljanje vodnih virov)
Kartografka: Manca Volk Bahun
Fotografi: Mateja Breg Valjavec, Branko Čeak, Jože Maček, Petra Meglič, Miroslav Medić, Domen Pal, Matthias Piepenbrink, Nika Serdoner
Prevod izvlečka: Deks d. o. o.
Oblikovalec: Drago Perko

Izdajatelji: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o., Geološki zavod Slovenije
Za izdajatelje: Drago Perko

Založnik: Založba ZRC
Za založnika: Oto Luthar
Glavni urednik: Aleš Pogačnik

Računalniški prelom: SYNCOMP d. o. o.
Tiskarna: Collegium Graphicum d. o. o.
Naklada: 250 izvodov

Naslovna slika: Vodovarstveno območje je tudi v središču Ljubljane.

Avtor fotografije na naslovnici je Aleš Smrekar, na zalistu pa Milan Orožen Adamič.

Izid publikacije so podprli Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije, Mestna občina Ljubljana, Geološki zavod Slovenije in Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o.

CIP – Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

911.2:556(497.451)(082)

SKRB za pitno vodo / Brigita Jamnik ... [et al.] ; [urednika Drago Kladnik, Maja Topole ; kartografka Manca Volk Bahun ; fotografi Mateja Breg Valjavec … [et al.] ; prevod izvlečka Deks]. – Ljubljana : Založba ZRC, 2014. – (Geografija Slovenije, ISSN 1580-1594 ; 31)

ISBN 978-961-254-738-7
1. Jamnik, Brigita, 1966- 2. Kladnik, Drago, 1955-
276100864

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

SKRB ZA PITNO VODO

Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar, Mateja Breg Valjavec, Sonja Cerar, Claudia Cosma, Hribernik Katarina, Matija Krivic, Petra Meglič, Simona Pestotnik, Matthias Piepenbrink, Martin Podboj, Katarina Polajnar Horvat, Joerg Prestor, Christoph Schüth, Jasna Šinigoj, Dejan Šram, Janko Urbanc, Gorazd Žibret

UDK: 911:628.1.033(497.451 Osrednja Slovenija)
628.1.033:556.3(497.451)
504.5:628.1.033(497.451)
COBISS: 2.01

IZVLEČEK

Skrb za pitno vodo

Vodni viri mesta Ljubljane so v neposredni bližini pozidanih mestnih zemljišč ali celo pod njimi. Že desetletja jih varujejo vodovarstvena območja, ki so določena s podzakonskimi akti. A formalno varovanje s predpisi ni dovolj, če je naš namen trajnostno gospodarjenje z njimi. Eden od najpomembnejših ciljev trajnostnega upravljanja je ohranjanje ustrezne oskrbe z naravno pitno vodo brez tehnoloških postopkov njene priprave, kar Ljubljančani uvrščajo visoko na lestvici vrednot življenja v glavnem mestu Slovenije.

Upravljanje ogroženih vodnih virov v urbanih okoljih zahteva celosten pristop in stalne aktivnosti za ohranjanje njihove kakovosti in primernih količin. Ključni pogoj za to je ustrezna prostorska politika, za katero vodni viri niso zgolj omejitveni dejavniki prostorske rabe, ampak sodoben izziv. Temelj za kakršnekoli resnejše odločitve o vodonosnih sistemih pa sta dobro poznavanje njihovih značilnosti in spremljanje vplivov nanje, kar se lahko doseže le s stalnim izvajanjem raziskav ter monitoringov, nikakor pa ne z enkratnimi aktivnostmi. Sodobne tehnologije omogočajo pregledno ureditev teh podatkov in tudi njihovo dostopnost širši zainteresirani javnosti. S pomočjo računalniških orodij znamo sisteme simulirati in tako pridobiti dodatna védenja o njihovem delovanju. Ta so v pomoč pri dolgoročnih odločitvah ali v primerih, ko je treba ukrepati v najkrajšem možnem času, kot na primer ob okoljskih nesrečah. Neizogibno je načrtovanje dolgoročnih in kratkoročnih ukrepov za ravnanje z viri, saj so lahko posledice napačnih odločitev nepopravljive in navadno povezane z velikimi stroški. Za ustrezno načrtovanje so potrebna strokovna orodja, ki omogočajo zanesljive, pregledne in kvantitativne ocene učinkov ukrepov. Razpolaganje z zanesljivimi ocenami stanja in napovedmi olajšuje delo odločevalcem in tudi komunikacijo med deležniki.

Povezava v monografiji predstavljenih postopkov in rezultatov v sistem izvedljivega upravljanja z vodnimi viri v Ljubljani je dosežek, ki je lahko zgled številnim podobnim okoljem, ne le v Sloveniji, ampak tudi širše. Mesto Ljubljana uvršča skrb za vode tudi med dolgoročne okoljevarstvene cilje, pri čemer je poudarek na skrbi tako za kakovostno kot količinsko stanje vodnih virov. Mesto je že več kot stoletje oskrbovano varno in z naravno pitno vodo, kar je prebivalcem omogočilo kakovostno življenje. Kaj pa našim potomcem? Naravne danosti vodnih virov niso dovolj. Pri gospodarjenju z njimi potrebujemo trajne in strokovno pravilne odločitve, znanja in izkušnje. Znanja in izkušnje ter potrebna orodja za odločitve že imamo, zato smo deležniki prepričani, da zmoremo tudi trajnostne odločitve.

KLJUČNE BESEDE

geografija, varstvo okolja, hidrogeologija, podzemna voda, pitna voda, Ljubljansko polje, Ljubljansko barje, Ljubljana, vodonosnik, vodni vir, onesnaženje, upravljanje, zaščitni ukrep

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

SKRB ZA PITNO VODO

Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar, Mateja Breg Valjavec, Sonja Cerar, Claudia Cosma, Hribernik Katarina, Matija Krivic, Petra Meglič, Simona Pestotnik, Matthias Piepenbrink, Martin Podboj, Katarina Polajnar Horvat, Joerg Prestor, Christoph Schüth, Jasna Šinigoj, Dejan Šram, Janko Urbanc, Gorazd Žibret

UDC: 911:628.1.033(497.451 Osrednja Slovenija)
628.1.033:556.3(497.451)
504.5:628.1.033(497.451)
COBISS: 2.01

ABSTRACT

Safeguarding Drinking Water

Ljubljana's water resources lie in the immediate vicinity of built-up urban areas or even below them. For decades, they have been safeguarded as water-protection areas, which are specified by implementing regulations. However, formal protection through regulations is insufficient if the goal is to manage these sources in a sustainable manner. One of the most important goals of sustainable management is maintaining suitable provision of fresh drinking water without using any technological procedures to treat it. Ljubljana residents rank this high on the scale of values associated with life in Slovenia's capital.

Managing threatened water resources in urban environments requires a comprehensive approach and regular activities for preserving their quality and suitable quantity. The key condition for this is a suitable spatial planning policy, which considers water resources not only as limiting factors of spatial use, but also a modern challenge. The basis for any serious decisions regarding aquifer systems is good knowledge of their characteristics and keeping abreast of impacts on them, which can only be achieved by carrying out regular studies and monitoring, and certainly not through one-time activities. Modern technology makes it possible to organize these data in a clear and transparent way, and also make them accessible to the general public. Computer tools can be used to simulate systems and thus obtain new findings about the way they function. These are helpful in making long-term decisions or in cases when one must take immediate action, such as during environmental disasters. Planning long-term and short-term resource management activities is necessary because the consequences of wrong decisions can be irreparable and are usually connected with high costs. Appropriate planning requires expert tools that provide reliable, transparent, and quantitative assessments of the actions' effects. Having reliable assessments of the state of affairs and predictions makes decision-makers' jobs easier and facilitates communication between stakeholders.

Combining the procedures and results presented in this volume into a system of feasible water resource management in Ljubljana is an achievement that can serve as an example for many similar environments – not only in Slovenia, but also elsewhere. The City of Ljubljana also includes safeguarding water resources among its long-term environmental objectives, in which it emphasizes both the quality and quantity of its water resources. For more than a century, the city has been using safe and fresh drinking water, which has provided a high living standard to its residents. What about their children? Natural water resources are insufficient. Managing these resources requires sustainable and professionally correct decisions, expertise, and experience. The expertise, experience, and requisite tools for making decisions are already provided, which is why the stakeholders believe that sustainable decisions are also possible.

KEYWORDS

geography, environmental protection, hydrogeology, ground water, drinking water, Ljubljana Basin, Ljubljana Marsh, Ljubljana, aquifer, water resource, pollution, management, protective measure

VSEBINA

1 Uvod ... 9
1.1 Hidrogeološki in geografski pogled na vodne vire Ljubljane ... 10
1.2 Od problemov upravljanja vodnih virov k ukrepom ... 11
1.3 Pomen vodnih virov za upravljavce vodovodov ... 16
1.4 Od predlogov k realizaciji ukrepov ... 17
1.5 Sklepi ... 17

2 Register onesnaževalcev vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja ... 18
2.1 Register onesnaževalcev podzemne vode ... 18
2.1.1 Register starih okoljskih bremen ... 19
2.1.2 Register aktivnih virov onesnaževanja ... 21
2.2 Rezultati ... 21
2.3 Sklepi ... 22

3 Informacijski sistem okoljskih podatkov ... 27
3.1 Arhitektura sistema ... 27
3.2 Podatkovna baza merilnih mest podzemne vode ... 27
3.3 Spletni pregledovalnik okoljskih podatkov ... 31
3.4 Funkcionalnost spletnega pregledovalnika ... 32
3.5 Sklepi ... 32

4 Hidrokemijske in izotopske značilnosti podzemnih vod Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja ... 37
4.1 Rezultati kemijskih in izotopskih analiz ... 37
4.1.1 Električna prevodnost podzemne vode ... 37
4.1.2 Koncentracije hidrogenkarbonata v podzemni vodi ... 40
4.1.3 Kalcij in magnezij v podzemni vodi ... 40
4.1.4 Nitrati v podzemni vodi ... 42
4.1.5 Kloridi v podzemni vodi ... 43
4.1.6 Sulfati v podzemni vodi ... 47
4.1.7 Izotopska sestava kisika ($\delta^{18}O$) v podzemni vodi ... 47
4.1.8 Radioaktivni izotop tritij v podzemni vodi ... 51
4.1.9 Sklepi ... 51

5 Prstni odtisi onesnaževal z uporabo stabilnih izotopov in večnivojskim vzorčenjem s pasivnimi vzorčevalniki ... 54
5.1 Ozadje metode ... 54
5.2 Materiali in metode ... 55
5.3 Rezultati laboratorijskih poskusov ... 56
5.4 Rezultati vzorčenja na terenu ... 56
5.5 Sklepi ... 58

6 Hidrogeološke raziskave na Ljubljanskem barju z opazovalnimi objekti, izdelanimi s tehnologijo neposrednega vtiskanja DPT (*Direct Push Technology*) ... 60
6.1 Opis metode ... 60
6.2 Območje raziskav ... 61
6.3 Izdelava opazovalnih objektov ... 62
6.4 Rezultati raziskav ... 64
6.5 Sklepi ... 65

7 Hidrološki model vodonosnika Ljubljanskega polja ... 71
7.1 Geološke značilnosti Ljubljanskega polja ... 71
7.1.1 Značilnosti nezasičenega dela vodonosnika in pojav visečih vodonosnikov ... 71
7.1.1.1 Hidrogeološki tridimenzionalni model ... 71
7.1.2 Značilnosti zasičenega dela vodonosnika ... 73
7.2 Hidrološki model ... 75
7.2.1 Umerjanje in vrednotenje modela ... 75
7.3 Sklepi ... 78

8 Načrtovanje zaščitnih ukrepov na podlagi modela obremenitev in vplivov na podzemno vodo Ljubljanskega polja ... 79
8.1 Metodologija ... 79
8.1.1 Skupna količina izgub iz kanalizacijskega omrežja ... 79
8.1.2 Masna bilanca onesnaževal na vtoku in iztoku iz kanalizacijskega omrežja ... 80
8.1.3 Prostorska porazdelitev izgub iz kanalizacijskega sistema ... 81
8.1.4 Obremenitve z dušikom iz kmetijstva ... 83
8.1.5 Prostorska analiza vpliva na podzemne vode ... 83
8.2 Rezultati analize obremenitev in vplivov ... 83
8.3 Vizija za podzemno vodo mesta Ljubljane ... 92
8.4 Sklepi ... 92

9 Razvoj informacijskih orodij za podporo upravljanju vodnih virov ... 94
9.1 Orodje za učinkovitejšo sanacijo divjih odlagališč odpadkov ... 95
9.2 Sistem za podporo izbiri ukrepov za izboljšanje kemijskega stanja podzemne vode ... 95
9.3. Sistem za podporo ukrepanju ob odkritju nenadnega onesnaženja podzemne vode ... 97
9.4 Sklepi ... 97

10 Vloga vrednot pri okoljskem ozaveščanju ... 100
10.1 Metode dela ... 101
10.2 Rezultati ankete ... 102
10.3 Sklepi ... 106

11 Sklep – orodje za trajnostno upravljanje vodnih virov ... 108
11.1 Pomembni deležniki pri upravljanju z vodnimi viri ... 108
11.2 Orodja za trajnostno gospodarjenje ... 110
11.3 Sklepi ... 112

12 Seznam virov in literature ... 114

13 Seznam slik ... 120

14 Seznam preglednic ... 123

1 UVOD

Skrb za okolje in vodne vire postaja vse pomembnejši del našega vsakdana. Ljubljančani uvrščajo skrb za pitno vodo visoko na lestvico vrednot mesta (Ninamedia 2012). Varna oskrba s pitno vodo v Ljubljani že več kot stoletje temelji na vodnih virih v neposredni bližini mesta. Načrtovalci oskrbe s pitno vodo so se že pred desetletji usmerili v iskanje vodnih virov v bližini naselja, zato ima Ljubljana danes glavnino svojih vodnih virov na ozemlju matične občine (Breznik 1978; Žlebnik 1971). Bližina urbane rabe je po eni strani problem, po drugi pa prednost, saj je posledično skrb za vodne vire naložena ustanovi, ki istočasno usmerja prostorski razvoj mesta, kar ima zagotovo največji vpliv na kakovost in količino vodnih virov (Občinski prostorski načrt MOL 2010). Ljubljana je do svojih vodnih virov prijazno, zeleno mesto in ima vsekakor možnost, da to naravno bogastvo ohrani tudi za prihodnje generacije. Skrb za vode uvršča tudi med dolgoročne okoljevarstvene cilje, pri čemer je poudarek na skrbi za kakovostno in količinsko ustrezno stanje vodnih virov (Program varstva okolja MOL 2014–2020).

Naravne značilnosti vodnih virov, iz katerih se oskrbuje Ljubljana, še vedno omogočajo izkoriščanje pitne vode brez njene dodatne obdelave. Kako pa bo v prihodnje, je odvisno od današnjih in jutrišnjih odločitev. Ohranjanje kakovostne pitne vode je zaradi širjenja pozidave, intenzivnega kmetijstva in številnih drugih dejavnosti na prispevnih območjih virov pitne vode težka naloga, ki zahteva premišljeno prostorsko načrtovanje in nadzor, pri čemer sta potrebna tako razvoj kot uporaba sodobnih postopkov, metod in orodij.

Za nadaljevanje uresničevanja vizije trajnostnega gospodarjenja z vodnimi viri v Ljubljani, katerega začetek umeščamo v sredino preteklega stoletja (Odlok o zaščitnem pasu 1955), so potrebne trdne strokovne podlage. Vodne vire je treba ohraniti, saj se varna oskrba s pitno vodo začne prav pri kakovostnih, količinsko bogatih in ustrezno varovanih vodnih virih. Namen pa je mogoče uresničevati le s konkretnimi dejanji.

NIKA SERDONER

Slika 1: Skrb za pitno vodo spodbuja dialog deležnikov. Udeleženci 4. INCOME delavnice »Ali je trajnostna raba vodovarstvenega prostora uresničljiv cilj?«, ki je potekala 16. 6. 2011 v Ljubljani.

Upravljanje vodnih virov od odločevalcev zahteva širok, dolgoročen pogled, dobro poznavanje problematike, raznovrstna strokovna znanja in izkušnje ter sposobnost izmenjave in usklajevanja mnenj. Potrebni pa so tudi napredne pobude, uresničljive zamisli, politična volja za sprejemanje odločitev in usposobljeno strokovno osebje, ki se zaveda odgovornosti. V množici interesov lahko vzdržne dolgoročne rešitve zagotavljajo le jasne strokovne podlage. Posledice odločitev so zaznavne še desetletja in lahko nepovratno vplivajo na okoljske razmere, v kakršnih bodo živele prihodnje generacije. Zato je odgovornost sedanje generacije odločevalcev velika. Napak bi bilo, da bi se ob odločitvah, povezanih z vodnimi viri, zavestno posluževali strokovnih in administrativnih metod, postopkov in ukrepov, za katere vnaprej vemo, da ne bi prinesli zadovoljivih rezultatov. V prihodnje ne bo šlo brez usklajenega delovanja deležnikov, vključenih v različne procese, ki vplivajo na vodne vire. Skrb za pitno vodo je naša skupna skrb, od katere imamo lahko koristi vsi, nenazadnje tudi kot njeni uporabniki. Že zdaj pa imamo pomemben vpliv na njeno količino in kakovost kot pripravljavci zakonodaje, odločevalci, upravljavci vodovodnih sistemov, lastniki zemljišč in objektov ali zgolj kot uporabniki prostora.

1.1 HIDROGEOLOŠKI IN GEOGRAFSKI POGLED NA VODNE VIRE LJUBLJANE

Ljubljansko polje je 20 km dolga in do 6 km široka ravnina v vzhodnem delu Ljubljanske kotline. Osamelca, na severu Šmarna gora (669 m) in Rašica (641 m), povezujeta zahodno Polhograjsko in vzhodno Posavsko hribovje, ki na jugu in vzhodu omejuje ravnino Ljubljanskega polja. Reka Sava ga deli na dva dela, pri čemer je v zahodnem in osrednjem delu širši južni del, v vzhodnem pa severni del. Ljubljansko barje je kot skrajni, južni del Ljubljanske kotline dolgo 20 in široko 10 km. Meri 163 km^2, značilno zanj je obsežno naplavljeno dno.

Območji Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja sta geološko gledano tektonski udorini, nastali s tektonskim pogrezanjem ter postopnim zasipavanjem z rečnimi in jezerskimi naplavinami. Ravninski območji ločujejo vzpetine Golovec, Grajski hrib in Rožnik, ki so tako kot podlaga mlajših sedimentov iz karbonskih skrilavih glinavcev, kremenovih peščenjakov in konglomeratov. Tudi barjanske osamelce, kot so Sinja gorica, Blatna brezovica, Kostanjevica, Brda, Plešivica, Grič in Veliki vrh, sestavljajo kamnine iz podlage Barja. Na jugu in zahodu Barja sestavljajo podlago za vodo prepustni mezozojski apnenci in dolomiti, drugod pa že omenjeni paleozojski kremenovi peščenjaki, konglomerati in skrilavi glinavci, ki skoraj ne prepuščajo vode.

Ljubljanska udorina se je začela pogrezati v srednjem pliocenu, pred približno tremi milijoni let. Zasipavanje s sedimenti je bilo najintenzivnejše v pleistocenu, času ledenih in medledenih dob, ko je Sava na Ljubljansko polje prinašala gradivo izpod alpskih ledenikov (Žlebnik 1971). Prodni zasip sestavljajo dobro prepustne prodne in peščene plasti z vmesnimi konglomeratnimi lečami. Debelina zasipa na najglobljih mestih preseže 100 m. Zaradi velike prostornine in dobre prepustnosti te prodno-peščene vodonosne plasti hranijo pomembne količine podzemne vode, ocenjene na okrog 400 milijonov kubičnih metrov. Podzemna voda v vodonosniku Ljubljanskega polja ima prosto gladino. Napaja se iz padavin, ki pronicajo s površja skozi nenasičeno plast do gladine podzemne vode, in iz reke Save, ki napaja vodonosnik na območju Roj in Tomačevega. V vzhodnem delu Ljubljanskega polja podzemna voda odteka v strugo Save. Zaradi tega je gladina podzemne vode v zahodnem delu Ljubljanskega polja nagnjena proti jugu oziroma jugovzhodu, v osrednjem delu pa proti vzhodu.

Na Ljubljanskem barju, kratko Barju, se prepletajo rečni in jezerski sedimenti. Prod so tjakaj prinašale reke in hudourniki z območja Krimsko-Mokrškega hribovja. Nanosi Iške, Borovniščice in Želimeljščice segajo daleč proti severu, kjer se stikajo s prodnimi zasipi Save, ki je do zadnje ledene dobe tekla po južni strani Rožnika, Gradaščice, Glinščice in drugih manjših potokov. Med pleistocenskimi in holocenskimi rečnimi zasipi so vložki jezerskih in močvirskih naplavin. Pogosti so vložki gline, šote in peska, prodni zasipi pa so pomešani tudi z glino ali meljem. V osrednjem delu Barja je na površju značilen glinast melj, ki ga imenujemo polžarica. Sedimenti so debeli do 170 m. Zaradi njihove heterogenosti so hidrogeološke razmere na Barju zahtevnejše kot na Ljubljanskem polju. Vodonosniki Barja so v dolo-

mitni podlagi in prodnih nanosih prej omenjenih rek in potokov. Prodni vodonosniki so sestavljeni iz več plasti, ki jih ločujejo slabše prepustni sloji. Zaradi tega je na skoraj celotnem območju voda v vodonosnikih pod tlakom. Holocenski vodonosniki v vršajih rek se napajajo neposredno iz padavin in iz površinskih vodotokov, spodnji pa iz prepustne dolomitne in apnenčaste podlage, kjer se zbira voda iz obširnega kraškega zaledja na jugu in zahodu. Podzemna voda z Barja odteka v Ljubljanico in na Ljubljansko polje, kamor se pretaka skozi ožino med Grajskim hribom in Rožnikom ter po Draveljski dolini.

Na Ljubljanskem polju je zelo heterogena raba mestnega prostora, ne samo posameznih mestnih delov, ampak celo uličnih blokov (Pak 2000). Kljub temu lahko opazimo osredotočenost stanovanjske, oskrbno-storitvene, izobraževalne in zdravstvene rabe prostora na eni strani, ter industrije in večjih infrastrukturnih površin, namenjenih zlasti železniškemu prevozu, na drugi.

90 km^2 prostrano Ljubljansko polje ima zaradi mestnih in primestnih dejavnosti za 0,53 m^3/sek oziroma 190 mm padavin zmanjšano prenikanje padavinske vode v podzemno vodo. Prenikanje je onemogočeno na 21,4 km^2 ali skoraj četrtini njegove površine (Smrekar 2004). Kljub prepovedim na vodovarstvenih območjih virov pitne vode se je Ljubljana vse bolj širila tudi na to območje (Smrekar 2004).

Na Iškem vršaju gre za podeželsko pokrajino z več manjšimi naselji, med katerimi nima nobeno niti 350 prebivalcev. Nekoč kmečka naselja so nastala na njegovem obrobju.

Kmetijstvo je že zelo dolgo prisotno tako na Ljubljanskem polju kot Iškem vršaju, saj sta obe aluvialni ravnici glede na naravne razmere zelo primerni za kmetovanje.

1.2 OD PROBLEMOV UPRAVLJANJA VODNIH VIROV K UKREPOM

Na področju upravljanja vodnih virov je kljub dosedanjim strokovnim naporom in vzpostavitvi zakonodaje za njihovo učinkovito upravljanje nujno treba storiti še več. Zamisel, kako razmere izboljšati, ni nastala čez noč, ampak je rezultat dolgoletnega sodelovanja in prizadevanj stroke, upravljavcev vodovodnih sistemov ter odločevalcev na lokalni in državni ravni. Izsledke strokovnjakov naravoslovnih, tehničnih in družboslovnih ved, ki se že desetletja ukvarjajo s problematiko upravljanja voda, je treba nadgraditi in med seboj povezati v obliko, uporabno za vsakodnevne naloge odločevalcev. Zagotovo ni dovolj, da posamezniki in vede pridobivajo nova znanja in izkušnje, če nato ta v odločevalskih procesih niso prepoznana in so tako z vidika odločevalcev neuporabna.

V preteklem desetletju smo se v Ljubljani soočili z vrsto izrednih dogodkov (Janža s sodelavci 2005), odstopanj od pričakovanj ter napačnih odločitev o rabi prostora in aktivnostih na vodovarstvenih območjih, ki so negativno vplivale tako na kakovost kot količino vodnih virov. Nepravilnosti najbolj zaznavajo neposredno prizadeti deležniki, torej uporabniki pitne vode, pa tudi lastniki zemljišč, upravljavci vodovodnih sistemov, strokovnjaki in odločevalci. Čeprav so lastniki zemljišč kot uporabniki prostora in seveda tudi pitne vode med pomembnimi deležniki v teh procesih, največkrat še vedno ne razumejo ali nočejo razumeti pomena omejitev rabe prostora. Te razumejo izključno kot oviro pri izvedbi načrtov, ki jim prinašajo osebne koristi. Po drugi strani pa lahko napačne odločitve pomenijo tudi pretirane, neupravičene zahteve do lastnikov zemljišč. Med deležnike uvrščamo tudi uporabnike pitne vode, ki jih skrbi, kakšno vodo pijemo, s čimer skrbijo za svoje zdravje, vendar se ne zavedajo v zadostni meri, da lahko tudi z vsakodnevnim ravnanjem, na primer razumno rabo nevarnih kemikalij v gospodinjstvu, vplivajo na bolj varno okolje. Med deležniki, ki zelo občutijo posledice napačnih odločitev, so še upravljavci vodovodnih sistemov, ki so odgovorni za varno oskrbo s pitno vodo, a nimajo pristojnosti za ustrezno ukrepanje, pa tudi odločevalci, ki jim pritiski različnih interesnih skupin in/ali zakonodaja ne omogočajo strokovno vzdržnih odločitev. Med prizadete deležnike lahko uvrstimo tudi strokovnjake, katerih mnenje je, kljub utemeljenim argumentom, premalokrat upoštevano.

Vzrokov za odstopanja od pričakovanih razmer pri upravljanju vodnih virov je več: nepripravljenost na dialog, nepravočasna priprava predpisov, nestrokovno ravnanje zaradi neznanja ali tudi neodgovornosti, pa tudi nepredvidljiva naključja. Izboljšave bi bile potrebne na številnih področjih. Ureditev pravnih aktov je le na prvi pogled področje, ki bi zahtevalo največ sprememb, saj pregled obstoječe slovenske

zakonodaje kaže, da v njej ni večjih odstopanj od evropskih predpisov, torej kakovost in količina vodnih virov ne bi smeli biti ogroženi. Problemi so torej drugje, v mislih imamo predvsem neizvajanje zakonodaje.

Mesto Ljubljana je v preteklih desetletjih pridobilo dragocene izkušnje, pomembne pri ravnanju z vodnimi viri. Ravnanja in odnos preteklih generacij do vodnih virov odsevajo v njihovem sedanjem kakovostnem stanju, obsegu vodovarstvenih območij ter razumevanju stroke in prebivalcev, kaj je na vodovarstvenih območjih še sprejemljivo ob skupnem cilju resnično trajnostnega ravnanja z vodnimi viri. Na srečo so bili dovolj zgodaj, še pred intenzivno rastjo mesta, robni predeli v tedanjih prostorskih načrtih določeni z varstvenimi pasovi (Odlok o zaščitnem pasu 1955). Kljub mnogim spremembam, ki so bile sprejete od takrat in so vedno znova povzročale zmanjšanje obsega varovanih območij, ki so dovoljevala več (Odlok o varstvenih … 1977, Odlok o varstvu … 1988, Uredba o vodovarstvenem … 2012), je koncept varovanja vodnih virov ostal nespremenjen. To velja tudi za čas po pomembnih spremembah zakonodaje (Zakon o vodah 2002), s katerimi je bila odgovornost vzpostavljanja varovanih območij z lokalne ravni prenesena na državno. Odločitev pa lokalne skupnosti ni razbremenila izvrševanja nalog (Občinski prostorski načrt MOL 2010), katerih namen je ohranjanje kakovosti in količin vodnih virov. Ta okoliščina je pogosto spregledana. Prav na lokalni ravni lahko za ohranitev kakovosti in količin virov pitne vode naredimo največ. V mislih imamo torej ustrezno prostorsko načrtovanje, privabljanje okoljsko sprejemljivih dejavnosti na vodovarstvena območja in seveda ustrezen nadzor.

Četudi je stroka neposredno po 2. svetovni vojni menila, da se bo Ljubljana razvila v skoraj polmilijonsko mesto, čemur so bi bili prirejeni tudi načrti komunalne infrastrukture, je že nekaj desetletij jasno, da v mestu tudi v prihodnje ne bo bistveno večjih potreb po pitni vodi. Izkušnje iz devetdesetih let prejšnjega stoletja kažejo, da obstoječa infrastruktura omogoča oskrbo z dvakrat večjo količino pitne vode od sedanje. Ljubljana ima torej rezerve, ki ji omogočajo precejšnjo, seveda pa ne popolno varnost vodne oskrbe tudi v primeru izpada dela vodnih virov. Zmogljivost vodnih virov, vodovodni objekti in vodovodno omrežje pa imajo seveda omejitve. Zgleda, da bodo velikopotezni, dandanes neizvedljivi načrti o oskrbi s pitno vodo iz virov izpod Alp ali s Sorškega polja, za vedno obtičali v predalih. Zato so lokalno razpoložljivi vodni viri izredno dragoceni, nenadomestljivi. Ob tem ni enostavno ohraniti visokih standardov oskrbe, ki izpolnjujejo vsakodnevna pričakovanja »razvajenih« uporabnikov. Ti pričakujejo varno in nemoteno oskrbo z zadostno količino pitne vode, ki ni pripravljena s tehnološkimi postopki.

Problematika kakovosti podzemnih vodnih virov se tradicionalno, tudi v Ljubljani, rešuje od primera do primera, ko postane preveč pereča, da bi jo spregledali. Pot od učinkovitega zaznavanja onesnaženj, odkrivanja vzrokov zanje, ugotavljanja njihovih izvorov ter odprave posledic je dolga, pri čemer se nemalokrat konča že v prvih korakih, torej pri ugotavljanju onesnaženj. Ko pa se onesnaževalo že razprši v podzemni vodi, je povrnitev v prvotno stanje praktično nemogoča oziroma so za to potrebna desetletja. Pretekla zakonodaja, kakor tudi veljavni predpisi (Uredba o vodovarstvenem … 2012) in programi, imajo vgrajene mehanizme za zaščito vodnih virov, a ti zaradi množice neobvladovanih nevarnosti v okolju niso dovolj učinkoviti. Če k temu prištejemo še neustrezno razmejitev pristojnosti in odgovornosti ter pomanjkanje finančnih sredstev, so razmere hudo resne.

Na vodovarstvenih območjih v Ljubljani se soočamo s spreminjajočo se rabo prostora in množico lastnikov zemljišč, ki se sploh ne zavedajo, da so njihova zemljišča na varovanem območju. Dodatne težave so pomanjkanje informacij o pretekli rabi prostora, skrita onesnaževala iz preteklosti, množica aktualnih in še več potencialnih virov onesnaževal, divja odlagališča odpadkov in nenehne težnje po spremembi rabe prostora. Nove dejavnosti so formalno lahko sprejemljive tudi v bližini vodnih virov, a povzročajo visoka tveganja za varno oskrbo s pitno vodo. Zato je vprašljivo, če je nevarne dogodke res mogoče preprečiti. Hidrogeološke razmere povzročajo, da se lahko koncentracija onesnaževal v vodonosniku hitro spreminja, onesnaževala pa se po njem razširjajo v pasovih, ki sicer niso širši od nekaj deset metrov, a so dolgi tudi več kilometrov (Auersperger s sodelavci 2005). Globina nenasičene cone in globina vodonosnih plasti ne dovoljujeta preprostih posegov, s katerimi bi bilo mogoče pospešiti odstranjevanje onesnaževal iz podzemne vode.

MIROSLAV MEDIĆ

Slika 2: Na ogledu vodovarstvenih območij v Ljubljani leta 2009.

Nezadostno pripravljenost na izredne razmere, ki jih povzročajo nenadni pojavi onesnaževal v podzemni vodi, in nepredvidljivost tovrstnih pojavov sta razkrili dve med seboj nepovezani onesnaženji s trikloroetenom v podzemni vodi na prispevnem območju vodarne Hrastje leta 2004 (Janža s sodelavci 2005) in na prispevnem območju vodarne Brest leta 2005. Onesnaženji sta bili resno opozorilo odločevalcem in stroki. Obakrat se je pokazalo, da za ukrepe v primerih, ko je za razmislek le malo časa, nimamo vnaprej pripravljenih scenarijev. Na nenadne okoljske nesreče, ko je že prišlo do onesnaženja podzemnih vodnih virov ali pa so ti neposredno ogroženi, nismo bili dovolj pripravljeni. Ker nismo imeli na razpolago zbirke informacij, ki bi omogočala preverbo, katere nevarnosti v prostoru sploh obstajajo, ni bila izvedena ocena tveganj in zato tudi niso bili vnaprej predvideni ustrezni ter izvedljivi ukrepi, njihovi nosilci in seveda tudi ne finančna sredstva. Pravna podlaga je še vedno nezadostna (Uredba o načinu … 2010), saj pravni akti ne določajo izvajalca odprave posledic onesnaženja v podzemni vodi in tudi ne izvajalca sanacijskih ukrepov po zaključeni intervenciji ob nenadnih onesnaženjih podzemnih voda in za sanacijo, potrebno za preprečitev nadaljnje škode. Prav tako niso določeni meja med intervencijo in sanacijo, kot tudi ne z njima povezani stroški, kar je seveda ovira za nujno potrebne ukrepe. Premalo usklajeno je tudi delovanje pristojnih služb. Stroka mora najti ustrezne rešitve za izvedbo sanacijskih programov, ki bodo stroškovno opravičljivi. V teh primerih morajo biti odločitve hitre in strokovno neoporečne.

Naslednje področje, ki bi zahtevalo stalno pozornost več deležnikov, je kmetovanje na vodovarstvenih območjih aluvialnih vodonosnikov, saj so tamkajšnji kmetovalci pogosto v konfliktu z interesom izvajalcev javne oskrbe s pitno vodo. Zakonodaja (Uredba o načinu … 2011) kmetijstvo in upravljavce vodnih virov nehote postavlja v konfliktni položaj. Kmetje, ki kmetujejo na vodovarstvenih območjih, in upravljavci vodovodov nimajo vzpostavljene nikakršne komunikacije, razen pogodbenega odnosa

Sliki 3 in 4: Ključna naloga upravljavca javnega vodovodnega sistema je varna oskrba s pitno vodo.
► *str. 14–15*

DOMEN PAL/BRANKO ČEAK/JOŽE MAČEK

DOMEN PAL/BRANKO ČEAK/JOŽE MAČEK

skladno z uredbo, kar seveda ne prispeva k medsebojnemu razumevanju in povzroča še globlji razkorak med dejavnostma.

Vzajemnost interesov kmetovanja in vodovarstvenih območij bo nujna tudi čez desetletja. V zvezi s tem je potrebna temeljita sprememba zakonodaje na področju usmerjanja kmetijstva na vodovarstvenih območjih, ki naj pri določanju prepovedi in omejitev v večji meri upošteva značilnosti posameznih vodovarstvenih območij, za katera naj smiselno upošteva primere dobre prakse. Na območjih varovanja vodnih virov mora kmetijstvo ostati prevladujoča dejavnost, saj ima ključno vlogo ohranjanja tako kulturne kot preostale naravne pokrajine, ob tem pa ima čedalje pomembnejšo vlogo pri oskrbovanju Ljubljančanov z lokalno pridelano hrano. Za zagotovitev stabilnega kmetijstva s sprejemljivimi vplivi na okolje je potrebno enakopravno sodelovanje vseh deležnikov. Kmetovanje z dolgoročno sprejemljivimi okoljskimi vplivi na vodovarstvenih območjih je izvedljivo ob določenih pogojih. Z vodovarstvenim prostorom je treba umno gospodariti in preprečiti, da se zarašča in postane vabljiv za potencialna divja odlagališča odpadkov. Seveda pa mora kmetijstvo v okviru dogovorjenih, jasnih in izvedljivih modelov vodovarstveni prostor še vedno varovati pred urbanizacijo oziroma z njo povezano pozidavo.

Divja odlagališča odpadkov so že desetletja grožnja zdravju ljudi in naravnemu okolju, so tudi eden od ključnih krivcev za onesnaževanje prsti, zraka in virov pitne vode tudi v Ljubljani. Njihova sanacija ni ustrezen način reševanja problematike, dokler vzroki za njihovo nenehno pojavljanje in spodbujevalni dejavniki, ki jih povzročajo, ostajajo nespremenjeni. To pa so dostopnost in bližina zemljišč, ki niso gospodarno rabljena in dajejo vtis, da so v nikogaršnji lasti, neurejenost zbiranja in predelave gradbenih odpadkov, vsesplošna neozaveščenost in nenazadnje neprioritetna obravnava inšpekcijskih služb. Na zemljiščih, kjer je že prisotno nelegalno odlaganje odpadkov, se njihovo nadaljnje odlaganje le še intenzivira. Zaradi neaktivnosti pristojnih služb se kršitelji zavedajo, da je verjetnost sankcij majhna, tako da neustrezna kaznovalna politika pravzaprav spodbuja nelegalno dejavnost. Preventivne vloge nadzornih organov tako rekoč ni opaziti.

1.3 POMEN VODNIH VIROV ZA UPRAVLJAVCE VODOVODOV

Od upravljavca javnega vodovodnega sistema se pričakuje sledenje sodobnim standardom oskrbe s pitno vodo, pravočasno prepoznavanje tveganj za zdravje uporabnikov in tveganj, ki bi lahko povzročila nepremostljive tehnične težave v obratovanju, prenos sodobnih tehnologij ter strokovno in gospodarno upravljanje z omrežjem, objekti in opremo. Temeljni interes upravljavcev je vzpostaviti primerne razmere za dolgoročno varno oskrbo s pitno vodo. Formalnih vplivov na varovanje vodnih virov nimajo, običajno tudi ne zaposlujejo strokovnjakov s tega področja. Seveda pa vodni viri in njihova prispevna območja z vsemi tamkajšnjimi dejavnostmi pomembno vplivajo na varnost oskrbe s pitno vodo. Tudi vodovodni sistem, ki je sodobno urejen od zajetja dalje, ne bo varen, če upravljavec pri vsakodnevnem upravljanju sistema ne bo upošteval značilnosti in posebnosti vodnih virov, tako njihovega količinskega in kakovostnega stanja, kakor vplivov nanj. Pogosto je spregledano, da se kadri za vsakdanje delo usposabljajo tudi prek razvojnih projektov, ker izobraževalni sistem tovrstnih znanj še ne ponuja, pa tudi, da se projektne ideje razvijajo v tesni komunikaciji z zunanjimi strokovnjaki. Prav tako ni treba posebej dokazovati, da se projektne ideje vračajo v prakso hitreje kot v primerih, da so upravljavci le oddaljeni spremljevalci rezultatov raziskovalnih projektov. Da so posledično bolj dojemljivi za rezultate projektov in znajo prebrati njihovo sporočilo, je dejstvo, ki je izjemnega pomena za dolgoročno trajnostno gospodarjenje s komunalno infrastrukturo. Zato je pomembno, da upravljavci vodovodnih sistemov niso le pasivni opazovalci dela drugih strokovnjakov, ampak so njihovi sogovorniki. Pričujoča monografija dokazuje, da je to izvedljivo.

Vsakodnevnih in dolgoročnih težav pri zagotavljanju oskrbe s pitno vodo bi bilo manj z ohranitvijo zdravega okolja in posledično kakovostnih vodnih virov. Prav tako manj bi bilo tveganj v prostoru ali pa bi bila ta bolj obvladljiva, manj bi bilo nujnih ukrepanj. S tem bi bili bolj varni, učinkoviti in finančno vzdržni tudi vodovodni sistemi.

1.4 OD PREDLOGOV K REALIZACIJI UKREPOV

Upravljanje vodnih virov je zahtevna naloga, pri kateri lahko vzdržne dolgoročne rešitve dosežemo le z upoštevanjem strokovno utemeljenih predlogov in usklajevanjem strokovnih mnenj. Na količinsko in kakovostno stanje vodnih virov vplivajo vse dejavnosti v prostoru, tako da usklajevanje interesnih področij od odločevalcev zahteva dolgoročno vizijo in razvijanje drugačnih načinov za doseganje ciljev, kot smo jih bili navajeni doslej.

Zaradi tega v monografiji predstavljamo postopke, ki nakazujejo, kako postopoma in učinkovito pristopiti k razreševanju problemov na področju upravljanja vodnih virov. Povemo, kako odkrivanje in nadzor virov onesnaževanja podzemne vode kot vira pitne vode povezati z ukrepi za izboljšanje stanja. Kaj to pomeni? Ali viri onesnaževanja podzemne vode res niso odkriti in nadzorovani? Glavnina jih je seveda prepoznana in nadzorovana skladno z veljavno okoljsko zakonodajo, ne pa, kot bi bilo to treba, z vidika upravljanja vodnih virov. Zbrane informacije niso uporabne na drugih področjih, kot na primer pri iskanju povzročiteljev nenadnih onesnaženj, ko se ta zgodijo. V primerjavi z onesnaževanjem zraka, prsti in površinskih voda, kjer sta iskanje povzročiteljev in tudi odločanje za ukrepe v večini primerov dokaj enostavna, se v primeru očem skritih onesnaženih podzemnih vodnih virov ukrepi, če do njih sploh pride, praviloma kaj kmalu izjalovijo. Zato je v monografiji predstavljeno, kako naj se vnaprej pripravimo, da bomo lahko v tovrstnih primerih učinkovito ukrepali.

V prvem koraku prikazujemo, kako raziskati razmere v vodonosniku in na površju nad njim, ter povemo, zakaj je to potrebno. Predstavljeni so register aktualnih in potencialnih onesnaževalcev podzemne vode, hidrogeološke raziskave za nadgradnjo konceptualnega modela vodonosnika in hidrokemijske raziskave. V naslednjem koraku predstavljamo metode za odkrivanje izvorov onesnaženj, kot sta izvedba opazovalnih objektov in metoda prstnih odtisov onesnaževal, pa tudi nove vzorčevalne metode in nove preskuševalne postopke. Nadalje predstavljamo razvoj in pomen novih upravljavskih orodij, kot so celovite baze podatkov, vzpostavitev in rezultati hidrološkega modela podzemne vode, rezultati modela okoljskih bremen in odločitveno orodje za ukrepe v primeru izrednih dogodkov na vodovarstvenih območjih, kar odločevalcem omogoča sprejemanje odločitev na strokovni in ne zgolj administrativni ravni. Dotaknemo se tudi okoljske ozaveščenosti prebivalcev Ljubljane in se vprašamo, ali naša ravnanja dejansko odražajo ugotovljeno razvitost okoljske zavesti.

1.5 SKLEPI

Monografija je celosten pristop k razreševanju problematike upravljanja ogroženih vodnih virov v urbanih okoljih. Povezava ugotovljenih rezultatov in potrebnih postopkov za zagotovitev želenih ciljev v sistem upravljanja vodnih virov v Ljubljani je dosežek, ki je lahko zgled številnim podobnim okoljem, ne le v Sloveniji. Monografijo zaključujemo z mislimi na svetlo prihodnost vodnih virov v Ljubljani, v kakršno tudi iskreno verjamemo.

2 REGISTER ONESNAŽEVALCEV VODONOSNIKOV LJUBLJANSKEGA POLJA IN LJUBLJANSKEGA BARJA

V okolju prihaja do nenehnih medsebojnih navzkrižij, nasprotij in redkeje tudi dopolnjevanj interesov raznovrstnih uporabnikov prostora. Agresivnejše dejavnosti, kot na primer industrija, promet in kmetijstvo, so bile in vsaj deloma še vedno so glavno gibalo prostorskega razvoja. Hkrati sprožajo vrsto negativnih prostorskih učinkov, zato je okolje onesnaženo in degradirano, kažejo pa se tudi negativni vplivi na prebivalce (Špes, Lampič in Smrekar 2001).

Antropogene dejavnosti spreminjajo celotno napajalno območje vodonosnika in lahko vplivajo na vodno bilanco, zmanjšanje napajanja vodonosnika, lastnosti toka podzemne vode v njem ter razpoložljivost in obnovljivost vodnega vira. Poznavanje razpoložljive količine vode v okolju nam pomaga pri trajnostnem upravljanju z vodnimi viri. Zato je nujno treba določiti največje dovoljene obremenitve vodnih teles z onesnaževali in tudi največje dovoljene količine vode za odvzem. Del zalog vodnega telesa je obnovljiv in če je njegovo izkoriščanje nadzorovano, lahko govorimo o trajnostni rabi vodnega vira. Kadar pa pride do čezmernega onesnaževanja ali/in odvzema vode, sta sanacija in doseganje želenega stanja težka, včasih tudi nemogoča (Bračič Železnik s sodelavci 2004).

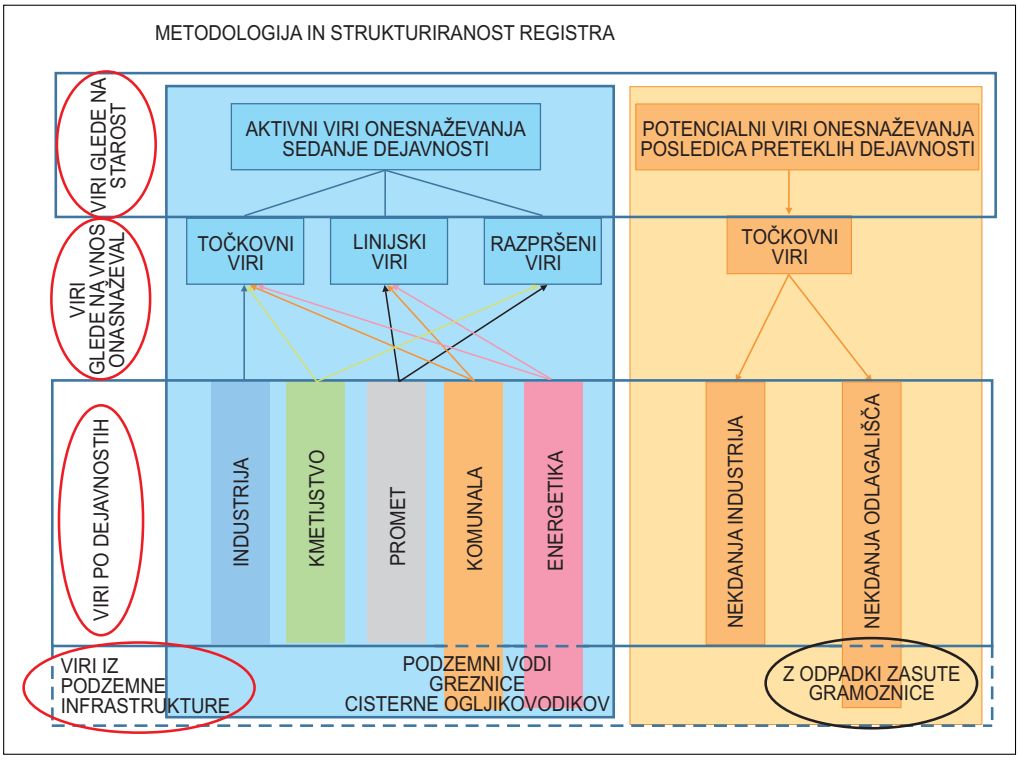
Največja nevarnost za podzemno vodo so številne antropogene dejavnosti (industrija, kmetijstvo, promet, komunalne dejavnosti, energetika), ki so navzoče tako na zemeljskem površju kot tudi pod njim (kanali za komunalno in industrijsko odpadno vodo, greznice, cisterne za kurilno olje, odlagališča odpadkov pod površjem). Za vzpostavitev celovitega nadzora nad vsemi možnimi onesnaževalci je treba najprej evidentirati vse vire in oceniti stopnjo njihove nevarnosti za podzemno vodo. Kljub strogi zakonodaji, ki za večje onesnaževalce zahteva nadzor z rednim poročanjem o rezultatih izvajanja monitoringa in drugih dejavnosti, se manjši onesnaževalci prepogosto kar »izgubijo« in v evidencah ogroženosti podzemne vode niso navedeni. Prav tako je nujen register preteklih potencialnih virov onesnaževanja, ki morda kot tempirane bombe čakajo na splet nesrečnih naključij za njihovo aktivacijo. Večkrat se zgodi, da ob nenadnem onesnaženju vodnega vira izvora onesnaženja ne moremo odkriti, največkrat prav zaradi pomanjkljivih podatkov.

Skladno s tem smo izdelali tematsko zelo obsežen digitalni register onesnaževalcev na vodovarstvenih območjih vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja, kjer so kartografsko in tabelarično predstavljeni tako aktivni viri onesnaževanja kot posledica sedanjih dejavnosti kot tudi potencialni viri onesnaževanja kot posledica starih okoljskih bremen (medmrežje 1).

Razvoj sodobne Ljubljane, ki je leta 2013 imela nekaj več kot 280.000 prebivalcev (medmrežje 2), sega v drugo polovico 19. stoletja, ko se je mesto iz starega srednjeveškega jedra in njegovih predmestij ob glavnih prometnicah začelo hitro širiti proti severu in zahodu na Ljubljansko polje, kjer so glavne zaloge pitne vode za zadovoljevanje potreb njegovih prebivalcev. Industrializacija Ljubljane se je začela z gradnjo tovarne sladkorja leta 1828, pravi razmah pa je doživela šele z izgradnjo Južne železnice, ki je Ljubljano dosegla leta 1849. Na začetku 20. stoletja se je razvoj industrije upočasnil, pravi razcvet pa je doživel po drugi svetovni vojni (na primer Litostroj), ko je takratna oblast najhitrejšo možnost za zmanjševanje gospodarske zaostalosti videla v pospeševanju industrije, tudi na račun racionalne rabe naravnih virov, kar je pozneje sprožilo vrsto okoljskih problemov (Špes, Lampič in Smrekar 1995). Na vodovarstvenih območjih pa je tako v mestu kot na njegovem obrobju še vedno prisotno precej intenzivno kmetijstvo. Po družbeno-političnih spremembah v devetdesetih letih 20. stoletja in z vstopom Slovenije v Evropsko unijo je okolje manj onesnaženo in bolje nadzorovano, kar gre pripisati tudi temu registru.

2.1 REGISTER ONESNAŽEVALCEV PODZEMNE VODE

Register onesnaževalcev podzemne vode je podatkovna zbirka, prenesena v okolje geografskih informacijskih sistemov (GIS). Ti so orodje za zajemanje podatkov na terenu (identifikacija onesnaževalcev z dlančniki), v kabinetu (vektorizacija), za analizo podatkov, vizualizacijo (zemljevidi), primerjave



Slika 5: Sestava registra in delitev onesnaževalcev glede na aktivnost, obseg vnosa onesnaženja in dejavnost.

in objave (spletni GIS). Tehnično je register podatkovna baza z geolokacijsko komponento. Viri onesnaževanja, pri katerih proizvodnja povzroča odpadne snovi, ki bi se prek različnih vodnih poti lahko spirale v podzemno vodo, so georeferencirani (postavljeni v koordinatni sistem). Značilnosti posameznih objektov so zapisane v atributni preglednici. Na izvedbeni ravni to pomeni, da so podatki iz podatkovnih preglednic grafično tudi prostorsko predstavljeni, bodisi v obliki digitalnih interaktivnih zemljevidov bodisi natisnjenih zemljevidov v različnih merilih. Register omogoča hiter in enostaven dostop do informacij ter povezave med različnimi viri podatkov. Uporaben je v različne namene, na primer pri načrtovanju monitoringa in potrebnih posegov na obravnavanih območjih ter analizah vplivov na okolje, kot strokovna podlaga pa v primeru nujnega takojšnjega ukrepanja v izrednih razmerah.

Register onesnaževalcev podzemne vode vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja predstavlja pretekla in sedanja okoljska bremena oziroma potencialne in aktualne onesnaževalce. Vsebuje celovit pregled preteklih in sedanjih točkovnih, linijskih in ploskovnih virov, ki potencialno ogrožajo vire pitne vode. Podatki, potrebni za vzpostavitev registra, so bili pridobljeni z digitalizacijo analognih podatkovnih baz preteklih bremen, lociranjem z metodami daljinskega zaznavanja in geolociranjem digitalnih podatkov potencialnih bremen.

2.1.1 REGISTER STARIH OKOLJSKIH BREMEN

Morebitna stara bremena (na primer z nevarnimi odpadki zasute gramoznice, dvorišča starih galvan) so grožnja viru pitne vode, zato smo v prvi del registra vključili pretekle, v sodobnosti nedelujoče

proizvodne objekte. Za socialistično obdobje po drugi svetovni vojni, ki je trajalo do devetdesetih let 20. stoletja, sta bila značilna neučinkovito izvajanje zakonov in »industrokracija«, kar pomeni, da je imela slovenska industrija tako močan vpliv na politiko in upravo, da je lahko dolga leta nekaznovano onesnaževala okolje. To gre pripisati tudi ideološki želji po čim večjem številu industrijskih delavcev. Industrija je to vlogo odigrala z brezvestnim ravnanjem z odpadnimi snovmi. Velika onesnaženja so se pojavljala že v sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja (Breznik 1990). Nevarne snovi so se proizvajale, uporabljale ali skladiščile v številnih industrijskih obratih. Te lokacije so zdaj bodisi degradirana območja bodisi so na njih zrasli novi proizvodni obrati, na nekaterih pa se je tudi spremenila namembnost (parkirišče). Register vključuje tudi podatke za manjše objekte, kot so kemične čistilnice, lakirnice ter galvane, obrati za površinsko obdelavo in zaščito kovin.

Pridobivanje podatkov o starih, zdaj nedelujočih onesnaževalcih je temeljilo na posredni analizi, s posodobitvami in georeferenciranjem podatkov starih okoljskih študij. Natisnjene preglednice smo digitalizirali in predelali v georeferencirano podatkovno preglednico. Pri georeferenciranju smo uporabljali razne analogne in digitalne vire (Čižman 2006; DOF 2006; EHIŠ 2009; medmrežje 3, 4, 5, 6, 7 in 8; Organi in organizacije … 1988). Objekte nekaterih onesnaževalcev pa smo zajemali iz arhivskega kartografskega gradiva z digitalizacijo in jih zatem povezali z atributnimi podatki iz drugih virov, na primer starejših študij. Posebna izziva sta bila geolociranje tistih objektov iz starih analognih baz, ki niso bili opremljeni s prostorskimi koordinatami in jih je bilo zato treba pridobiti iz posrednih virov, ter obdelava arhivskih letalskih posnetkov. V obeh primerih smo rezultate dopolnili in izboljšali s terenskim preverjanjem.

MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 6: Stereoskopska analiza arhivskih letalskih posnetkov.

Za nekatera stara okoljska bremena pa smo podatke pridobivali tudi povsem na novo, pri čemer smo posebno pozornost namenili določitvi lokacij opuščenih gramoznic, ki lahko skrivajo raznovrstna neznana okoljska bremena in so tako prikrita grožnja podzemni vodi. Za zajem čim večjega števila gramoznic smo uporabili historičnogeografsko analizo pokrajinskih sprememb, izvedeno na podlagi primerjave dolgega niza arhivskih letalskih posnetkov (od leta 1959 dalje). Izvedli smo vizualno stereoskopsko analizo arhivskih letalskih posnetkov ter digitalizacijo oziroma točkovno in poligonsko vektorizacijo lokacij in nastalo grafično bazo dopolnili z atributno bazo.

2.1.2 REGISTER AKTIVNIH VIROV ONESNAŽEVANJA

Register aktivnih virov onesnaževanja vodonosnikov je obsežnejši, saj je hkrati z informatizacijo družbe in gospodarstva v preteklih dveh desetletjih ter vključevanjem naše države v Evropsko unijo potekala tudi revolucija na področju vzpostavljanja različnih novih in posodabljanja starih okoljskih monitoringov. Precej bolj pestra je tudi verjetnost morebitnega recentnega onesnaženja.

Skladno s tem je pridobivanje podatkov o aktivnih virih onesnaževanja temeljilo predvsem na obdelavi dostopnih državnih in lokalnih evidenc, kot so podatki o odpadnih vodah iz industrije, podatki o odpadnih vodah iz gospodinjstev, podatki o dejavnosti.

Pomembnejši točkovni viri, ki so vključeni v register, so večji industrijski onesnaževalci vode, objekti iz drugih dejavnosti in tudi onesnaževalci z okolju nevarnimi ogljikovodiki. Evidentirani so tudi lokacije izcednih vod iz komunalnih in divjih odlagališč odpadkov, potencialni točkovni viri neprečiščenih odpadnih vod iz kanalizacijskih objektov neposredno v podzemno vodo ali vodotok (predvsem požiralniki in ponikovalnice) in lokacije greznic. Tudi pri aktualnih virih onesnaženja so velika grožnja okolju gramoznice in tamkajšnja divja odlagališča odpadkov, zato jim je bila namenjena posebna pozornost. Med pomembnejšimi sodobnimi linijskimi viri onesnaževanja so kanalizacijsko omrežje in obremenitve prometnic. Za zajemanje podatkov na terenu smo uporabili dlančnike, računalniške tablice, pametne telefone in druge naprave z GIS aplikacijo za natančen zajem koordinat objekta in tudi možnostjo vnosa atributnih podatkov. Na tak način je na primer potekal zajem podatkov o divjih odlagališčih odpadkov (Smrekar s sodelavci 2006), ki je bil sicer v register vključen kot rezultat predhodnih projektov. Izvedli smo vizualno digitalizacijo multispektralnih satelitskih posnetkov in digitalnih ortofotoposnetkov (DOF). Primarne digitalne podatke, shranjene v Excelovi ali Accessovi podatkovni bazi, smo geolocirali, kar smo storili z navezovanjem na evidenco hišnih številk (EHIŠ).

2.2 REZULTATI

Register preteklih potencialnih virov onesnaževanja, nevarnih za vodonosnika Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja, sestavljajo naslednji podatki o točkovnih virih:

A1. nekdanji industrijski objekti, ki so proizvajali nevarne snovi, s podatki o vrsti in količini nevarnih snovi;
A2. organizacije, ki so uporabljale, skladiščile oziroma proizvajale nevarne snovi;
A3. nekdanji obrati kemičnih čistilnic;
A4. nekdanji obrati lakirnic;
A5. nekdanji obrati za površinsko obdelavo in zaščito kovin;
A6. gramoznice med letoma 1959 in 1994.

Register aktivnih virov onesnaževanja vodonosnikov Ljubljanskega polja in Barja ima bolj kompleksno zgradbo in več podatkovnih slojev (preglednica 1).

Preglednica 1: Sestava registra aktivnih virov onesnaževanja podzemne vode in vsebina podatkovnih slojev.

dejavnost	a. točkovni viri aktivnega onesnaževanja	b. linijski viri aktivnega onesnaževanja	c. razpršeni viri aktivnega onesnaževanja
kmetijstvo	A7. Onesnaževanje iz kmetijstva – rastlinjaki;		
rudarstvo	A8. površinski kopi mineralnih surovin in odlagališča odpadkov v njih;		
industrija	A9. večji industrijski onesnaževalci vode; A10. potencialni onesnaževalci iz različnih dejavnosti;		
energetika	A11. onesnaževalci z ogljikovodiki;		C1. Območja potencialnega onesnaženja iz individualnih energetskih virov (cisterne za kurilno olje).
komunalne dejavnosti	A12. izcedne vode iz komunalnih odlagališč odpadkov; A13. izcedne vode iz divjih odlagališč odpadkov; A14. neprečiščene odpadne vode iz kanalizacijskih objektov, ki odtekajo neposredno v podzemno vodo; A15. neprečiščene odpadne vode iz kanalizacijskih objektov, ki odtekajo v vodotoke; A16. neprečiščene odpadne vode iz greznic; A17. očiščene odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav.	B1. Potencialno iztekanje iz poškodovanih kanalizacijskih vodov;	
promet		B2. onesnaževala iz prometa.	

Evidentirali smo več kot 80.000 objektov. Register onesnaževalcev bo namenjen določitvi virov in morebitne razširjenosti onesnaženj, pa tudi pripravi ukrepov za izboljšanje stanja onesnaženosti (med-mrežje 1).

Preglednica 2: Sestava in število objektov v registru onesnaževalcev.

	točkovni viri	linijski viri	razpršeni viri	skupaj
stara okoljska bremena	475	–	–	475
aktivni onesnaževalci	32.476	48.089	1358	81.923
skupaj	32.951	48.089	1358	82.398

2.3 SKLEPI

Uporaba podatkov o okoljskih onesnaževalcih podzemne vode, ki se z različnimi nameni zbirajo v različnih ustanovah, je silno otežena, saj niso zbrani na enovit način in so marsikdaj težko dostopni. Potrebo po enotnem registru onesnaževalcev podzemne vode že vrsto let izražajo ustanove tako na lokalni kot državni ravni, ki se med drugim ukvarjajo z načrtovanjem rabe prostora, oskrbo s pitno vodo, ugotavljanjem vplivov na okolje in iskanjem povzročiteljev okoljskih obremenitev. V preteklosti je že bilo

nekaj poskusov delnih vzpostavitev raznih registrov onesnaževalcev, a tako celovit pregled, kot je ta, doslej še ni bil pripravljen.

Register je tako metodološko kot vsebinsko nastal z evropskimi finančnimi sredstvi (medmrežje 1). Zdaj potrebuje skrbnika, ki bo odgovoren za ažurnost podatkov, njihovo javno dostopnost in združljivost različnih baz. Ključno vlogo pri delovanju tega registra ter njegovi vsebinski in prostorski širitvi vsaj na vsa vodovarstvena območja v Sloveniji bodo morale imeti predvsem državne ustanove, deloma pa tudi lokalne skupnosti. Glede na trenutno stanje zbiranja okoljskih podatkov je za to delo verjetno najbolj pristojna Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).

Register je uporaben na različnih področjih in za različne namene:

- kot strokovna podlaga za takojšnje ukrepanje ob izrednih razmerah v okolju,
- pri delu inšpekcij, ki se ukvarjajo z nadzorom onesnaževalcev,
- v primeru havarij, saj omogoča sledljivost do potencialnih virov onesnaženja,
- v primeru okoljskih nesreč kot strokovna podlaga za pripravo ukrepov v zvezi z obvladovanjem tveganj za okolje in zdravje ljudi,
- pri analizi celovitih vplivov na vodne vire in okolje,
- pri načrtovanju emisijskega nadzora,
- pri pripravi sanacijskih programov degradiranega okolja,
- pri spremljanju kazalnikov varstva okolja,
- kot eden od temeljev za ustrezno prostorsko načrtovanje,
- kot izobraževalni pripomoček in, nenazadnje,
- pri načrtovanju oskrbe s pitno vodo in upravljanju vodovodnih sistemov (Zabeležka 1. delavnice … 2010).

Glavna prednost registra je v tem, da so informacije, ki so sicer zbrane za različne namene, dostopne na enem mestu. Pomembno je tudi, da register omogoča hiter in enostaven dostop do informacij ter povezave med različnimi viri podatkov (Zabeležka 1. delavnice … 2010).

Problematika, na katero smo naleteli, je bila pričakovana. Podatki, ki jih uvrščamo v tovrstne registre, so razpršeni na različnih naslovih, ustanove zbirajo podatke izključno za določene namene, zato podatki ne vsebujejo popolnih informacij. Zaradi varovanja informacij zaupne narave so mnogi podatki nedostopni, nekateri skrbniki podatkov so nenaklonjeni distribuciji podatkov zaradi morebitnih zlorab, nekateri podatki, ki se sicer zbirajo, so dostopni le v agregirani obliki, nekateri pa le v tiskani obliki ali v elektronski obliki, neprimerni za nadaljnjo obdelavo, nekateri skrbniki podatkov enostavno niso pripravljeni na sodelovanje …

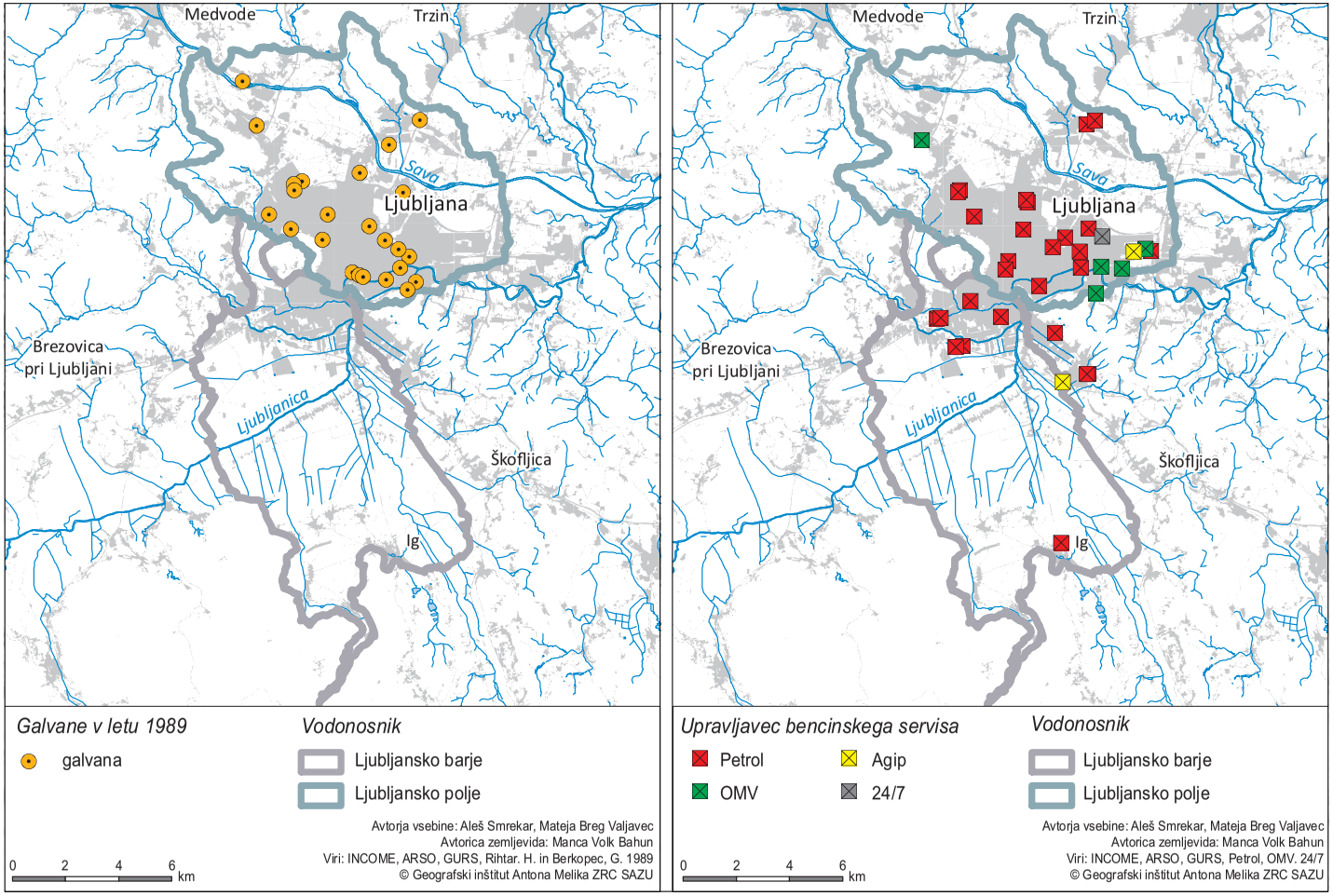
Uporabo nekaterih ključnih obstoječih okoljskih podatkov zainteresirani strokovni javnosti dodatno onemogočajo zakonski predpisi ali pa zakonodaja omogoča tolmačenje, da so okoljski podatki nedostopni, kar se izkorišča kot pretveza za varovanje podatkov. Na prvi pogled je nekoliko nenavadno, da so nekateri podatki izpred desetletij celo popolnejši od sodobnih. A tako je le na prvi pogled, saj je odgovor povsem jasen. Okoljska zakonodaja je sicer definirala poročevalske obveznosti onesnaževalcev, a predpisi niso namenjeni celovitemu pregledu stanja v prostoru, ampak le vnaprej predpisanim namenom, ki so v večini primerov povezani s poročevalskimi obveznostmi do Evropske komisije. Sistemsko urejen celovit pristop k zbiranju okoljskih podatkov za druge namene nas še čaka.

Pri vzpostavljanju predstavljenega registra se je pokazalo, da je nekaj primerov, ko so zaradi nepopolnosti, togosti ali nerazumevanja širše problematike prevzemi nekaterih evidenc podatkov nesmiselni oziroma onemogočeni.

Največja neevidentirana grožnja okolju so obrati, ki imajo sedež podjetja na drugi evidentirani lokaciji kot lokacijo morebitnega vira onesnaženja, in majhni obrati, ki uporabljajo nevarne snovi, vendar zaradi svoje majhnosti (ne pa tudi nenevarnosti onesnaženja) niso vključeni v noben register. Prav ta glavna pomanjkljivost predstavljenega registra kliče po vzpostavitvi sledenja tudi najmanjših količin nevarnih snovi od izvora (proizvodna enota oziroma kraj vstopa v Slovenijo) do končnih porabnikov (Jamnik s sodelavci 2012).

Preglednica 3: Predstavitev podatkovnih slojev iz obeh vsebinskih delov registra.

PRIMER 1 – Podatkovni sloj iz registra starih okoljskih bremen	**PRIMER 2 –** Podatkovni sloj iz registra aktualnih onesnaževalcev
A5. Nekdanji obrati za površinsko obdelavo in zaščito kovin	*A11. Točkovni onesnaževalci z ogljikovodiki*
IME PODATKOVNEGA SLOJA: stare_galvane_1989 KRATEK OPIS: Seznam obratov za površinsko zaščito kovin na varstvenih pasovih virov pitne vode leta 1989. VIR ŠTUDIJE: Stanje na varstvenih pasovih virov pitne vode na območju Ljubljane, iz katerih se oskrbuje nad 10.000 prebivalcev. Zavod za družbeno planiranje Ljubljana, 1989 (H. Rihtar, G. Berkopec). VIR PODATKOV: Mestna uprava inšpekcijskih služb. TIP VHODNIH PODATKOV: Natisnjena preglednica. NAČIN DIGITALIZACIJE PODATKOV: Vnos analognih podatkov v podatkovno tabelo in geolociranje grafične datoteke. ŠTEVILO OBJEKTOV: 24	KRATEK OPIS: Lokacije delujočih bencinskih črpalk s podatkom o upravljavcu. VIR PODATKOV: • Bencinski servisi Petrol: http://www.petrol.si/, • bencinski servisi OMV: http://www.omv.si/, • bencinski servisi Agip: http://travel.eni.com/sl_SI/stations/stations.html • bencinski servisi 24/7: http://www.en-plus.si/. TIP VHODNIH PODATKOV: Analogni podatki o naslovih bencinskih servisov. NAČIN DIGITALIZACIJE PODATKOV: Vnos analognih podatkov v podatkovno tabelo programa Excel ter izdelava .dbf (*data-base-file*) in geolociranje grafične .shp (*shape file*) datoteke s pomočjo Evidence hišnih številk (EHIŠ). ŠTEVILO OBJEKTOV: 31
TABELARIČNI PRIKAZ V REGISTRU	**VSEBINA IN ZGRADBA DATOTEKE**
Datoteka vsebuje naslednje atribute (stolpce): 1. Ime obrata 2. Dejavnost *Vrednosti/kategorije atributa:* *galvanizacija* 3. x koordinata *Gauss-Krügerjeve koordinate so bile prirejene s pomočjo atributa naslov, ki smo ga povezali z datoteko Evidence hišnih številk (EHIŠ) in od tam povzeli koordinate.* 4. y koordinata *Gauss-Krügerjeve koordinate so bile prirejene s pomočjo atributa naslov, ki smo ga povezali z datoteko Evidence hišnih številk (EHIŠ) in od tam povzeli koordinate.* 5. Naslov *Nekdanji naslov galvanizacijskega obrata* 6. Naselje 7. Občina 8. Lokacija glede na vodonosnik *Vrednosti/kategorije atributa:* *1 – Ljubljansko polje (N*24)* 9. Vodovarstveno območje *Vrednosti/kategorije atributa:* *vodovarstveno območje II A (N*2)* *vodovarstveno območje II B (N*8)* *vodovarstveno območje III (N*14)* 10. Oddaljenost od območja zajetja (m)	Datoteka vsebuje naslednje atribute (stolpce): 1. Upravljavec bencinskega servisa *Vrednosti/kategorije atributa:* *1 – Bencinski servis Petrol (N*24)* *2 – Bencinski servis OMV (N*4)* *3 – Bencinski servis Agip (N*2)* *4 – Bencinski servis 24/7 (N*1)* 2. Leto aktivnosti *2010* 3. Naslov bencinskega servisa 4. Pošta 5. x koordinata *Gauss-Krügerjeve koordinate so bile prirejene s pomočjo atributa naslov, ki smo ga povezali z datoteko Evidence hišnih številk (EHIŠ) in od tam povzeli koordinate.* 6. y koordinata *Gauss-Krügerjeve koordinate so bile prirejene s pomočjo atributa naslov, ki smo ga povezali z datoteko Evidence hišnih številk (EHIŠ) in od tam povzeli koordinate.* 7. Naselje 8. Občina 9. Lokacija glede na vodonosnik *Vrednosti/kategorije atributa:* *1 – Ljubljansko polje (N*23)* *2 – Ljubljansko barje (N*8)* 10. Vodovarstveno območje *Vrednosti/kategorije atributa:* *vodovarstveno območje IIB (N*8)* *vodovarstveno območje III (N*23)* 11. Oddaljenost od območja zajetja (m)
GRAFIČNI PRIKAZ V REGISTRU:	**GRAFIČNI PRIKAZ V REGISTRU:**



Slika 7: Grafični prikaz v registru.

Kot primer nedostopne baze naj navedemo informacije o cisternah za kurilno olje, ki jih zbirajo v okviru rednih dejavnosti dimnikarskih služb. Ugotovili smo, da bi z neposredno ali morebitno nezahtevno modifikacijo postopka omogočali pridobitev podatkov o lokaciji, velikosti, starosti, uporabljenosti in splošnem stanju cistern za kurilno olje, ki so v Sloveniji povsem nenadzorovana nevarnost za okolje, še posebno vodno okolje. Cisterna za kurilno olje lahko namreč vodni vir trajno onesnaži (Jamnik s sodelavci 2012).

Izdelane strokovne podlage bodo omogočile javno poznavanje doslej neevidentiranih starih ekoloških bremen in njihovo sanacijo, kar bo lahko preprečilo nadaljnje onesnaževanje podzemne vode in drugih že degradiranih okoljskih prvin. Ob trajnostno načrtovani rabi tal bo tako lahko zagotovljen kakovosten vodni vir tudi prihodnjim rodovom.

3 INFORMACIJSKI SISTEM OKOLJSKIH PODATKOV

Za območji Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja so značilni visoka občutljivost vodonosnikov, velika hitrost toka podzemne vode, hiter prenos onesnaževal ter močna medsebojna povezanost površja in podzemne vode. Zato je toliko bolj pomemben zelo hiter odziv na naključne primere onesnaževanja, za njihovo razreševanje pa je treba uporabiti napredne in dovršene tehnologije. Informacijski sistem okoljskih podatkov je namenjen boljšemu nadzoru nad viri onesnaženja, zaradi prostorskih predstavitev pa tudi lažjemu in hitrejšemu ukrepanju.

Informacijski sistem je sestavljen iz dveh med seboj povezanih delov, podatkovne relacijske baze, ki vsebuje atributne podatke o merilnih mestih v tabelarični obliki, in dela informacijskega sistema, ki vključuje prostorske informacije (geolokacijski del) (Peng in Tsou 2003). Podatkovna baza je izdelana s programom MS SQL Server 2008, njen izvedbeni model pa je na voljo v programskem paketu MS Access.

Za vpogled v informacijski sistem smo vzpostavili spletni pregledovalnik okoljskih podatkov, izdelan s programskim orodjem ESRI ArcGIS Server 9.3. Namenjen je splošni in strokovni javnosti, saj združuje podatke, ki so pomembni za upravljanje vodnih virov v Ljubljani. Aplikacija omogoča pregled registra onesnaževalcev, parametrov kakovosti in nihanj gladin podzemne vode ter geoloških podatkov. Podatki so prosto dostopni na naslovu http://akvamarin.geo-zs.si/incomepregledovalnik.

3.1 ARHITEKTURA SISTEMA

Arhitektura oziroma zgradba sistema sestoji iz treh medsebojno povezanih sklopov: predstavitvenega, operativnega in podatkovnega (medmrežje 9).

Predstavitveni del omogoča uporabnikom poizvedovanje po različnih informacijah. Prek spletnega brskalnika (Interner Explorer (© Microsoft), Mozilla Firefox, Chrome (© Google)) lahko dostopajo do pregledovalnika okoljskih podatkov in pošljejo zahtevo po želeni informaciji. Operativni del poganja pregledovalnik ter obdeluje povpraševanja in odgovore na ta povpraševanja. Zahteva, ki jo pošlje uporabnik, prispe do spletnega strežnika, kjer jo krmilnik posreduje do operativnega ArcGIS strežnika (© ESRI). Ta poišče pot do podatkovnega ali datotečnega strežnika, ki posreduje odgovor na poslano zahtevo (Pouria 2013).

Prvi strežnik operativnega dela omenjenega GIS-a temelji na programski opremi ArcGIS server 9.3 SP1 (© ESRI), ki omogoča ustvarjanje, upravljanje in distribucijo GIS storitev prek spleta za podporo namiznih, mobilnih in spletnih aplikacij.

Drugi strežnik operativnega dela pa predstavlja Windows Server 2008 R2 Standard (x64) SP0 (© Microsoft), na katerem je delujoča GIS aplikacija. Spletna GIS aplikacija je izdelana v programskem okolju Visual Studio 2008 SP1 (© Microsoft). Poleg delujoče aplikacije je na Windows strežniku naložen še IIS (Internet Information Services 7.5), prek katerega prispe želena zahteva uporabnika (Orin 2011).

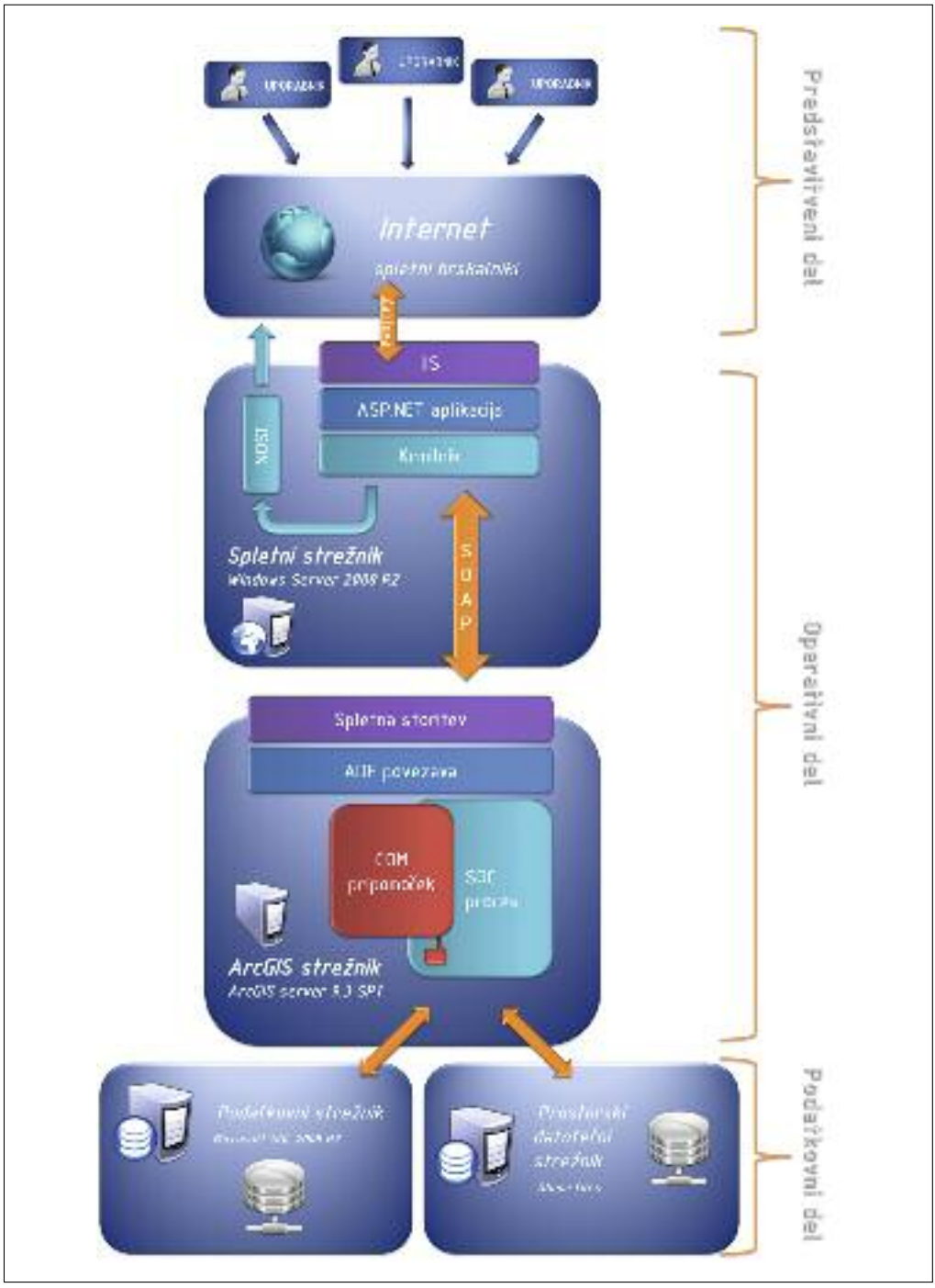
Podatkovni del se deli na dva dela. V prvem je prostorski datotečni strežnik, kjer so shranjene prostorske informacije, v drugem pa podatkovni strežnik, na katerem je podatkovna baza Microsoft SQL Server 2008 R2.

3.2 PODATKOVNA BAZA MERILNIH MEST PODZEMNE VODE

Podatkovna baza merilnih mest vsebuje hidrogeološke podatke Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija d. o. o., Geološkega zavoda Slovenije, Agencije Republike Slovenije za okolje in Mestne občine Ljubljana.

Modeliranje podatkovnih baz je sestavljeno iz več faz, od preučitve problematike, konceptualnega modeliranja, standardizacije in normalizacije, vzpostavitve relacijskega modela do fizične izvedbe (Vintar 1996).

Podatki so bili pridobljeni z večdesetletnim terenskim delom in meritvami, vendar jih vsaka ustanova predstavlja na drugačen način. Da bi dosegli čim bolj enostaven, hiter in uporabniku prijazen dostop



Slika 8: Arhitektura sistema okoljskih podatkov.

do relevantnih podatkov, smo najprej začeli s kompleksnim pregledovanjem in poskusom poenotenja obstoječih podatkov ter prvo fazo izgradnje modela – analizo obstoječega stanja. S timskim delom in delom na delavnicah, kjer so bili navzoči predstavniki vseh ustanov, smo pripravljali temeljne informacije o merilnih mestih, opredelili zahtevane podatke, urejali soglasja o lastništvu podatkov z avtorji in na koncu določili bistvene sestavine podatkovne zbirke.

Naslednja faza je bila določitev temeljnih povezav med objekti. Rezultat je bil konceptualni model, ki smo ga razvijali za tri temeljne sklope: temeljne podatke o merilnih mestih, povprečne vrednosti kemijskih parametrov za obdobje 2005–2008 in časovne vrste s podatki o parametrih.

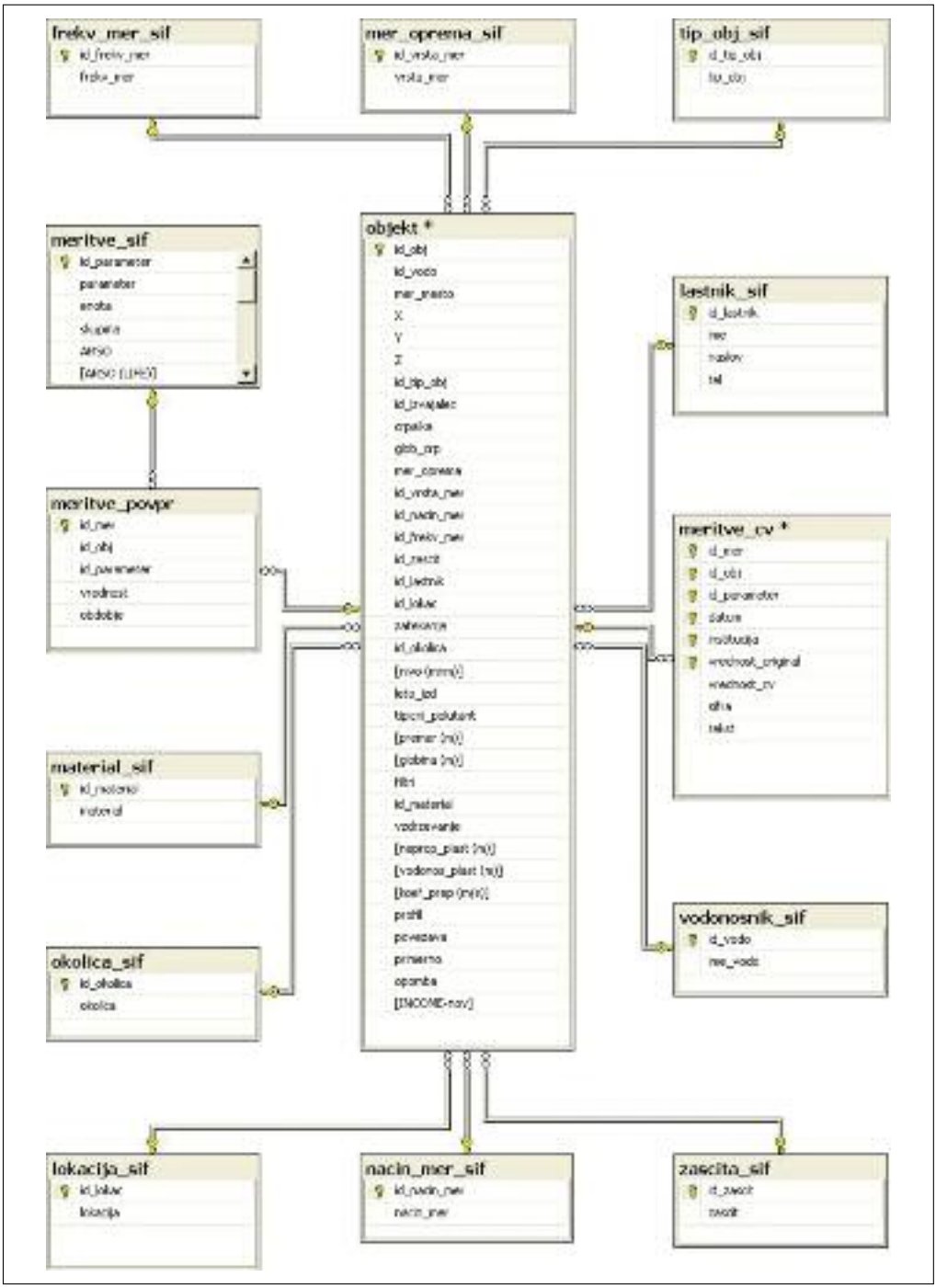
Temeljne podatke smo opredelili z naslednjimi atributi: pripadnost vodonosniku, ime merilnega mesta, tip merilnega mesta, Gauss-Krügerjeve koordinate, lokacija, širša okolica, zaščita merilnega mesta, lastnik merilnega mesta, izvajalec monitoringa, leto izdelave merilnega mesta, njegova globina in premer. Na voljo so še naslednji podatki: globina črpalke, filtri, material, profil, merilna oprema, vrsta in način meritev, njihova frekvenca, tipični onesnaževalec in koeficient prepustnosti (Hribernik s sodelavci 2012). Ena od nalog je bila določitev poenotenih imen merilnih mest, saj posamezne inštitucije isti objekt različno imenujejo.

Drug sklop podatkov so povprečne vrednosti temeljnih fizikalnih (temperatura, pH, električna prevodnost) in kemijskih parametrov (vsebnost kalcija, magnezija, natrija, kalija, amonija, hidrogenkarbonata, kloridov, nitratov, fosfatov, železa), mikroelementov (vsebnost kroma (VI), pesticidov (atrazina, desetilatrazina, metolaklora) in drugih organskih onesnaževal (vsebnost trikloroetena, tetrakloroetena). Določili smo tudi mejne vrednosti za posamezne parametre in poenotili njihova večkrat različna poimenovanja znotraj posamezne ustanove.

V tretjem sklopu so predstavljene vrednosti periodičnih meritev za vse zgoraj navedene parametre in za gladino podzemne vode.

Naslednja faza razvijanja modela je bila standardizacija in normalizacija podatkov, ki je temeljila na analizi in sintezi obstoječih podatkov iz vseh podatkovnih zbirk. Zelo veliko pomeni stanje podatkov ob vnosu, saj ob tem lahko določimo metodo njihovega zajema ter čas in območje zajema. Pridobljene baze so bile načrtovane ločeno druga od druge, zato se njihove strukture medsebojno praviloma povsem razlikujejo, prihaja tudi do medsebojnih neskladij v podatkovnih tipih, kakovosti in količini podatkov ter tudi samem mediju shranjevanja. Za prenos podatkov v novo postavljen sistem je bila izvedena temeljita analiza in specifikacija podvojenih podatkov, s čimer smo se izognili odstranjevanju, ki bi pomenilo izgubo podatkov. Ta korak je bil obsežen, saj je že pred vnosom za zagotovitev optimalne podatkovne predstavitve treba preučiti obstoječe in določiti zahtevane podatkovne tipe. Prav tako je treba določiti njihov format, obvezne podatke, pripraviti nove vsebine šifrantov in klasifikacije za posamezne kategorije ter s tem dinamične parametre osvoboditi subjektivnih interpretacij in onemogočiti nedoslednosti pri vnosu podatkov. Določiti je treba tudi dostopnost do podatkov in kontaktne osebe. Končna shema zagotavlja maksimalne informacije ob minimalnem podvajanju podatkov, obenem pa so pridobili optimalne rezultate, primerne za vsestranske analize.

Z združevanjem in prekrivanjem različnih baz podatkov smo dobili 158 merilnih mest, ki smo jih vključili v nov podatkovni model in ga hkrati tudi testirali. Ker vse obstoječe baze niso imele grafičnih podlag, je bilo treba preseke izvesti z različnimi poizvedbami za pridobitev podvojenih objektov. Prvi način iskanja dvojnikov je potekal po koordinatah, s čimer smo dobili najbolj zanesljive rezultate podvajanja. Ker pa so koordinate v posameznih bazah odčitane večkrat in na različne načine, nemalokrat ročno, zaradi subjektivne interpretacije posameznih avtorjev prihaja do razhajanj tudi med koordinatami za isti objekt. Zato smo nadaljevali s prekrivanjem še po dodatnih kriterijih, kot na primer imenu objekta. Vendar se tudi ta postopek ni izkazal za povsem zanesljivega, saj pri samem vnosu podatkov velikokrat prihaja do tipkarskih napak, ki jih računalniške poizvedbe zaznajo. Zaradi tovrstnih pomanjkljivosti in v prid zmanjšanja napak v prihodnje smo se pri izdelavi novega podatkovnega modela odločili za šifriran vnos podatkov. Na koncu smo podatke še enkrat »ročno« pregledali in podvojene objekte izločili.



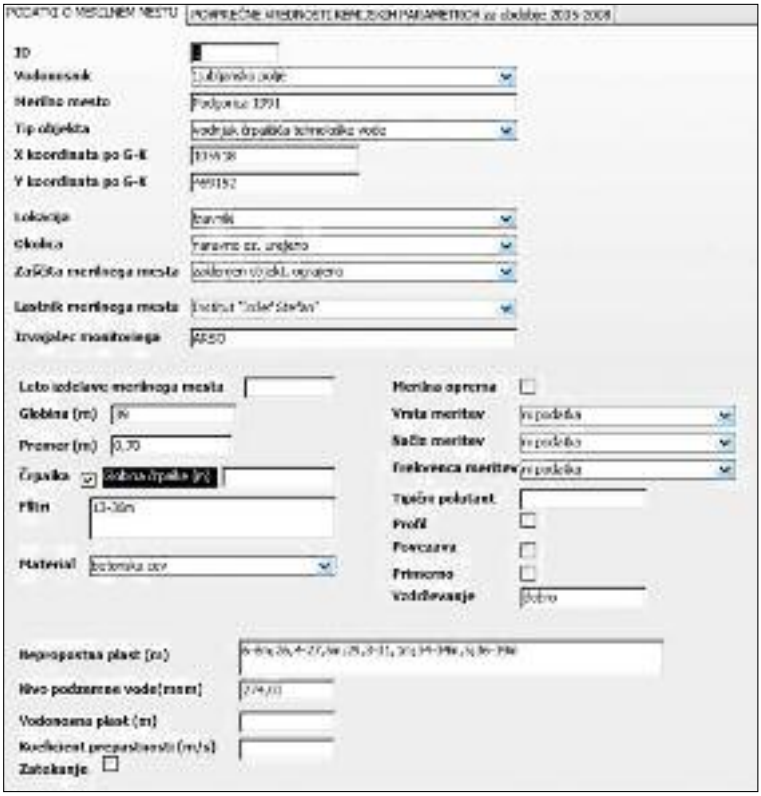
Slika 9: Relacijski model podatkovne baze merilnih mest.

Konceptualni in logični opredelitvi podatkovnega modela sledi smiselna ureditev atributov v tabele, ki so edina podatkovna struktura relacijskega modela, v katerem so objekti hierarhično prikazani (Kvamme s sodelavci 1997). V vsaki tabeli obstaja atribut, ki je enolično določen in se uporablja kot ključ (identifikator). Prek ključa so vzpostavljene temeljne zveze med objekti; ena proti ena, ena proti mnogo in mnogo proti mnogo, odvisno od lastnosti podatkov. S tem je bila vzpostavljena podlaga oziroma jedro za nadaljnje oblikovanje obravnavanega informacijskega sistema.

Zadnja faza modeliranja podatkov je izvedbeni model, ki ga za vsak sklop podatkov predstavimo z zaslonskimi vnosnimi obrazci. Fizična predstavitev podatkov je grafični vmesnik med podatkovno bazo in uporabniško ravnjo. Obrazci so namenjeni vnosu in pregledovanju podatkov, zato so opremljeni z raznimi gumbi za navigacijo in iskanje po bazi (Šinigoj s sodelavci 2011). V bazi lahko uporabniki izvajajo tudi številna povpraševanja, kjer ob nizu pravil izbirajo specifične podatke, v pomoč pa so tudi izpisi, namenjeni tiskanju in predstavitvi podatkov na enem mestu, njihovemu združevanju, primerjanju z realnimi podatki in vizualno prijaznejšemu pregledu nad njimi. V našem primeru so vnosne maske izdelane s programskim paketom MS Access.

3.3 SPLETNI PREGLEDOVALNIK OKOLJSKIH PODATKOV

Za hitro in enostavno posredovanje podatkov javnosti so najustreznejši mehanizmi spletne aplikacije, ki tudi uporabnikom s slabšim poznavanjem GIS tehnologije omogočajo hiter in kakovosten dostop do podatkov ter njihovo izmenjavo, povezovanje in analizo prek spleta.



Slika 10: Vnosne maske baze merilnih mest.

Temeljno okno pregledovalnika je razdeljeno na šest razdelkov (Hribernik s sodelavci 2012):

- orodna vrstica z orodji za delo z aplikacijo (povečava, pomanjšava, premik, celotno območje, prejšnje območje, naslednje območje, poizvedba po točki, merjenje, prikaz preglednega zemljevida in premikanje po koordinatah),
- osrednje okno za prikazovanje podatkov, ki je vizualno največji del spletne GIS aplikacije, v katerem prikazujemo zemljevid iskanih podatkov.

Prek osrednjega okna je omogočeno interaktivno delo s pomočjo zemljevida območja. Ta del se spreminja z izvrševanjem ukazov v orodni vrstici:

- seznam podatkovnih slojev, med katerimi lahko izbiramo za prikaz na zemljevidu,
- opomba in navodila nudijo povezavo na datoteko z navodili in opozorila aplikacije,
- prikaz trenutnih koordinat in merila,
- rezultati poizvedb, povpraševanj in iskanj po podatkih.

Podatki, ki so prikazani v Pregledovalniku okoljskih podatkov, se delijo v različne sklope. Glavni so Register onesnaževalcev, Kemijski podatki in Hidrogeološki objekti (Hribernik s sodelavci 2012). V Registru onesnaževalcev (Smrekar s sodelavci 2010) je nabor različnih tipov in vrst aktivnih virov onesnaženja ter starih okoljskih bremen iz kmetijstva, industrije, energetike, komunalne dejavnosti, prometa, odlagališč odpadkov in rudarstva.

Sklop Kemijski podatki prikazuje kemijske analize za različne tipe merilnih mest (izvir, vrtina, vodnjak) in njihovo prostorsko porazdelitev za sedem izbranih kemijskih parametrov (atrazin, desetilatrazin, krom (VI), metolaklor, nitrati, tetrakloroeten, trikloroeten). Sklop Hidrogeološki objekti pa vsebuje tehnične podatke opazovalnih vrtin in podatke o gladini podzemne vode.

Poleg omenjenih sklopov podatkov sta v pregledovalniku za dodatne okoljske informacije in orientacijo v prostoru prikazana še sklopa kartografske podlage (administrativne meje, vodovarstvena območja ter Osnovna geološka karta Slovenije v merilu 1 : 100.000) in topografske podlage (Pregledna karta Slovenije v merilu 1 : 250.000, Državna topografska karta in digitalni ortofoto posnetki).

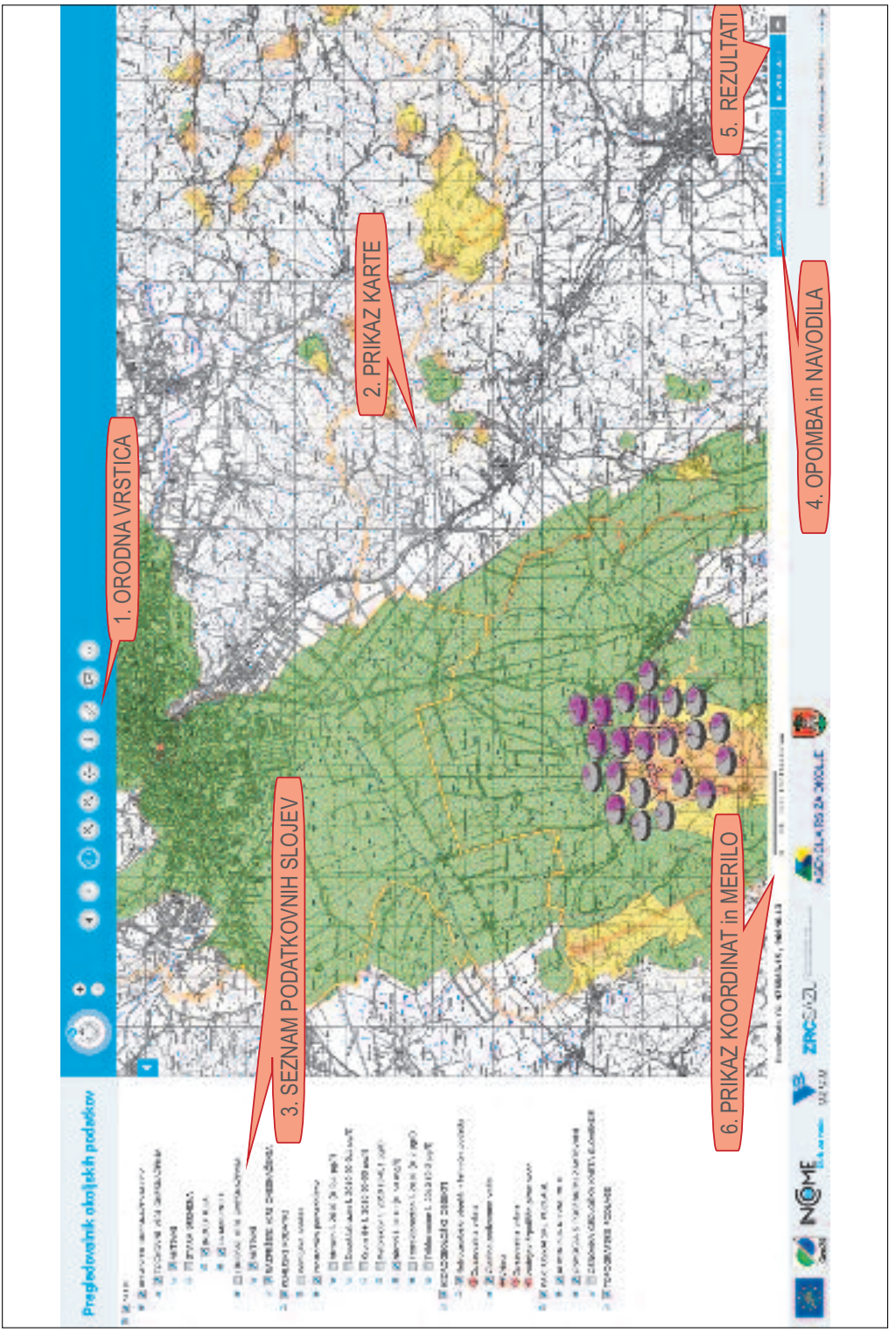
3.4 FUNKCIONALNOST SPLETNEGA PREGLEDOVALNIKA

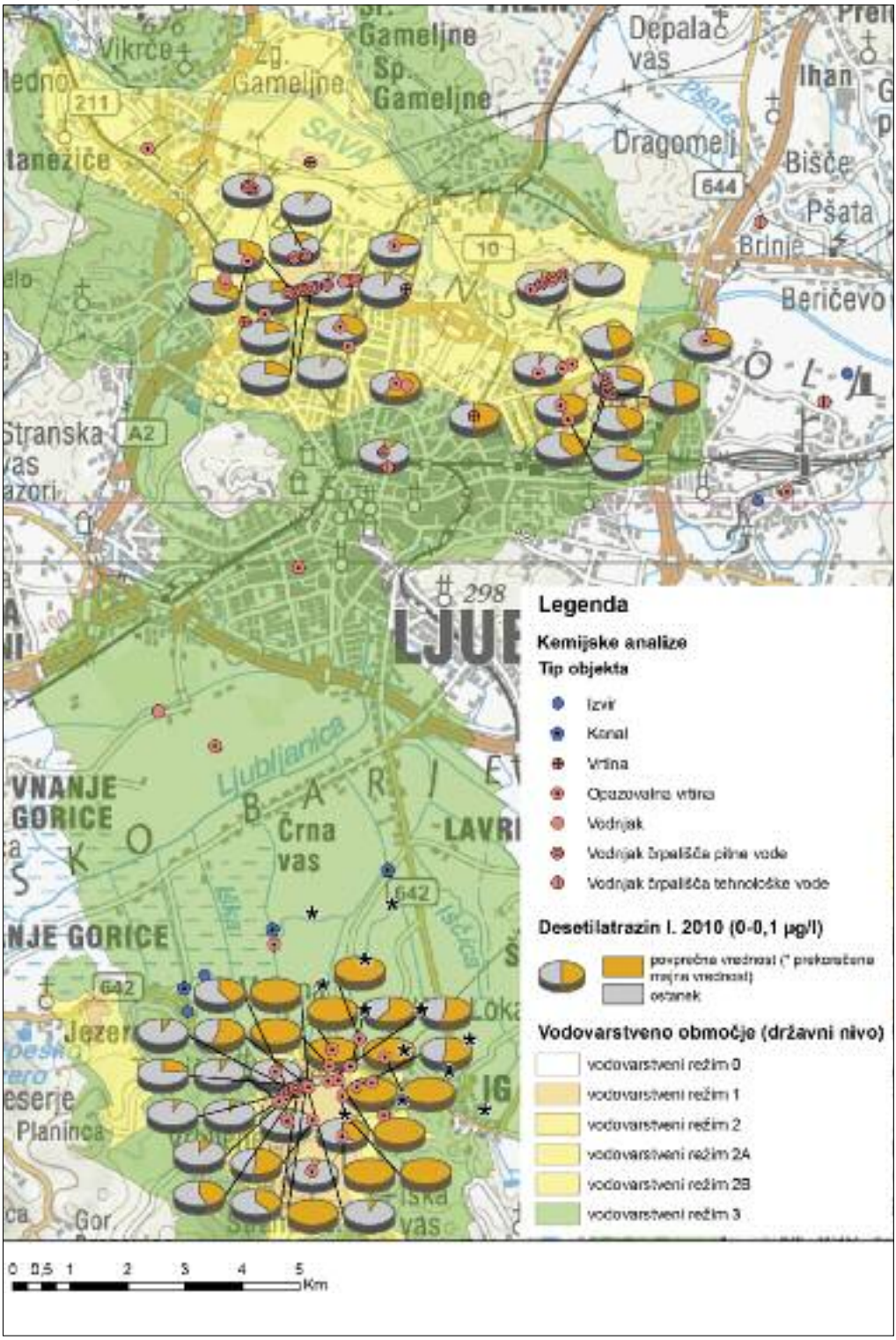
Spletni pregledovalnik poleg običajnih orodij za pregledovanje podatkov vsebuje tudi posebna, po meri izdelana orodja. Ta nam v rezultatih poizvedovanja po sloju Hidrogeološki podatki – tehnični podatki omogočajo povezavo na dokument s tehničnimi podatki izbranega vodnjaka, v rezultatih poizvedovanja po slojih Gladina podzemne vode in Kemijske analize pa povezavo na graf okoljskih podatkov izbranega merilnega mesta. Na Grafu okoljskih podatkov lahko glede na izbran sloj pregledujemo časovne vrste gladin podzemne vode ali vrednosti različnih okoljskih parametrov izbranih merilnih mest (Hribernik s sodelavci 2012). Graf uporabniku omogoča prikaz časovnih vrst več merilnih mest hkrati ter izbiro časovnega intervala. Uporabnik lahko prikazane podatke izvozi v obliki MS Excel datoteke.

3.5 SKLEPI

Predstavljen informacijski sistem je namenjen podpori upravljanja s podzemnimi vodami, pri čemer so zajeti odvzem, uporaba in njihova zaščita. Omogoča raznovrstne študije, enostavno preverjanje in vrednotenje podatkov, obenem pa podaja vpogled v specifične informacije o vodonosnikih, merilnih mestih in njihovi prostorski razporeditvi.

Slika 11: Razdelitev temeljnega okna pregledovalnika. ➤
Slika 12: Prostorska razporeditev hidrogeoloških objektov z rezultati kemijskih analiz. ➤ *str. 34*
Slika 13: Izvoz podatkov v obliki grafa, preglednice in pdf dokumenta. ➤ *str. 35*


1. ORODNA VRSTICA
2. PRIKAZ KARTE
3. SEZNAM PODATKOVNIH SLOJEV
4. OPOMBA in NAVODILA
5. REZULTATI
6. PRIKAZ KOORDINAT in MERILO
Pregledovalnik okoljskih podatkov


Legenda
Kemijske analize
Tip objekta
Izvir
Kanal
Vrtina
Opazovalna vrtina
Vodnjak
Vodnjak črpališča pitne vode
Vodnjak črpališča tehnološke vode
Desetilatrazin l. 2010 (0-0,1 µg/l)
povprečna vrednost (* prekoračena mejna vrednost)
ostanek
Vodovarstveno območje (državni nivo)
vodovarstveni režim 0
vodovarstveni režim 1
vodovarstveni režim 2
vodovarstveni režim 2A
vodovarstveni režim 2B
vodovarstveni režim 3
0 0,5 1 2 3 4 5 Km
Vikrče
Zg. Gameljne
Sp. Gameljne
Depala vas
Dragomelj
Bišče
Pšata
Brinje
Beričevo
Stranska vas
Črna vas
Ljubljanica
Planinca
Gor
Iška vas
LJUB
VNANJE GORICE
NJE GORICE
Jezero
Lokavec
Ihan
Pšata
Iščica
Iška
SAVA
211
10
644
A2
642
298

Informacijski sistem je podlaga za:

- študije kakovosti podzemnih voda,
- oceno odvzema in porabe vode,
- ocene ranljivosti in možnosti napovedi onesnaženja glede na smeri toka podzemne vode,
- načrtovanje lokacij novih vrtin,
- nadzor nad bodočo rabo tal,
- upravljanje z vodnimi viri in
- hidrogeološke analize za posredovanje koristnih informacij uporabnikom pitne vode.

Podatki so nazorno prikazani, baza podatkov pa je prilagodljiva prihodnjim spremembam.

4 HIDROKEMIJSKE IN IZOTOPSKE ZNAČILNOSTI PODZEMNIH VOD LJUBLJANSKEGA POLJA IN LJUBLJANSKEGA BARJA

Vodonosnika Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja sta bila doslej že večkrat obravnavana, tako z vidika njunih hidrogeoloških lastnosti (Žlebnik 1971; Mencej 1988), kakor tudi kemijske sestave in izotopskih značilnosti (Jamnik in Urbanc 2000; Urbanc in Jamnik 2004). Rezultati omenjenih raziskav so bili v preteklosti temelj ukrepov za zaščito kakovosti vodnih virov (Prestor s sodelavci 2002).

V novejšem času smo izvedli dodatne obširne hidrokemijske raziskave z namenom izboljšati poznavanje kemijske sestave podzemne vode v prostoru ter razumevanje razlogov za razporeditev in dinamiko onesnaženj v njej, pa tudi dopolniti konceptualna modela obeh vodonosnikov. Mreža opazovalnih mest kemijskega stanja podzemne vode je na območju vodonosnika Ljubljanskega polja obsegala 44 opazovalnih mest, na območju vodonosnika Ljubljanskega barja pa 32.

V letih 2010 in 2011 smo podzemno vodo vzorčili v hidroloških razmerah nizkih ter srednjih vod v jesenskem in spomladanskem obdobju. Vzorce podzemne vode smo odvzemali v piezometrih, izvirih, črpališčih pitne in industrijske vode ter zasebnih vodnjakih. Primerjalno smo vzorčili tudi izbrane površinske vodotoke. Opazovalna mesta so bila izbrana tako, da so reprezentativna za ožja opazovana območja.

V vzorcih podzemne vode smo analizirali deset temeljnih fizikalno-kemijskih parametrov: električno prevodnost, kalcij (Ca^{2+}), magnezij (Mg^{2+}), natrij (Na^{+}), kalij (K^{+}), hidrogenkarbonat (HCO_3^-), nitrate (NO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), kloride (Cl^-) in amonij (NH_4^+), izotopsko sestavo kisika ($\delta^{18}O$) in devterija (δD ali ^2H) in radioaktivni izotop tritij (^3H).

Analize vzorcev za temeljne fizikalno-kemijske parametre so bile opravljene v laboratoriju Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija d. o. o. z ionskim kromatografom IC 323 Metrohm.

Izotopska sestava kisika in devterija je bila analizirana v laboratoriju Hydroisotop v Nemčiji z masnim spektrometrom Finigan MAT 250. Izražena je v promilih (‰), relativno glede na mednarodni standard V-SMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*). Merilna negotovost je pri vseh meritvah $\delta^{18}O$ nižja kot ± 0,15 ‰ in pri meritvah D nižja kot ± 1,5 ‰.

Analize vsebnosti radioaktivnega izotopa tritija so bile izvedene na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani z metodo elektrolitske obogatitve na spektrometru Quantulus 1220. Vsebnost tritija je izražena v tritijevih enotah (TU), kjer 1 TU predstavlja 1 tritijev atom na 10^{18} atomov vodika. Merilna negotovost se giblje med 3 in 20 %, odvisno od merskih razmer, časa štetja in aktivnosti vzorca (pri nižjih aktivnostih je negotovost večja).

4.1 REZULTATI KEMIJSKIH IN IZOTOPSKIH ANALIZ

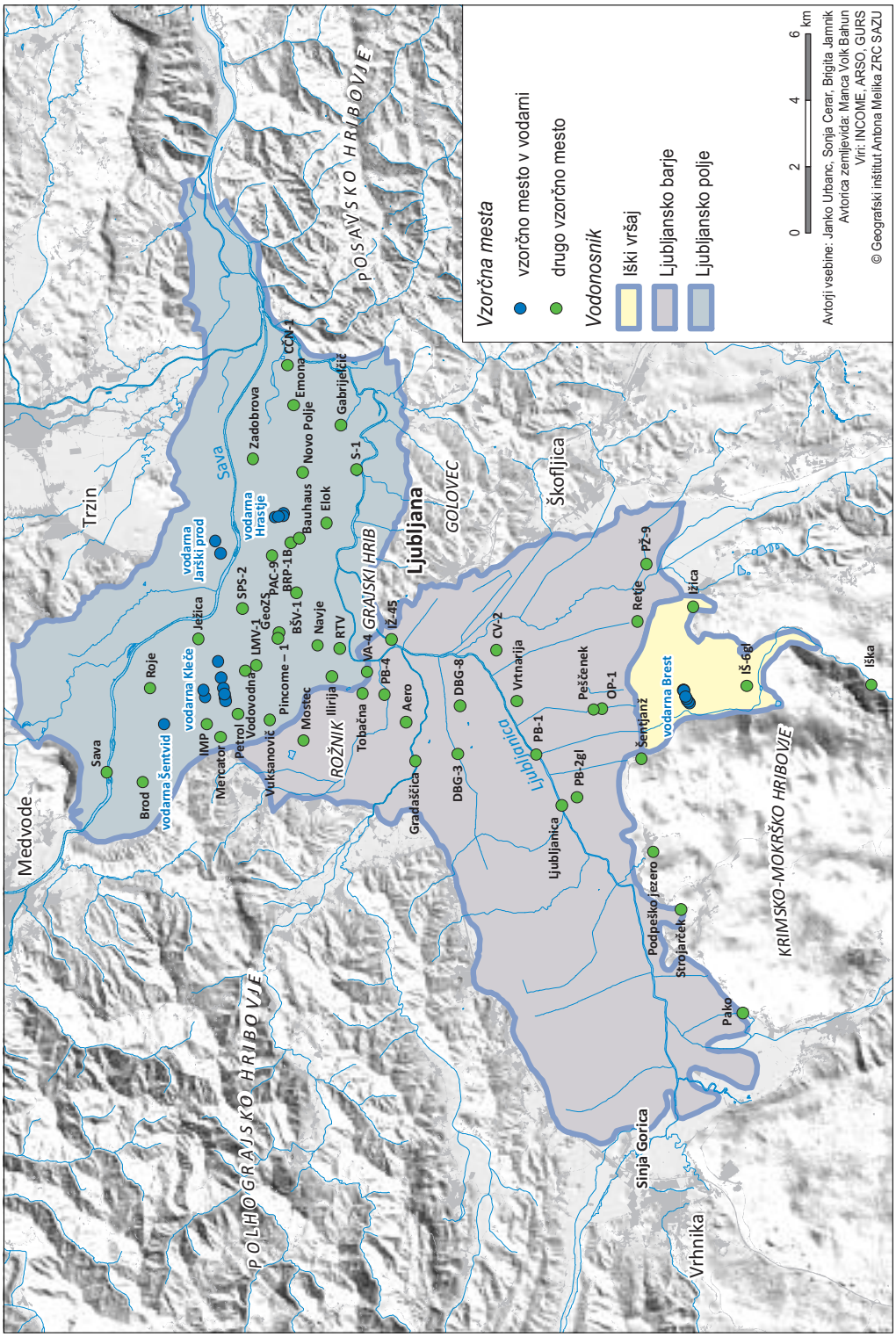
V nadaljevanju so prikazani najpomembnejši rezultati kemijskih in izotopskih analiz. Za posamezni kemijski oziroma izotopski parameter so podane povprečne vrednosti obeh vzorčenj. Za parametre Na^+, K^+ in NH_4^+ rezultatov ne podajamo, ker potrjujejo ugotovitve podrobneje obravnavanih parametrov.

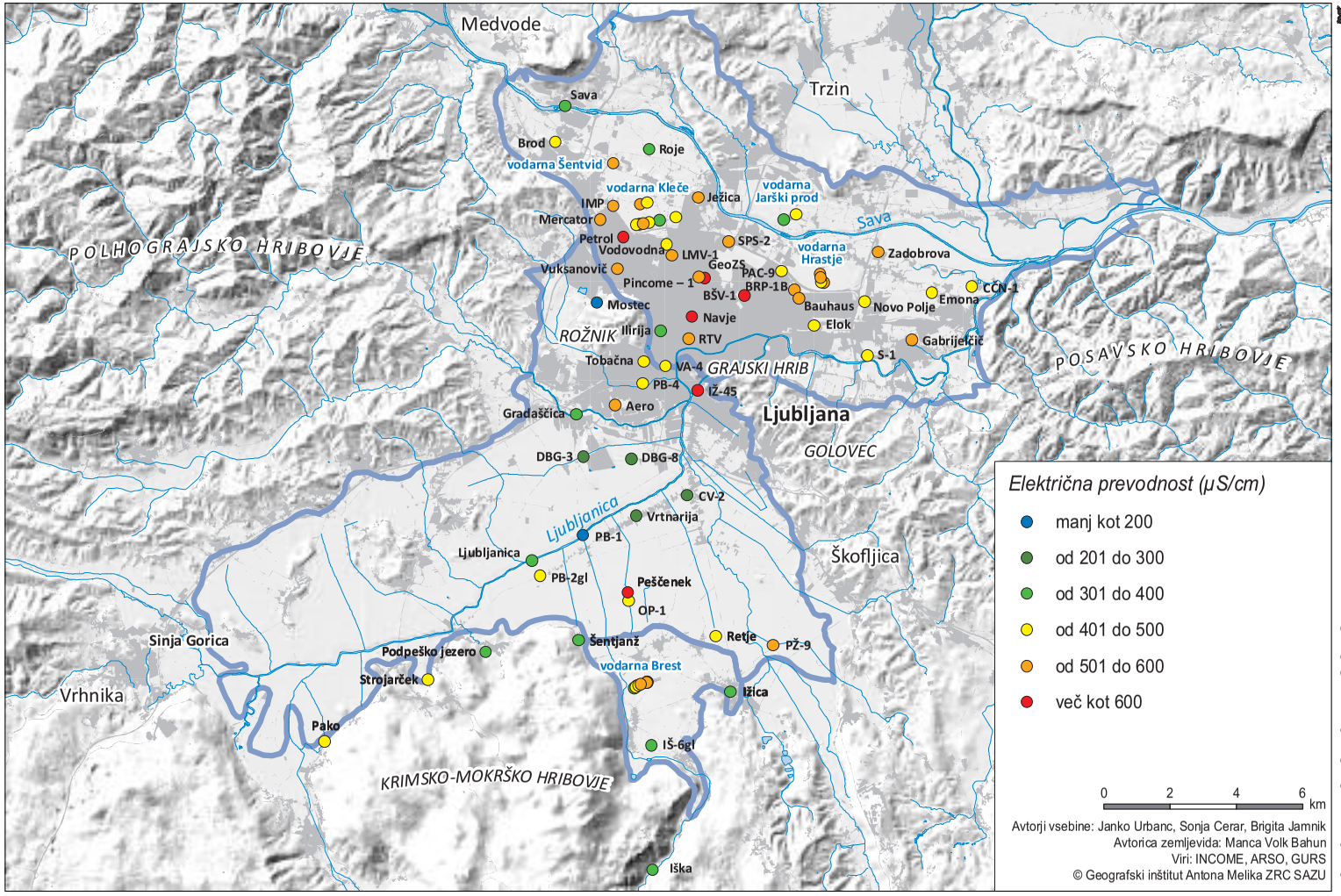
4.1.1 ELEKTRIČNA PREVODNOST PODZEMNE VODE

Električna prevodnost podzemne vode je pri neonesnaženih podzemnih vodah običajno v korelaciji s koncentracijo raztopljenih karbonatov v vodi oziroma karbonatno trdoto vode.

Reka Sava, ki s severozahodne strani napaja vodonosnik Ljubljanskega polja, ima električno prevodnost okrog 300 µS/cm. Nizke električne prevodnosti vode na opazovalnem mestu Roje ter v vodnjakih

Slika 14: Vzorčna mesta podzemne vode na Ljubljanskem polju in Ljubljanskem barju. ► str. 38
Slika 15: Rezultati meritev električne prevodnosti podzemne vode na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ► str. 39


Vzorčna mesta
vzorčno mesto v vodarni
drugo vzorčno mesto
Vodonosnik
Iški vršaj
Ljubljansko barje
Ljubljansko polje
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
POSAVSKO HRIBOVJE
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
Trzin
Medvode
Škofljica
Vrhnika
Ljubljana
GOLOVEC
GRAJSKI HRIB
ROŽNIK
Sava
Ljubljanica
vodarna Jarški prod
vodarna Hrastje
vodarna Kleče
vodarna Šentvid
vodarna Brest
Zadobrova
Emona
Gabrijelčič
Novo Polje
Bauhaus
Elok
S-1
CČN-1
SPS-2
PAC-9
BRP-1B
GeoZS
BŠV-1
Navje
RTV
IŽ-45
VA-4
PB-4
Ježica
Roje
LMV-1
Pincome – 1
Mostec
Ilirija
Tobačna
Aero
Vodovodna
Petrol
IMP
Mercator
Vuksanovič
Brod
Gradaščica
DBG-3
DBG-8
CV-2
Vrtnarija
PB-1
PB-2gl
Peščenek
OP-1
Šentjanž
Retje
PŽ-9
Ižica
IŠ-6gl
Iška
Ljubljanica
Podpeško jezero
Strojarček
Pako
Sinja Gorica


Medvode
Trzin
Sava
Brod
Roje
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
Ježica
vodarna Jarški prod
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
LMV-1
SPS-2
vodarna Hrastje
Zadobrova
GeoZS
PAC-9
Vuksanovič
Pincome – 1
BRP-1B
BŠV-1
CČN-1
Emona
Mostec
Bauhaus
Novo Polje
Navje
Elok
ROŽNIK
Ilirija
RTV
Gabrijelčič
Tobačna
VA-4
S-1
GRAJSKI HRIB
PB-4
IŽ-45
Aero
Gradaščica
Ljubljana
GOLOVEC
DBG-3
DBG-8
CV-2
Vrtnarija
Ljubljanica
PB-1
Ljubljanica
Škofljica
PB-2gl
Peščenek
OP-1
Sinja Gorica
Šentjanž
Retje
PŽ-9
Podpeško jezero
vodarna Brest
Strojarček
Vrhnika
Ižica
Pako
IŠ-6gl
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
Iška
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
POSAVSKO HRIBOVJE
Sava
Ljubljanica
Električna prevodnost (µS/cm)
manj kot 200
od 201 do 300
od 301 do 400
od 401 do 500
od 501 do 600
več kot 600
0
2
4
6
km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

VD Kleče-4, VD Kleče-8, VD Kleče-14 in VD Jarški prod-1 so zato posledica pomembnega deleža napajanja iz Save. Nižje vrednosti električne prevodnosti v osrednjem delu vodarne Kleče prav tako potrjujejo večji delež komponente napajanja iz Save.

Na večini ostalih opazovalnih mest vodonosnika Ljubljanskega polja se električna prevodnost podzemne vode giblje v razponu med 500 in 700 µS/cm. Povišane vrednosti beležimo predvsem v podzemni vodi pod izrazito urbaniziranimi deli mesta (Navje, BŠV-1).

Nekoliko nižjo električno prevodnost imajo vode iz opazovalnih mest v vzhodnem delu vodonosnika Ljubljanskega polja. Manjšo električno prevodnost, ki je posledica nižje mineralizacije podzemne vode, pripisujemo dvema dejavnikoma:

- vplivu napajanja z območja nekarbonatnih kamnin (karbonske in permske plasti) na južnem obrobju vodonosnika in
- vplivu infiltracije reke Ljubljanice, katere struga poteka preko vodonosnika.

V vodonosniku Ljubljanskega barja je tipična vrednost električne prevodnosti podzemne vode okrog 400 µS/cm. Višja električna prevodnost, okrog 600 µS/cm, je značilna za podzemno vodo Iškega in Želimeljskega vršaja, kjer električna prevodnost vode narašča v smeri proti severovzhodu (VD Brest-7, VD Brest-9, Peščenek, Pž-9). Povišane vrednosti električne prevodnosti smo zaznali tudi v severnem delu vodonosnika Ljubljanskega barja (Aero, IŽ-45).

Znižane vrednosti električne prevodnosti smo opazili predvsem v osrednjem delu vodonosnika Ljubljanskega barja, kjer vodonosnik zapira plast gline polžarice. V vrtinah PB-1, Vrtnarija, ČV-2, DBG-3 in DBG-8 se vrednosti električne prevodnosti gibljejo v razponu med 200 in 300 µS/cm. Izrazito nizko električno prevodnost ima tudi potok v Mostecu, kjer gre za površinsko vodo, katere zaledje je v karbonskih in permskih nekarbonatnih kamninah.

4.1.2 KONCENTRACIJE HIDROGENKARBONATA V PODZEMNI VODI

V vodonosniku Ljubljanskega polja se koncentracije hidrogenkarbonata (HCO_3^-) večinoma gibljejo v razponu med 200 in 400 mg/l. Porazdelitev koncentracij je zelo podobna porazdelitvam električne prevodnosti. Tako tudi na prikazu koncentracij hidrogenkarbonata lahko opazimo vpliv Save, ki ima koncentracijo HCO_3^- približno 200 mg/l. Na hidrokemijskem zemljevidu so vidne tudi nekoliko nižje koncentracije HCO_3^- v podzemni vodi vzhodnega dela vodonosnika Ljubljanskega polja.

V vodonosniku Ljubljanskega barja so povišane koncentracije HCO_3^- v severovzhodnem delu vodonosnika Iškega vršaja ter v njegovem severnem delu, nižje koncentracije HCO_3^- pa so pod plastmi gline v osrednjem delu vodonosnika.

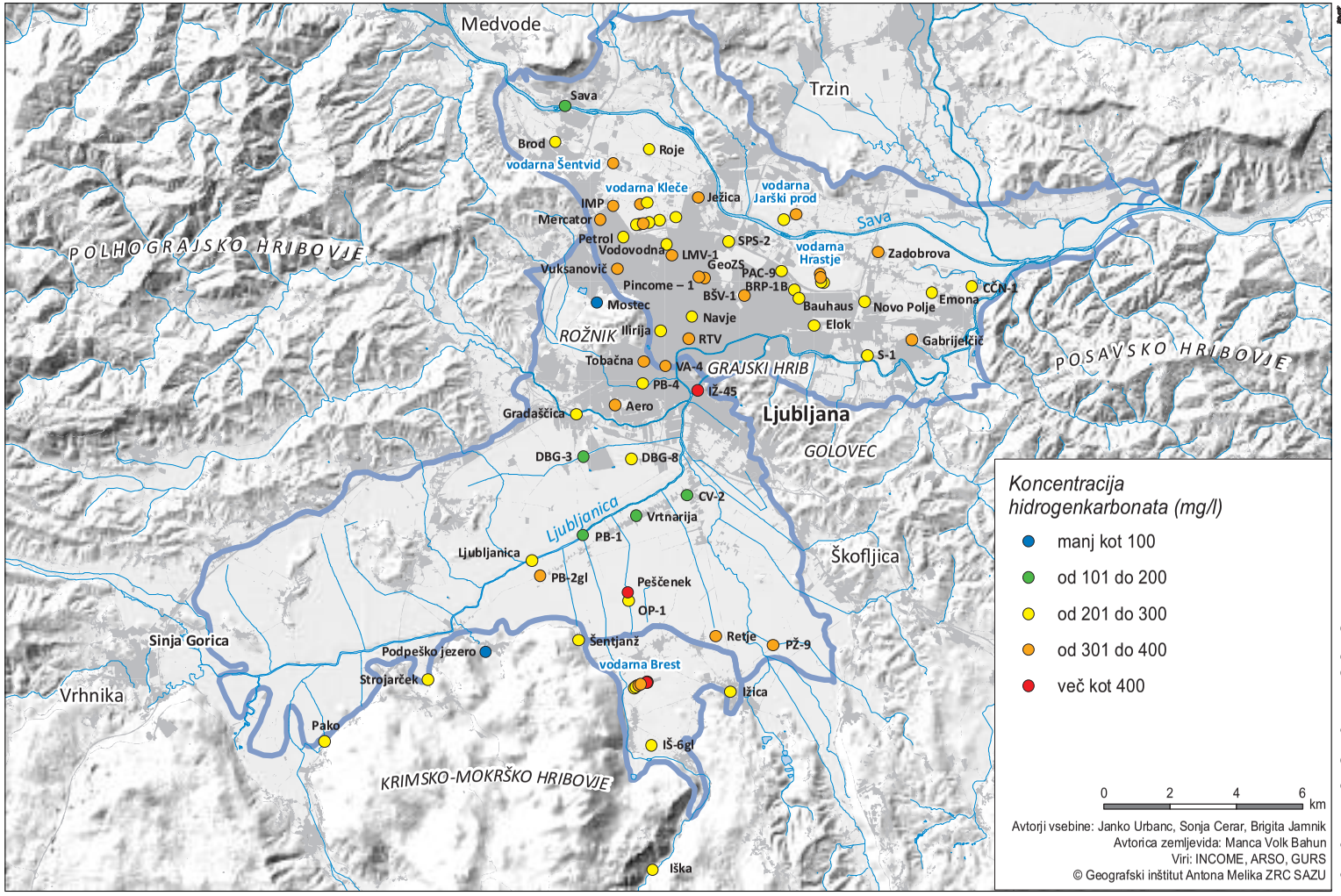
4.1.3 KALCIJ IN MAGNEZIJ V PODZEMNI VODI

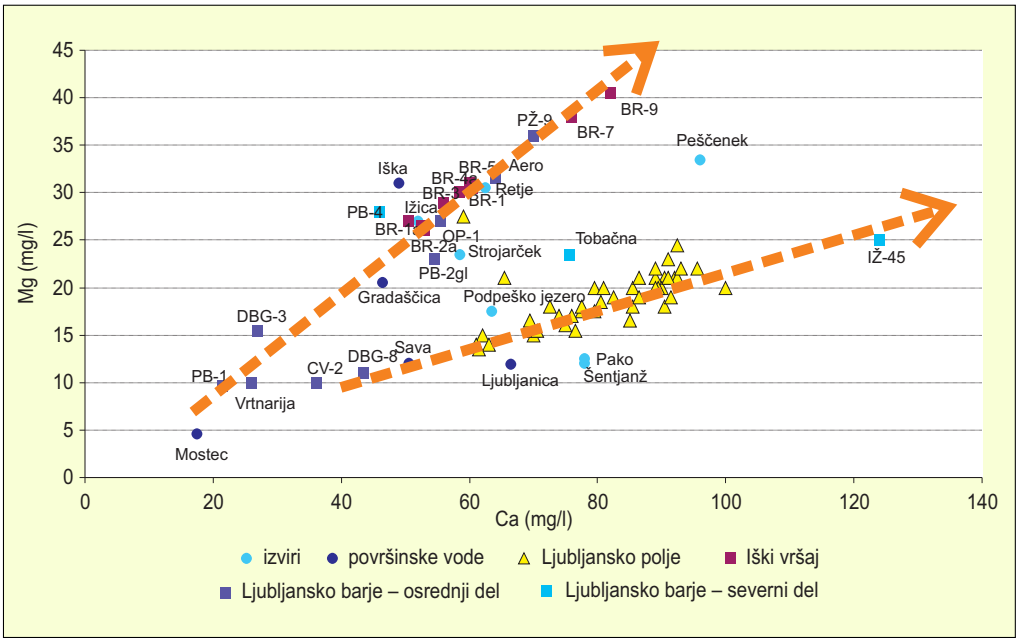
Na podlagi vsebnosti kalcija (Ca^{2+}) in magnezija (Mg^{2+}) v opazovanih podzemnih vodah razlikujemo vode, v zaledju katerih prevladujejo apnenci, in vode z dolomitnim zaledjem, ki imajo v vsoti obeh kationov relativno večji delež magnezija. Med tipične apnenčeve vode uvrščamo vodo iz vodonosnika Ljubljanskega polja, nekatere izvire na južnem obrobju Ljubljanskega barja (Pako, Šentjanž), pa tudi površinska vodotoka Ljubljanico in Savo.

Podzemno vodo Iškega vršaja uvrščamo med tipične dolomitne vode. Višja koncentracija kalcija in magnezija je opazna v vodnjakih VD Brest-7 in VD Brest-9, obeh v zgornjem delu Iškega vršaja, kjer je podzemna voda proti vzhodu zaradi vpliva infiltracije lokalnih padavin čedalje bolj mineralizirana.

Več kot koncentracija kalcija oziroma magnezija v podzemni vodi nam običajno pove molarno razmerje med obema kemijskima parametroma, ki neposredno odraža litološko sestavo zaledja. Če v padavinskem

Slika 16: Povprečne koncentracije hidrogenkarbonata v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ➤


Medvode
Trzin
Sava
Brod
Roje
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
Ježica
vodarna Jarški prod
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
LMV-1
SPS-2
vodarna Hrastje
Zadobrova
GeoZS
PAC-9
Vuksanovič
Pincome – 1
BRP-1B
BŠV-1
CČN-1
Emona
Mostec
Bauhaus
Novo Polje
Navje
Elok
Ilirija
RTV
Gabrijelčič
Tobačna
VA-4
S-1
PB-4
IŽ-45
Aero
Gradaščica
Ljubljana
DBG-3
DBG-8
GOLOVEC
CV-2
Vrtnarija
PB-1
Ljubljanica
Škofljica
PB-2gl
Peščenek
OP-1
Sinja Gorica
Šentjanž
Retje
PŽ-9
Podpeško jezero
vodarna Brest
Strojarček
Vrhnika
Ižica
Pako
IŠ-6gl
Iška
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
ROŽNIK
GRAJSKI HRIB
POSAVSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
Koncentracija hidrogenkarbonata (mg/l)
manj kot 100
od 101 do 200
od 201 do 300
od 301 do 400
več kot 400
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



Slika 17: Koncentracije kalcija ter magnezija v podzemni vodi. Zaradi preglednosti so na sliki prikazani vodnjaki vodarne Brest označeni samo z oznako »BR« in pripadajočo številko vodnjaka.

zaledju prevladuje dolomit, je molarno razmerje Ca/Mg okrog 1, če pa v zaledju prevladujejo apnenci, so vrednosti molarnega razmerja višje.

Na vodonosniku Ljubljanskega polja se večina vrednosti molarnega razmerja Ca/Mg giblje med 2,5 in 3, kar pomeni, da v zaledju opazovanih vod apnenci prevladujejo nad dolomitom. V tem pogledu sta izjemi opazovalni mesti VA-4 in RTV, obe v bližini Ljubljanskih vrat med Grajskim hribom in Rožnikom. Ljubljanska vrata so tudi meja med vodonosnikoma Ljubljanskega polja ter Ljubljanskega barja. Ker v drugem prevladujejo vode z večjim deležem magnezija, predvidevamo, da se v obeh opisanih mestih pojavlja podzemna voda iz Ljubljanskega barja. Takšno interpretacijo potrjujejo tudi indikatorji starosti vode, ki so opisani v podpoglavju 4.1.8 o vsebnosti tritija v podzemni vodi.

V vodonosniku Ljubljanskega barja gre večinoma za podzemne vode, katerih zaledje sestavljajo dolomiti, saj je glavnina razmerij Ca/Mg v razponu med 1 in 1,5. Višje molarno razmerje Ca/Mg je v vodah kraških izvirov na južnem obrobju Ljubljanskega barja ter v severnem delu vodonosnika, kjer očitno prihaja do vpliva lokalne infiltracije padavin na podzemno vodo. Z magnezijem bogate karbonatne kamnine ima v svojem zaledju tudi reka Gradaščica.

4.1.4 NITRATI V PODZEMNI VODI

Nitrati (NO_3^-) v podzemni vodi imajo običajno izvor bodisi v gnojenju kmetijskih zemljišč bodisi odpadni vodi z urbanih območij. Večina izmerjenih vrednosti nitratov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega polja se giblje v območju med 20 in 25 mg/l.

Nekoliko povišane koncentracije nitratov v vodonosniku Ljubljanskega polja so v Šiški oziroma Dravljah, kjer je horizont viseče podzemne vode, ki doteka v vodonosnik Ljubljanskega polja. Zaradi bližine površja in tankega vodonosnega sloja je viseča podzemna voda zelo ranljiva za onesnaženje.

Podobno kot pri parametrih mineralizacije vod tudi pri nitratih opažamo nižje koncentracije na območjih, kjer je večji vpliv infiltracije Save v vodonosnik. Reka ima zaradi svojega večinoma hribovitega zaledja nizko koncentracijo nitratov, kar se pozitivno odraža tudi na kakovosti podzemne vode v vodonosniku. Nizke koncentracije nitratov se pojavljajo tudi v osrednjem delu vodarne Kleče, kjer zaznavamo izrazit vpliv napajanja podzemne vode iz Save (Urbanc in Jamnik 1998). Na območjih, kjer je komponenta napajanja iz Save manj izrazita, so koncentracije nitratov v podzemni vodi višje zaradi vplivov kmetijstva ali/in odpadne vode.

Izrazito nizke koncentracije nitratov smo zaznali tudi na opazovalnih mestih v bližini Ljubljanskih vrat (RTV, VA-4, Ilirija). Pojasnjujemo jih s krajevnimi hidrogeološkimi razmerami. Na tem območju je namreč zaradi glinastih krovnih plasti vodonosnik zaprt, tako da v podzemni vodi zaradi redukcijskih razmer prihaja do denitrifikacijskih procesov.

Nižje koncentracije nitratov smo zaznali tudi v vzhodnem delu vodonosnika Ljubljanskega polja, kjer se značilne koncentracije gibljejo okrog vrednosti 10 mg/l. Kot je bilo navedeno že pri razlagi parametrov karbonatnega ravnotežja podzemne vode, bi bila lahko tudi v tem primeru razloga nižjih koncentracij nitratov razredčevanje z vodami iz hribovitega zaledja na južnem obrobju vodonosnika ali zatekanja reke Ljubljanice v vodonosnik.

Podatki opravljenih analiz kažejo, da je vsebnost nitratov v vodonosniku Ljubljanskega barja večinoma dokaj nizka. Večina koncentracij nitratov v vzorcih podzemnih vod je pod 5 mg/l. Krajevno nekoliko povišane vrednosti nitratov beležimo le na tistih območjih, kjer prihaja do neposrednih vplivov onesnaževal s površja, bodisi zaradi kmetijstva bodisi zaradi urbanih vplivov.

Še posebej nizke so koncentracije nitratov v osrednjem delu Ljubljanskega barja, kjer vodonosnik prekriva neprepustna glinasta plast (PŽ-9, ČV-2, DBG-3, DBG-8, PB-1, PB-2gl, Vrtnarija). Na teh opazovalnih mestih so tipične vrednosti koncentracije nitratov okrog 2 mg/l. Zaradi redukcijskega okolja tamkaj prihaja do denitrifikacije, ki izrazito zmanjšuje koncentracije nitratov v podzemni vodi.

4.1.5 KLORIDI V PODZEMNI VODI

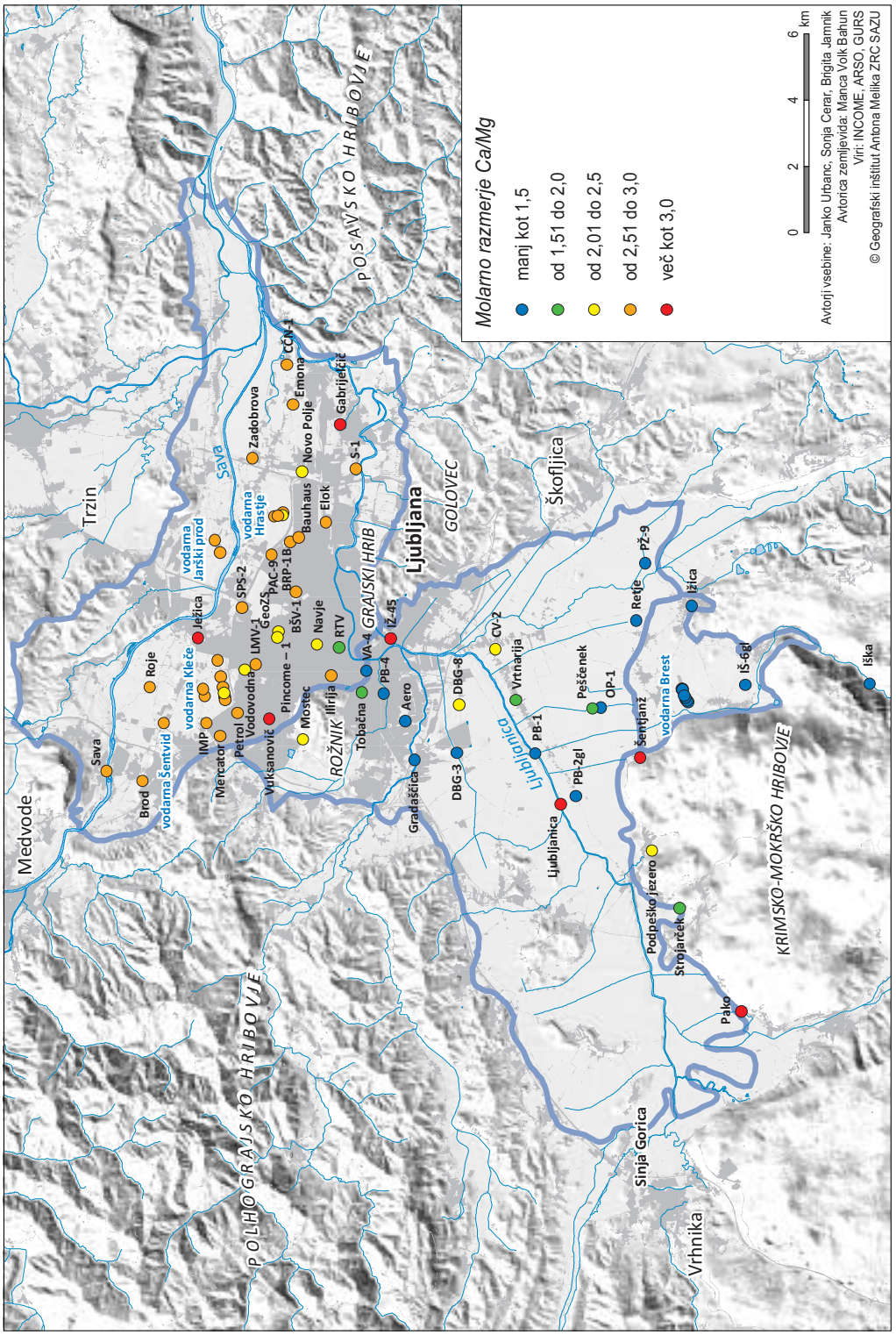
Kloridi (Cl^-) v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja imajo izvor v komunalni odpadni vodi ali pa se v okolju pojavljajo kot posledica uporabe soli pri zaščiti cestne infrastrukture pred zmrzaljo. Koncentracije kloridov vzdolž toka podzemne vode v vodonosniku Ljubljanskega polja postopoma naraščajo do najvišjih vrednosti okrog 40 mg/l.

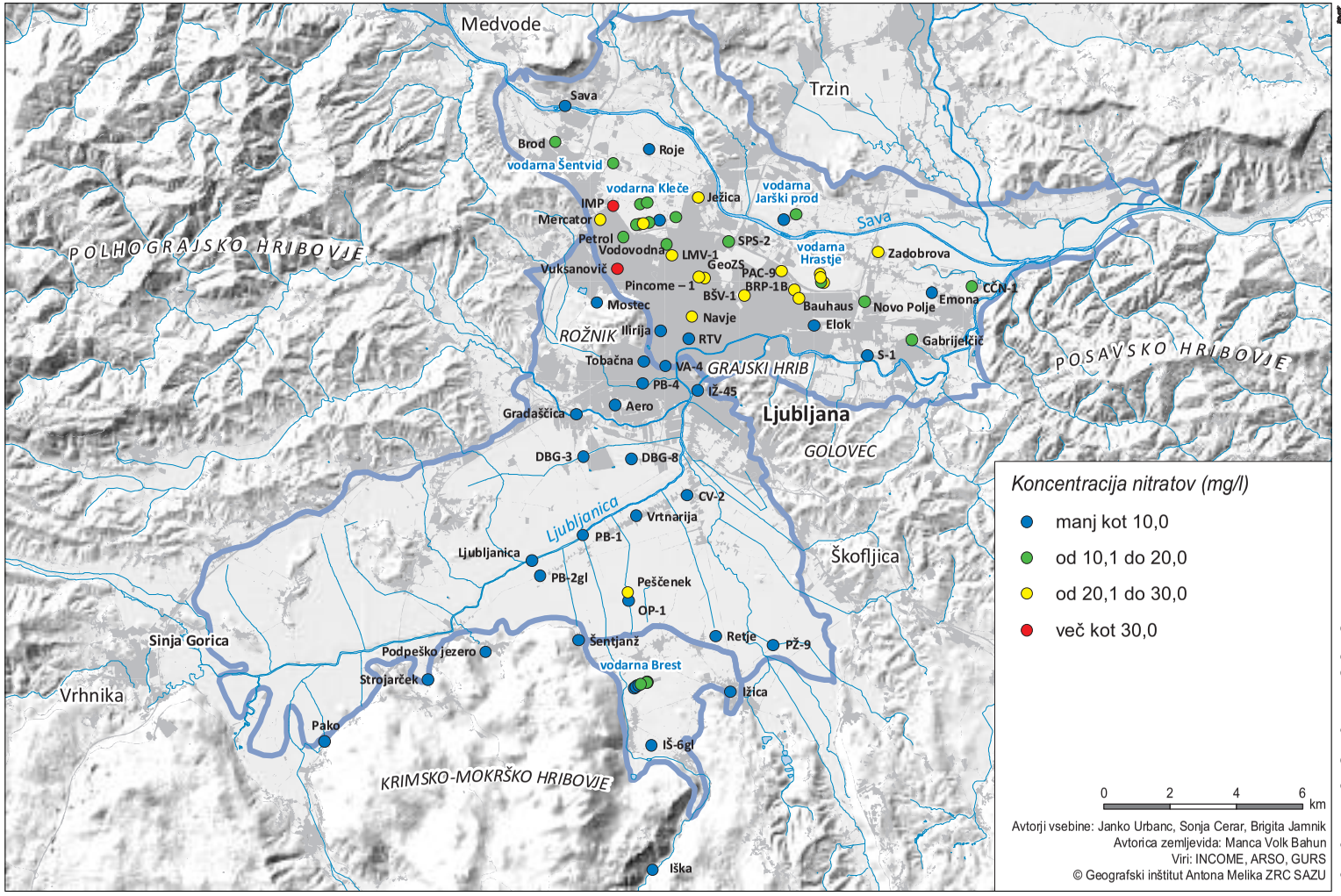
Na nekaterih mestih koncentracije kloridov narastejo tudi do več kot 60 mg/l. Ocenjujemo, da gre v teh primerih za točkovna onesnaženja, bodisi zaradi soljenja cest bodisi izrazitih vplivov odpadne vode. Na območju viseče podzemne vode v Šiški podobno kot pri nitratih tudi pri koncentracijah kloridov zaznavamo povišane vrednosti.

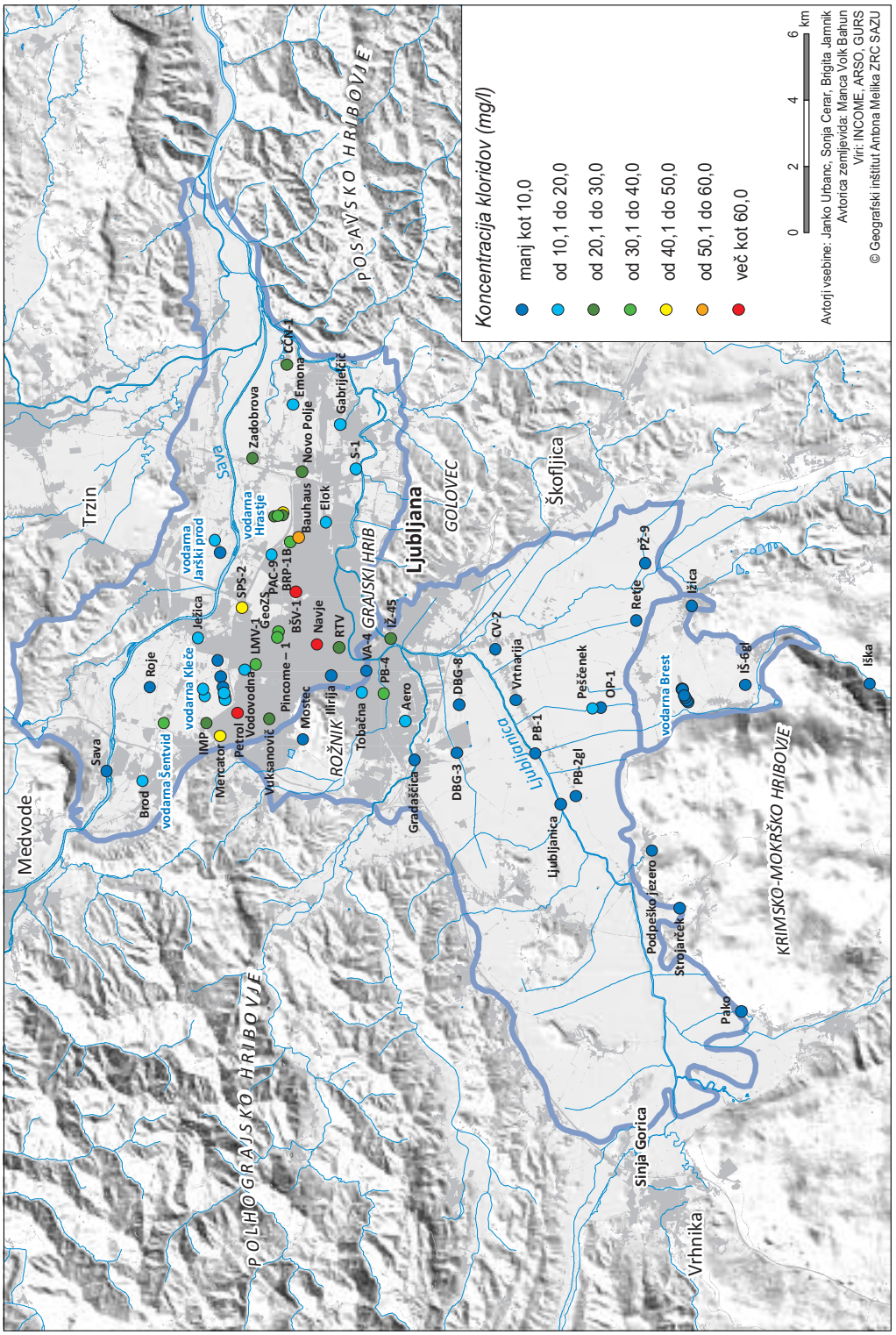
V vzhodnem delu vodonosnika Ljubljanskega polja so koncentracije kloridov spet nižje, značilne koncentracije se gibljejo okrog vrednosti 15 mg/l.

Koncentracije kloridov na območju vodonosnika Ljubljanskega barja so v večini primerov zelo nizke in ne dosegajo niti 5 mg/l. V tem pogledu so izjeme izvir Peščenek, prek katerega se prazni vodonosnik Iškega vršaja, ter opazovalna mesta na severnem območju vodonosnika, kjer se občasno soočamo z urbanimi vplivi na kakovost podzemne vode. V severnem delu vodonosnika koncentracije kloridov dosežejo tudi 35 mg/l (PB-4).

Slika 18: Molarno razmerje med kalcijem in magnezijem v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ► str. 44
Slika 19: Koncentracije nitratov v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ► str. 45
Slika 20: Koncentracije kloridov v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ► str. 46


Molarno razmerje Ca/Mg
manj kot 1,5
od 1,51 do 2,0
od 2,01 do 2,5
od 2,51 do 3,0
več kot 3,0
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
POSAVSKO HRIBOVJE
GRAJSKI HRIB
GOLOVEC
ROŽNIK
Ljubljana
Medvode
Trzin
Škofljica
Vrhnika
Sinja Gorica
Sava
Ljubljanica
Ljubljanica
Brod
Roje
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
Vrkšanovič
Pincome – 1
Mostec
Ilirija
Tobačna
Aero
Gradaščica
DBG-3
DBG-8
CV-2
Vrtnarija
PB-1
PB-2gl
Ljubljanica
Podpeško jezero
Strojarček
Pako
Senjanž
Peščenek
OP-1
vodarna Brest
Iš-6gl
Retje
PŽ-9
Iška
Iška
vodarna Jarški prod
Ježica
SPS-2
LMV-1
GeoZS
PAC-9
BRP-1B
BŠV-1
Navje
RTV
VA-4
PB-4
TŽ-4S
vodarna Hrastje
Zadobrova
Bauhaus
Elok
Novo Polje
Emona
ČOV-1
Gabrijelčič
S-1


Medvode
Trzin
Sava
Brod
Roje
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
Ježica
vodarna Jarški prod
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
LMV-1
GeoZS
SPS-2
vodarna Hrastje
Zadobrova
Vuksanovič
Pincome – 1
PAC-9
BRP-1B
BŠV-1
CČN-1
Emona
Mostec
Bauhaus
Novo Polje
Navje
Elok
Ilirija
RTV
Gabrijelčič
Tobačna
VA-4
S-1
PB-4
IŽ-45
Aero
Gradaščica
Ljubljana
DBG-3
DBG-8
GOLOVEC
CV-2
Vrtnarija
PB-1
Ljubljanica
Škofljica
PB-2gl
Peščenek
OP-1
Sinja Gorica
Šentjanž
Retje
PŽ-9
Podpeško jezero
vodarna Brest
Strojarček
Vrhnika
Ižica
Pako
IŠ-6gl
Iška
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
ROŽNIK
GRAJSKI HRIB
POSAVSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
Koncentracija nitratov (mg/l)
manj kot 10,0
od 10,1 do 20,0
od 20,1 do 30,0
več kot 30,0
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU


Koncentracija kloridov (mg/l)
manj kot 10,0
od 10,1 do 20,0
od 20,1 do 30,0
od 30,1 do 40,0
od 40,1 do 50,0
od 50,1 do 60,0
več kot 60,0
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
Medvode
Trzin
Ljubljana
Škofljica
Vrhnika
Sinja Gorica
GOLOVEC
ROŽNIK
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
GRAJSKI HRIB
POSAVSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
Sava
Ljubljanica
Sava
Brod
Roje
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
Ježica
vodarna Jarški prod
SPS-2
IMV-1
GeoZS
Pincome – 1
Mostec
Ilirija
Virkšanovič
Tobačna
Aero
Gradaščica
PAC-9
BRP-1B
BŠV-1
Navje
RTV
VA-4
PB-4
TŽ-4S
DBG-8
DBG-3
vodarna Hrastje
Bauhaus
Elok
Zadobrova
Novo Polje
Emona
ČOV-1
Gabrijelčič
S-1
CV-2
Vrtnarija
PB-1
PB-2gl
Ljubljanica
Pešenek
OP-1
Retje
PŽ-9
Iška
vodarna Brest
IŠ-6gl
Podpeško jezero
Strojarček
Pako

4.1.6 SULFATI V PODZEMNI VODI

Poleg možnega geogenega izvora so sulfati (SO_4^{2-}) v podzemni vodi lahko v mnogih primerih tudi indikator njenega antropogenega onesnaženja. Vzdolž toka podzemne vode v vodonosniku Ljubljanskega polja postopoma naraščajo tudi koncentracije sulfatov, tako da v njegovem osrednjem delu beležimo koncentracije med 20 in 25 mg/l.

Tipična koncentracija sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja se giblje okrog vrednosti 5 mg/l. Podobno kot pri nitratih in kloridih so povišane vrednosti na območjih, kjer na podzemno vodo vpliva intenzivna urbanizacija (Navje).

Zelo znižane koncentracij sulfatov (okrog 1,5 mg/l) se pojavljajo v osrednjem delu vodonosnika Ljubljanskega barja, kjer, podobno kot pri nitratih, zaradi pomanjkanja kisika poteka redukcija sulfatov v podzemni vodi.

4.1.7 IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA ($\delta^{18}O$) V PODZEMNI VODI

Izotopska sestava kisika ($\delta^{18}O$) v vodi v glavnem odraža nadmorsko višino terena, nad katerim je potekala kondenzacija padavin (višinski izotopski efekt), ter oddaljenost od oceana, ki je glavni vir atmosferske vlage (celinski izotopski efekt). V manjših povodjih je celinski izotopski efekt praktično zanemarljiv, tako da izotopsko sestavo kisika v vodi interpretiramo v prvi vrsti kot funkcijo nadmorske višine območja napajanja določene vodonosne strukture. Večinoma velja, da se zaradi višinskega izotopskega efekta padavin izotopska sestava na vsakih 100 m nadmorske višine spremeni za približno 0,3 ‰.

Po infiltraciji padavin se izotopska sestava kisika v vodi v nizkotemperaturnih vodonosnikih načeloma ne spreminja, razen zaradi mešanja z vodami z drugačno vrednostjo $\delta^{18}O$. Zaradi tega lahko izotop ^{18}O obravnavamo kot idealno sledilo.

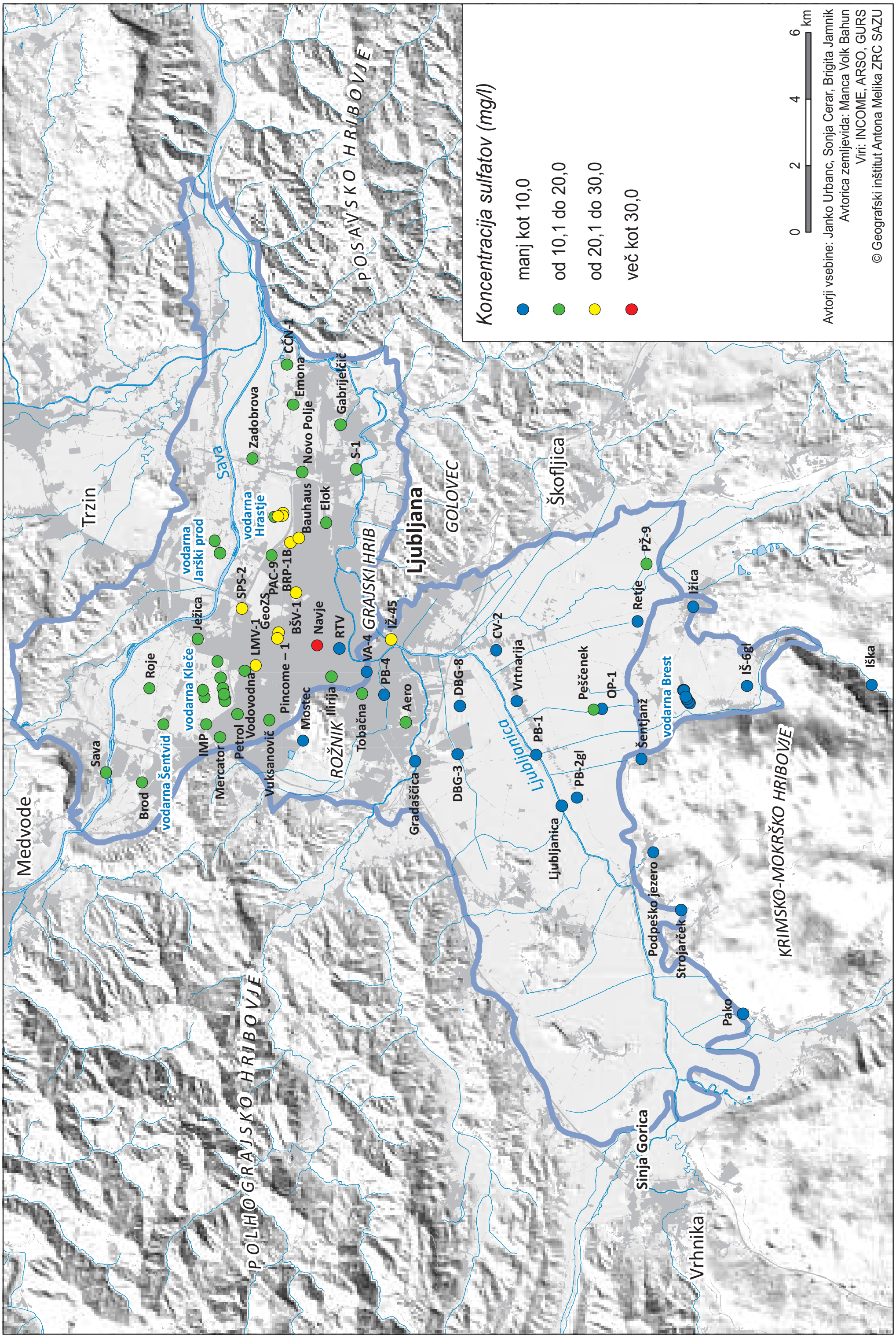
Večina izmerjenih vrednosti $\delta^{18}O$ v vodonosniku Ljubljanskega polja se giblje med –8,6 in –9,5 ‰. Zaradi svojega večinoma hribovitega oziroma gorskega padavinskega zaledja je Sava močno osiromašena s kisikovim izotopom ^{18}O. Izrazito osiromašenje z ^{18}O smo zaznali še na opazovalnih mestih Roje ter v vodnjakih v osrednjem delu vodarn Kleče in VD Jarški prod-1, kar kaže na prevlado komponente vode Save v podzemni vodi. V osrednjem delu vodonosnika s tokom podzemne vode narašča tudi zastopanost lokalnih padavin, zato se vrednosti $\delta^{18}O$ pomikajo k bolj pozitivnim vrednostim. Na zahodnem robu vodonosnika Ljubljanskega polja je zaradi svojega nižinskega napajalnega zaledja viseča podzemna voda na območju Dravelj obogatena s težjim kisikovim izotopom. Pozitivne vrednosti zaznavamo tudi v jugovzhodnem delu vodonosnika, kar pripisujemo krajevnemu padavinskemu zaledju.

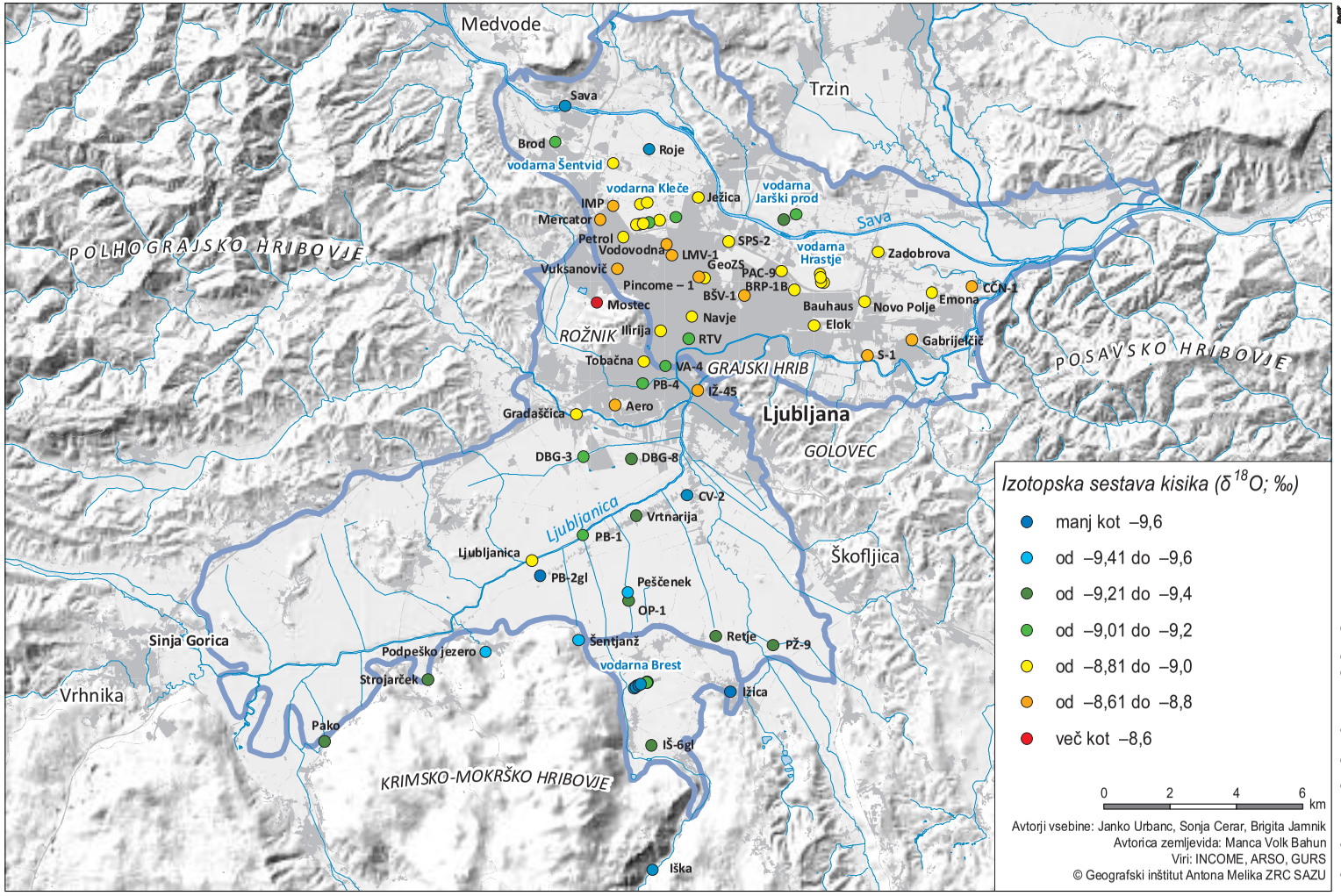
Glavno padavinsko zaledje vodonosnika Ljubljanskega barja je Krimsko-Mokrško hribovje, zato so zaradi višinskega izotopskega efekta tamkajšnje podzemne vode večinoma osiromašene z ^{18}O. Večina vrednosti $\delta^{18}O$ se giblje v intervalu med –9,2 in –9,6 ‰.

Glede na izotopsko sestavo kisika izstopata Ljubljanica in Gradaščica, katerih zaledje je zunaj obravnavanega območja in sta zaradi nižje povprečne nadmorske višine zaledja v primerjavi s Krimsko-Mokrškim hribovjem nekoliko obogateni z ^{18}O. Zaradi nižjega zaledja je izrazito obogaten z ^{18}O tudi potok v Mostecu.

Na vodonosniku Iškega vršaja so vodnjaki, ki so z naraščanjem oddaljenosti od Iške proti severovzhodu (VD Brest-7, VD Brest-9) čedalje bolj obogateni z ^{18}O. V tem primeru gre za vse večji vpliv krajevne padavinske infiltracije. Na tem območju so namreč zaradi reliefnih značilnosti padavine bolj obogatene z ^{18}O kot padavine s Krimsko-Mokrškega hribovja. Kot je bilo predstavljeno v predhodnih

Slika 21: Koncentracije sulfatov v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ➤ str. 48
Slika 22: Izotopska sestava kisika ($\delta^{18}O$) v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ➤ str. 49


Koncentracija sulfatov (mg/l)
manj kot 10,0
od 10,1 do 20,0
od 20,1 do 30,0
več kot 30,0
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
Ljubljana
Medvode
Trzin
Škofljica
Vrhnika
Sinja Gorica
Sava
Ljubljanica
GOLOVEC
ROŽNIK
GRAJSKI HRIB
POSAVSKO HRIBOVJE
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
vodarna Kleče
vodarna Jarški prod
vodarna Hrastje
vodarna Šentvid
vodarna Brest


Medvode
Trzin
Sava
Brod
Roje
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
Ježica
vodarna Jarški prod
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
LMV-1
SPS-2
vodarna Hrastje
Zadobrova
GeoZS
PAC-9
Vuksanovič
Pincome – 1
BRP-1B
BŠV-1
CČN-1
Emona
Mostec
Bauhaus
Novo Polje
Navje
Elok
ROŽNIK
Ilirija
RTV
Gabrijelčič
Tobačna
VA-4
S-1
GRAJSKI HRIB
PB-4
IŽ-45
Aero
Gradaščica
Ljubljana
GOLOVEC
DBG-3
DBG-8
CV-2
Vrtnarija
Ljubljanica
PB-1
Ljubljanica
Škofljica
PB-2gl
Peščenek
OP-1
Sinja Gorica
Šentjanz
Retje
PŽ-9
Podpeško jezero
vodarna Brest
Strojarček
Vrhnika
Ižica
Pako
IŠ-6gl
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
Iška
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
POSAVSKO HRIBOVJE
Izotopska sestava kisika (δ18O; ‰)
manj kot –9,6
od –9,41 do –9,6
od –9,21 do –9,4
od –9,01 do –9,2
od –8,81 do –9,0
od –8,61 do –8,8
več kot –8,6
0
2
4
6
km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

poglavjih, se lokalni vplivi padavinske infiltracije odražajo tudi v kemijski sestavi podzemne vode Iškega vršaja, predvsem v vsebnosti hidrogenkarbonata in nitratov (sliki 16 in 19).

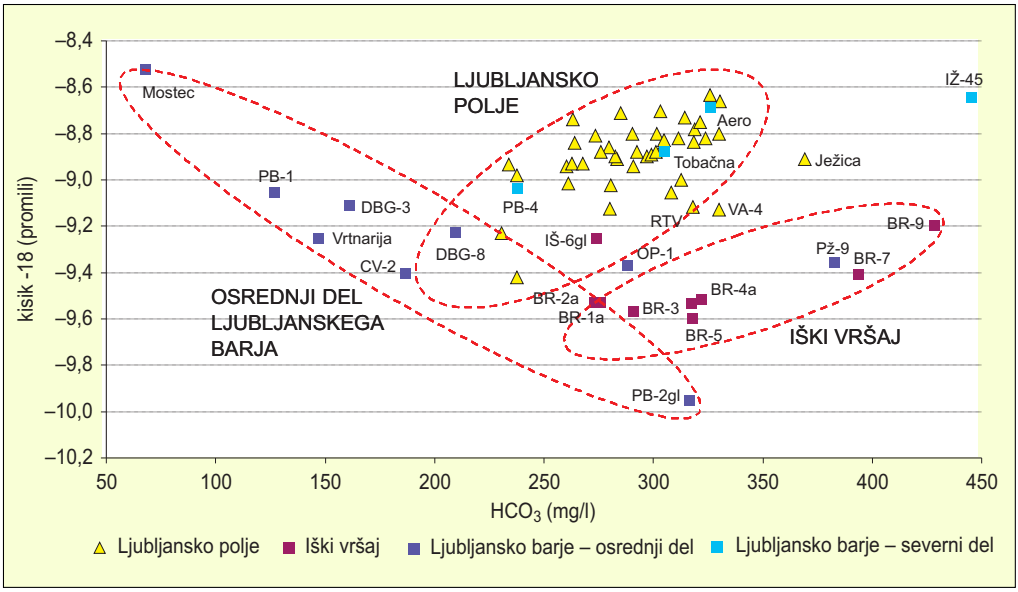
Proti severu vodonosnika Ljubljanskega barja je podzemna voda vse bolj obogatena z izotopom ^{18}O. Tudi v tem primeru gre za vpliv krajevne padavinske infiltracije na vodonosnik, ki je v tem delu dokaj odprt proti površju. Kljub temu lahko vpliv izotopsko osiromašenih padavin z ^{18}O sledimo vse do Ljubljanskih vrat oziroma meje Ljubljanskega polja.

Izotopska sestava devterija je v zelo dobri korelaciji z izotopsko sestavo kisika, zato je posebej ne obravnavamo.

S primerjavo med izotopsko sestavo kisika in koncentracijo hidrogenkarbonata v podzemni vodi lahko opazimo štiri izrazito ločene prostorske enote: podzemno vodo Ljubljanskega polja, podzemno vodo Iškega vršaja, podzemno vodo osrednjega dela Ljubljanskega barja pod neprepustnim glinastim pokrovom ter podzemno vodo severnega dela Ljubljanskega barja, ki sovpada z rezultati meritev na območju vodonosnika Ljubljanskega polja.

Podzemna voda Iškega vršaja ter podzemna voda severnega dela vodonosnika Ljubljanskega barja kažeta pozitivno korelacijo med $\delta^{18}O$ in vsebnostjo HCO_3^- v podzemni vodi. Podobno soodvisnost opažamo pri številnih podzemnih vodah v Sloveniji. Vzrok je v tem, da sta oba parametra v določeni meri odvisna od nadmorske višine zaledja vodonosnika. Izotopska sestava kisika v vodi je zaradi višinskega izotopskega efekta vse bolj osiromašena z izotopom ^{18}O v padavinah, medtem ko je vsebnost HCO_3^- manjša zaradi nižjega parcialnega tlaka CO_2 v prsti, kar je posledica hladnejših in plitvejših prsti v višjih legah.

Zaradi navedenih dejstev si izmerjene vrednosti lahko razlagamo na naslednji način: bolj negativne vrednosti $\delta^{18}O$ ob nižji koncentraciji HCO_3^- kažejo na vodo z višjim napajalnim zaledjem, medtem ko pozitivne vrednosti $\delta^{18}O$ ob višji koncentraciji HCO_3^- pomenijo nižje zaledje vodonosnika. Ker se v podzemnih vodah praviloma mešajo vode različnega izvora, se vrednosti na grafu odrazijo v obliki podolgovatega oblaka. Zato so na grafu levo spodaj vode iz višjih delov napajalnega zaledja (višji deli Krimsko-Mokrškega hribovja ali Polhograjskega hribovja), medtem ko vrednosti desno zgoraj večinoma nakazujejo krajevno nižinsko infiltracijo na vodonosniku.



Slika 23: Razmerje med izotopsko sestavo kisika ($\delta^{18}O$) ter koncentracijo hidrogenkarbonata (HCO_3^-) v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja.

Ob tem pa se poraja vprašanje, zakaj ima podzemna voda iz osrednjega dela Ljubljanskega barja ravno obratno smer poteka korelacijske premice rezultatov. Drugačne hidrokemijske značilnosti podzemne vode osrednjega dela vodonosnika Ljubljanskega barja so očitno posledica mešanja vod iz dveh različnih virov: napajanja s karbonatnega Krimsko-Mokrškega hribovja oziroma južnega dela Ljubljanskega barja ter napajanja z nekarbonatnega severnega obrobja vodonosnika Ljubljanskega barja, kjer prevladujejo kremenovi peščenjaki in skrilavi glinavci karbonsko-permske starosti.

V prid takšni razlagi govori tudi oblika oblaka vrednosti podzemnih vod iz osrednjega dela Ljubljanskega barja, ki je usmerjen proti rezultatom analiz vode iz potoka v Mostecu, katerega zaledje v celoti gradijo skrilavi glinavci in kremenovi peščenjaki iz karbona in perma. Opraviti imamo torej očitno s črto mešanja podzemnih vod, pri kateri so na eni strani dolomitne karbonatne vode južnega obrobja Ljubljanskega barja in na drugi nekarbonatne vode s severnega ter vzhodnega obrobja vodonosnika Ljubljanskega barja.

4.1.8 RADIOAKTIVNI IZOTOP TRITIJ V PODZEMNI VODI

Tritij (^3H) je radioaktivni izotop z razpolovno dobo 12 let. Vsebnost tritija v padavinah je trenutno okrog 8 tritijevih enot (*Tritium Units*, TU), tako da imajo mlade vode, ki niso starejše od 10 let, vsebnost tritija med 4 in 8 TU.

V splošnem velja, da je voda starejša, če je vsebnost tritija v njej nižja, kar je posledica radioaktivnega razpada, ki zmanjšuje število atomov tritija v vodi. V praksi opredeljujemo vode, v katerih je tritija manj kot 3 TU, kot »stare« vode; njihovo starost ocenjujemo na več kot 50 let. V šestdesetih letih 20. stoletja se je zaradi površinskih jedrskih poizkusov raven tritija v padavinah zelo povečala. Zaradi tega imajo vode, ki so stare med 10 in 50 let, še vedno povišano vsebnost »bombnega« tritija, ki lahko doseže 12 TU.

Večina vsebnosti tritija v vodonosniku Ljubljanskega polja se giblje v razponu med 5 in 7 TU kar pomeni, da jih lahko uvrstimo v kategorijo mladih vod s starostjo do 10 let. V kategorijo starih vod z zadrževalnim časom več kot 50 let, na območju vodonosnika Ljubljanskega polja uvrščamo podzemno vodo na opazovalnih mestih VA-4 in RTV. Zaradi počasnega toka vode v zaprti vodonosni strukturi je prišlo do izrazitega znižanja vsebnosti tritija zaradi radioaktivnega razpada. Takšni rezultati razkrivajo, da v tem delu vodonosnik ne »komunicira« dobro s površjem, saj bi bile v tem primeru vsebnosti tritija v podzemni vodi višje.

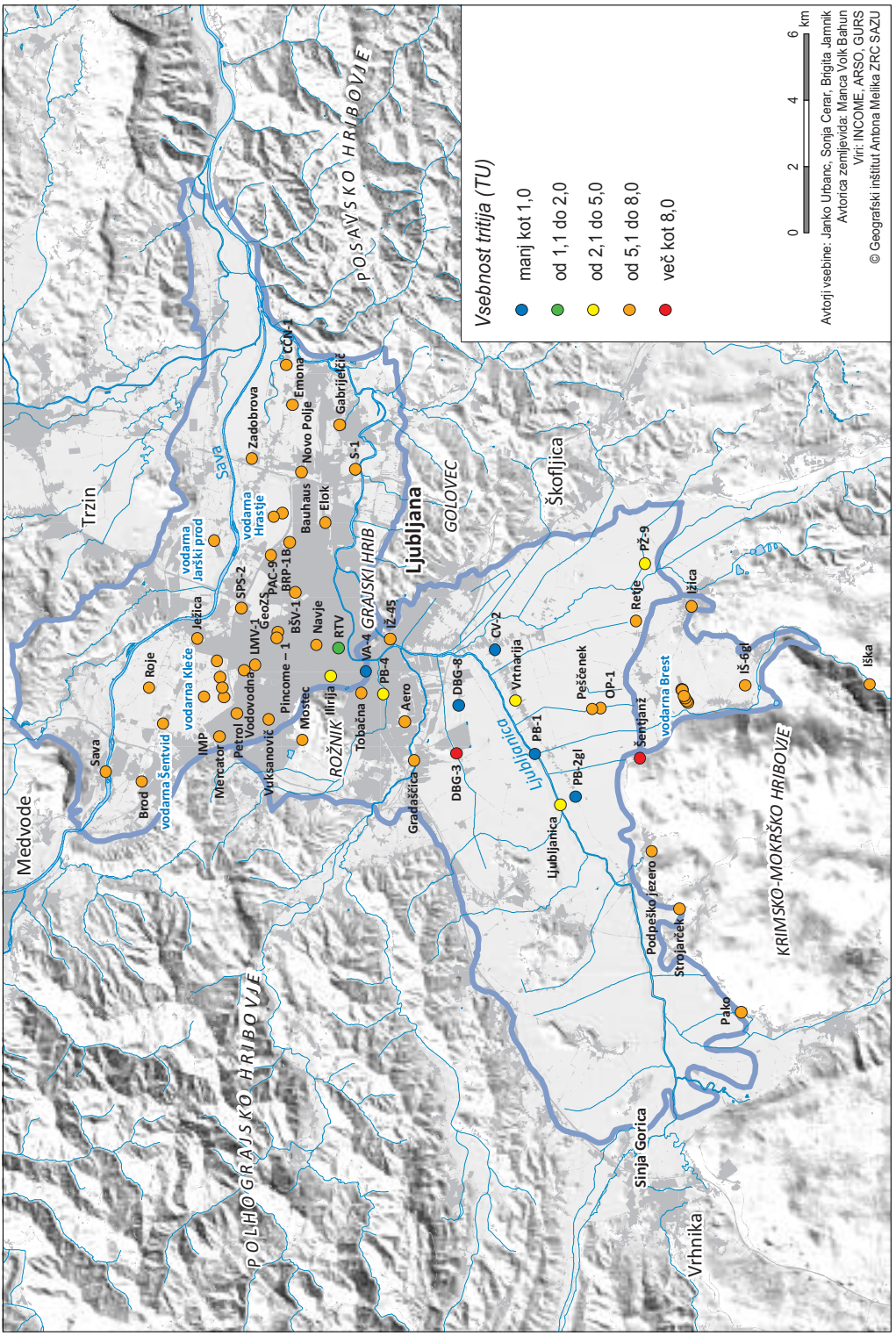
Tudi v večini podzemnih vod iz vodonosnika Ljubljanskega barja so bile izmerjene vsebnosti tritija med 4 in 8 TU, kar pomeni, da gre za mlade vode. Pri podzemnih vodah iz osrednjega dela vodonosnika Ljubljanskega barja (PB-1, Vrtnarija, ČV-2 in DBG-8) so vsebnosti tritija nizke in večinoma ne presegajo 2 TU. Skladno z rezultati modela popolnega mešanja pomenijo vsebnosti tritija pod 2 TU zadrževalni čas vode, večji od 50 let.

Na dveh opazovalnih mestih vodonosnika Ljubljanskega barja pa so vsebnosti tritija v vodi povišane: v vodnjaku VD Brest-1a so okrog 11 TU in v vrtini DBG-3 okrog 9 TU. Takšne vsebnosti tritija so celo višje od sedanjih povprečnih padavin, zato jih skladno z izotopskim modelom starosti podzemnih vod uvrščamo med srednje stare vode, katerih zadrževalni čas je od 10 do 50 let. V teh vodah se odražajo povišane aktivnosti zaradi tako imenovanega »bombnega« tritija, ki izhaja iz jedrskih poizkusov v šestdesetih letih 20. stoletja.

4.1.9 SKLEPI

Podzemna voda vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja je po svojih kemijskih in izotopskih značilnostih dokaj različna.

Slika 24: Vsebnost tritija v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. ► str. 52


Vsebnost tritija (TU)
manj kot 1,0
od 1,1 do 2,0
od 2,1 do 5,0
od 5,1 do 8,0
več kot 8,0
0 2 4 6 km
Avtorji vsebine: Janko Urbanc, Sonja Cerar, Brigita Jamnik
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
POSAVSKO HRIBOVJE
POLHOGRAJSKO HRIBOVJE
KRIMSKO-MOKRŠKO HRIBOVJE
GRAJSKI HRIB
GOLOVEC
ROŽNIK
Ljubljana
Trzin
Medvode
Škofljica
Vrhnika
Sinja Gorica
Sava
Ljubljanica
Brod
vodarna Šentvid
Roje
vodarna Kleče
IMP
Mercator
Petrol
Vodovodna
Vrkšanovič
Pincome – 1
Mostec
Ilirija
Tobačna
Aero
Gradaščica
Ježica
vodarna Jarški prod
SPS-2
LMV-1
GeoZS
PAC-9
BRP-1B
BŠV-1
Navje
RTV
VA-4
PB-4
TŽ-45
DBG-3
DBG-8
CV-2
Vrtnarija
PB-1
PB-2gl
Ljubljanica
Zadobrova
vodarna Hrastje
Bauhaus
Elok
Emona
TČK-1
Novo Polje
Gabrijelčič
S-1
Pešenek
OP-1
Šemljanž
vodarna Brest
Podpeško jezero
Strmjarček
Pako
Retje
PŽ-9
Iška
IŠ-6gl
Iška

Bistven dejavnik, ki opredeljuje kemijske značilnosti podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega polja, so naplavine reke Save, v katerih prevladuje apnenčev pesek in prod. Zaradi tega je v podzemni vodi več kalcija kot magnezija. Drug dejavnik kemijske sestave podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega polja pa je vpliv infiltracije Save. Njeno zaledje je v veliki meri gorato, zato vsebuje manj raztopljenih karbonatov in tudi onesnaževal iz kmetijstva in urbanih dejavnosti. Zaradi tega je v podzemni vodi z večjim delež komponente napajanja iz Save manjša koncentracija raztopljenih karbonatov, posledično pa tudi manj onesnaževal.

Na podlagi meritev izotopske sestave kisika v podzemni vodi Ljubljanskega polja lahko razlikujemo vode z večjim deležem napajanja Save in vode, ki se infiltrirajo na območju vodonosnika samem. Voda Save je namreč osiromašena s težjim kisikovim izotopom, medtem ko je lokalno infiltrirana voda z njim obogatena.

V vodonosniku Ljubljanskega polja se voda dokaj hitro obnavlja. Iz rezultatov analiz tritija v podzemni vodi smo ocenili, da gre v večini primerov za vode, mlajše od deset let.

Območje vodonosnika Ljubljanskega barja je po kemijski in izotopski sestavi podzemne vode mnogo bolj heterogeno. Na podlagi rezultatov analiz jasno razlikujemo tri skupine podzemnih vod.

V prvo skupino prištevamo podzemno vodo južnega dela Ljubljanskega barja, ki je pod prevladujočim vplivom dotokov s karbonatnega Krimsko-Mokrškega hribovja na jugu. Ker na tem območju prevladujejo dolomiti, ima tudi podzemna voda (gledano molarno) približno enak delež kalcija in magnezija. V tej vodi je tudi zelo malo onesnaževal, saj je zaledje v glavnem gozdnato in redko poseljeno.

Drugo kemijsko zvrst podzemne vode najdemo v osrednjem delu vodonosnika Ljubljanskega barja. Tu je vodonosnik prekrit z debelo plastjo gline polžarice, zato imamo opraviti z zaprtim vodonosnikom, v katerem primanjkuje kisika. Pomanjkanje kisika ustvarja samosvoje hidrokemijske razmere, v katerih postaneta mobilna tudi železo in mangan, ki sta običajno v slabo topnih kemijskih oblikah. V takšnih razmerah prav tako prihaja do denitrifikacije nitratov v podzemni vodi. Na podlagi opravljenih raziskav smo ugotovili, da v osrednji del vodonosnika doteka tako voda z območja Krimsko-Mokrškega hribovja kot tudi voda s skrilavih glinavcev in kremenovih peščenjakov karbonsko-permske starosti, ki gradijo severno obrobje vodonosnika. Zaradi tega je v osrednjem delu vodonosnika voda manj mineralizirana.

Zaradi pestre reliefne sestave zaledij posameznih vod imamo v podzemni vodi na območju vodonosnika Ljubljanskega barja tudi zelo heterogeno izotopsko sestavo kisika. Podzemne vode, ki izhajajo z območja Krima, so bolj osiromašene s težjim kisikovim izotopom, medtem ko so krajevno infiltrirane vode na Iškem vršaju in v severnem delu vodonosnika Ljubljanskega barja z njim obogatene.

Za vodo iz osrednjega dela vodonosnika Ljubljanskega barja so značilne tudi nizke vsebnosti tritija, kar kaže, da gre za podzemno vodo z daljšim zadrževalnim časom. Iz podatkov o vsebnosti tritija ocenjujemo, da je voda v osrednjem delu stara najmanj 50 let, saj ne vsebuje tritija iz obdobja intenzivnih jedrskih poizkusov v šestdesetih letih 20. stoletja.

V severnem delu Ljubljanskega barja pa se vodonosnik spet bolj odpre proti površju. Večje vsebnosti tritija dokazujejo prisotnost mlajše vode, ki se infiltrira v vodonosnik. Tako smo na temelju kemijskih značilnosti prvič zaznali tudi vpliv vode iz vodonosnika Ljubljanskega barja, ki se prek Ljubljanskih vrat preliva v vodonosnik Ljubljanskega polja.

5 PRSTNI ODTISI ONESNAŽEVAL Z UPORABO STABILNIH IZOTOPOV IN VEČNIVOJSKIM VZORČENJEM S PASIVNIMI VZORČEVALNIKI

V industrializiranih državah so med najpogosteje odkritimi onesnaževali podzemne vode lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki (LHCH), kot so trikloroeten (TCE) in tetrakloroeten (PCE), ki se najpogosteje uporabljata v kemičnih čistilnicah in procesih razmaščevanja kovin, ter ogljikovodiki na osnovi nafte kot sestavine goriv (benzen, etilbenzen, toluen, izomeri ksilena – BTEX) (Plump 1987). Sledovi teh spojin so tudi v virih podzemne vode, iz katerih se s pitno vodo oskrbujejo Ljubljančani. Kratkotrajne visoke koncentracije onesnaževal se pojavljajo občasno in naključno, izvori onesnaženja pa so neznani. Zaradi visokih hitrosti toka podzemne vode od 20 do 30 m/dan (Janža s sodelavci 2005) se njihove koncentracije razmeroma hitro, praviloma v roku nekaj tednov, znižajo v območje pod mejo določljivosti analitskih metod.

Pri tovrstnih onesnaženjih so najvišje koncentracije ali občasno pojavljanje onesnaževala pogosto spregledani, kajti med rednimi vzorčenji podzemne vode so največkrat nekajmesečni časovni razponi. Zato smo uporabili pasivne vzorčevalnike, ki jih lahko v opazovalne vrtine namestimo za daljše, večmesečno obdobje in omogočajo izračun povprečne koncentracije onesnaževala v tem času. Za razliko od klasične ocene koncentracij predlagana metoda temelji na oceni mase onesnaževal. Z analizo adsorbirane mase onesnaževala v pasivnem vzorčevalniku lahko ugotovimo pojav onesnaženja na določenem mestu tudi potem, ko so se tam koncentracije že znižale. Z analizo izotopskih značilnosti onesnaževal (določitev izotopskega podpisa onesnaževal) v več pasivnih vzorčevalnikih lahko dodatno ugotovimo pot potovanja oblaka onesnaženja.

Pristop temelji na predpostavki, da se molekularne izotopske lastnosti (izotopski podpisi) onesnaževal razlikujejo in so odvisne od dobavitelja ali procesa izdelave, zato jih lahko uporabljamo kot sledila za ugotovitev njihovega izvora. Služijo kot idealno orodje v »okoljski forenziki« (Schmidt s sodelavci 2004; Blessing s sodelavci 2009). Pojav izotopske frakcionacije med abiotskim in biotskim razpadom organskih onesnaževal omogoča tudi kvantifikacijo procesa razpada (Sherwood Lollar s sodelavci 1999; Barth s sodelavci 2002).

Glavne omejitve uporabnosti konvencionalnih metod izhajajo iz naslednjih dejstev:

- koncentracije onesnaževala v podzemni vodi so lahko prenizke za izvedbo zanesljivih izotopskih meritev,
- določitev izotopske sestave zgolj enega elementa onesnaževala (to je $^{12}C/^{13}C$) pogosto vodi do dvoumnih rezultatov in
- prostorske (vodoravne in navpične) ločljivosti oblaka onesnaženja ni mogoče doseči s konvencionalnimi metodami vzorčenja, katerih rezultat so povprečne koncentracije in izotopske vrednosti.

Te omejitve lahko presežemo:

- z vgraditvijo pasivnih vzorčevalnikov za obdobje nekaj mesecev, s čimer je dana možnost akumuliranja primerne mase onesnaževala,
- s hkratno analizo izotopov ogljika in klora, kjer pri sledenju uporabimo novo razvito metodo in
- z namestitvijo pasivnih vzorčevalnikov na različnih globinah vrtine ter s tem natančno oceno koncentracije in izotopske sestave onesnaževala v navpični smeri.

Pasivno vzorčenje je uporabno tudi v primeru, ko je koncentracija onesnaževal v podzemni vodi nizka. Pasivne vzorčevalnike smo namestili v vrtinah na območju Ljubljanskega polja in analizirali koncentracije lahkohlapnih halogeniranih ogljikovodikov v podzemni vodi in njihovo izotopsko sestavo.

5.1 OZADJE METODE

Metoda pasivnega vzorčenja temelji na sprejemanju onesnaževala v ustrezni vzorčevalni napravi brez aktivnega posega (črpanja). Vzorčevalne naprave so najpogosteje sestavljene iz cevaste membrane, ki vsebujejo primerne adsorbente. Glavna prednost takšnega pristopa je, da omogoča vzorčenje v daljšem časovnem obdobju. Ob predpostavki, da je adsorpcijska kapaciteta uporabljenega polnila

dovolj visoka, se ohrani razlika v koncentracijah onesnaževala v vodi in adsorbentu. Po odstranitvi naprave iz podzemne vode lahko z analizo sprejete mase onesnaževala na adsorbentu izračunamo povprečno koncentracijo določenih spojin v podzemni vodi. Ob tem lahko določimo izotopsko sestavo onesnaževala. To je pogosto uporabljeno za izotope ogljika, ki ima dva stabilna izotopa (^{12}C in ^{13}C), katerih deleža v naravi sta v razmerju 99 % proti 1 %. Razmerje teh izotopov v molekulah, kot sta PCE ali TCE, izražamo v promilih (‰) z uporabo grške črke delta ($\delta^{13}C$). Razmerje izotopov je normalizirano na mednarodni standard (*Pee Dee Belemnit*), pri katerem je po definiciji vrednost $\delta^{13}C$ enaka 0 ‰. Pozitivne vrednosti $\delta^{13}C$ nakazujejo, da je vzorec težji kot standard (relativno večji delež ^{13}C), negativne vrednosti $\delta^{13}C$ pa, da je lažji (medmrežje 10). Tehnika določitve vrednosti $\delta^{13}C$ (*Gas Chromatography – Isotope Ratio Mass Spectrometry*, GC-IRMS) je v številnih laboratorijih rutinski postopek, ki zagotavlja tipično merilno negotovost < 0,5 ‰.

Za določitev lastnosti klorovih spojin bi načeloma lahko uporabili tudi izotope klora. Vendar se v praksi analiza izotopov klora le redko uporablja, čeprav so na razpolago določene metode. Klor ima številne izotope, med katerimi se naravno pojavljata le dva stabilna: ^{35}Cl in ^{37}Cl, ki sta v naravi v razmerju približno 76 % proti 24 %. Za razliko od izotopov ogljika analiza izotopov klora ni možna s klasičnimi metodami brez zahtevne predhodne obdelave, s katero spremenimo klorove spojine v molekule, ki vsebujejo le en atom klora, na primer metil klorid (CH_3Cl) ali cezijev klorid (CsCl). Po pretvorbi v metil klorid lahko razmerje med izotopi klora določimo z uporabo masnega spektrometra za merjenje razmerja izotopov z dvojnim dovodom (*Dual-inlet Isotope Ratio Mass Spectrometry*, DI-IRMS) (Sturchio s sodelavci 1998). V primeru pretvorbe v cezijev klorid se za določitev razmerja med stabilnima izotopoma klora uporablja masna spektrometrija s termično ionizacijo (Holmstrand, Andersson in Gustafsson 2004).

Razmerja stabilnih izotopov klora nato določimo s primerjavo intenzitete pikov signalov dveh molekularnih ionov: prvega, ki vsebuje težki izotop klora (^{37}Cl), in drugega, ki vsebuje njegov lažji izotop (^{35}Cl). Razmerje izotopov klora v vzorcu primerjamo z razmerjem referenčnega standarda srednjega oceanskega klorida (*Standard Mean Ocean Chloride*, SMOC). Če vzorec vsebuje več kloridnih spojin, je pred nadaljnjo obdelavo nujna njihova ločitev. Zahtevni postopki priprave vzorca so pomembna omejitev običajnih metod določitve klorovih izotopov, čeprav je z njimi možna zelo natančna izotopska analiza.

Razmerje izotopov klora v klorovih spojinah načeloma lahko določimo tudi s konvencionalno (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*, GC/MS) metodo, z analizo intenzitet pikov izbranih molekulskih in fragmentnih ionov kloridnih spojin brez kemične pretvorbe v CH_3Cl ali CsCl. Podrobneje so metodo opisali Sakaguchi-Söder in sodelavci (2007).

5.2 MATERIALI IN METODE

Primerna membrana za pasivno vzorčevalno napravo mora omogočati visok difuzivni pretok in s tem zmožnost sprejema čim večje mase onesnaževal v vzorčevalniku. V obravnavanem primeru je to še posebej pomembno, ker so v večini opazovalnih vrtin na območju vodonosnika Ljubljanskega polja ugotovljene koncentracije LHCH v podzemni vodi nizke. Namesto uporabe keramičnih cevk, ki so jih priporočali Martin in sodelavci (2003) in imajo zaradi majhnih por (5 nm) omejen pretok in zmožnost sprejema onesnaževala, smo uporabili silikonske cevke. Ugotovljena hitrost difuzije skozi silikonsko membrano je v primerjavi s keramično membrano bistveno višja.

Primerni adsorbent v silikonskih cevkah bi moral imeti zmožnost hitrega sprejema LHCH, ohranjanja razlike v njihovih koncentracijah v podzemni vodi in adsorbentu ter visoko adsorpcijsko kapaciteto, ki omogoča daljša obdobja vzorčenja. V splošnem so najprimernejši za to adsorbenti na osnovi ogljika in smole ionskih izmenjevalcev. V pasivnih vzorčevalnih napravah smo za to študijo uporabili *Amberlite IRA*, ker smo s predhodnimi preizkusi dokazali, da omogočajo enostavno desorbcijo onesnaževala in pridobitev njegovega velikega deleža.

5.3 REZULTATI LABORATORIJSKIH POSKUSOV

Pred namestitvijo pasivnih vzorčevalnikov, sestavljenih iz silikonskih cevk in Amberlite IRA polnila, smo z laboratorijskimi poskusi analizirali sprejem LHCH v času in razmerah, kakršne smo pričakovali v vrtinah. Pasivne vzorčevalnike smo namestili v vodo s koncentracijo PCE 10 µg/l in v kratkih časovnih intervalih posamezno odvzemali vzorčevalnike ter na podlagi ekstrakta smole ionskih izmenjevalcev določili maso sprejetega PCE. Ekstrakte smo analizirali z GC-MS metodo.

Že po enem dnevu stika vzorčevalnika z onesnaženo vodo so bile v območju pika vrednosti za maso 165, značilno za PCE, reda velikosti milijon. Ugotovili smo linearno naraščanje sprejete mase s časom.

Za zanesljivo meritev izotopov klora je za območje pika za maso 165 nujna vrednost vsaj 5.000.000. Teoretično je tako v podzemni vodi s koncentracijo PCE manj kot 1 µg/l čas vzorčenja za izvedbo zanesljive ocene izotopske sestave klora okrog tri mesece. Za izotope ogljika morajo biti vrednosti pikov najmanj desetkrat višje.

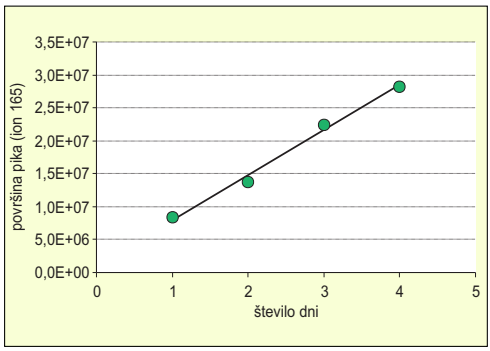
5.4 REZULTATI VZORČENJA NA TERENU

Pasivne vzorčevalnike za večnivojsko vzorčenje v opazovalnih vrtinah smo namestili tako, da smo jih v predhodno določenih razdaljah pritrdili na tanko nosilno vrv, ki smo jo na koncu obtežili z okrog 150 g težko jekleno utežjo. Vrvico smo pritrdili na ustje vrtine in vzorčevalnike spustili na globine filtrskih odsekov opazovalnih vrtin. Odvzeli smo jih šele po najmanj dveh mesecih, kar naj bi omogočilo sprejem zadostne mase onesnaževala, potrebne za določitev izotopske sestave klora.

Izvedli smo nekaj vzorčenj. Odvzete vzorčevalnike smo poslali v laboratorij Tehnične univerze v Darmstadtu, kamor smo jih dostavili v steklenih vialah, napolnjenih z destilirano in deionizirano vodo ter zaprte z navojnim pokrovčkom z gumijasto septo, obloženo s teflonom. Do analiz smo vzorce hranili v hladilniku.

Analizirali smo rezultate pasivnih vzorčevalnikov, ki smo jih za približno tri mesece namestili v opazovalnih vrtinah Obrije in BRP (1a, 1b, 1c – različni globinski odseki).

V opazovalno vrtino Obrije smo skupno 17 vzorčevalnikov namestili v globinah med 15 in 66 m. PCE smo odkrili v vseh vzorcih, največjo maso PCE pa na vzorčevalnikih v globini med 15 in 22 m. Vsebnosti TCE v podzemni vodi nismo odkrili. Sestavo izotopov klora iz PCE smo lahko določili v petnajstih vzorcih, vendar niso pokazali značilne razlike vzdolž vzorčenega stolpca. To nakazuje, da ima onesnaženje lahko en sam izvor, vendar smo ugotovili, da je razširjeno v razmeroma velikem globinskem odseku vodonosnika. Odsotnost pomembnih degradacijskih procesov, ki bi povzročili izotopsko frakcionacijo, dodatno nakazuje precej stalno izotopsko razmerje PCE (–0,5 ‰ do ± 1,0 ‰). Izstopajoča vrednost na globini 55 m kaže rahlo nižje izotopsko razmerje, kar je lahko posledica majhne mase vzorca, ki je na

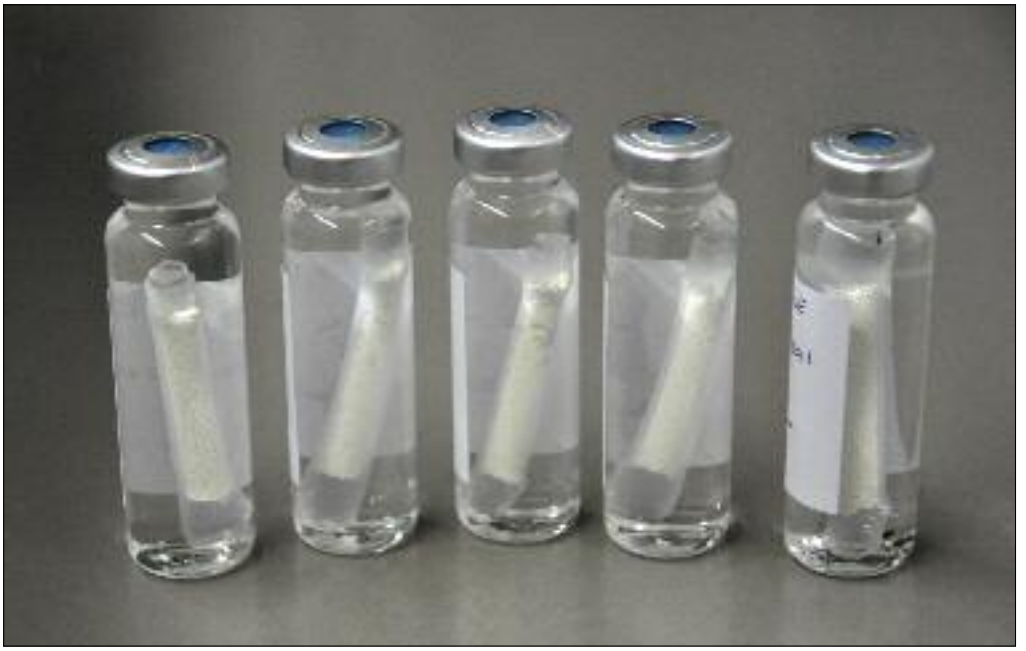


MATTHIAS PIEPENBRINK

Slika 25: Fotografija pasivnega vzorčevalnika s silikonsko cevko (levo) in grafikon sprejema PCE s pasivnim vzorčevalnikom v vodi s koncentracijo 10 µg/l v odvisnosti od časa (desno).

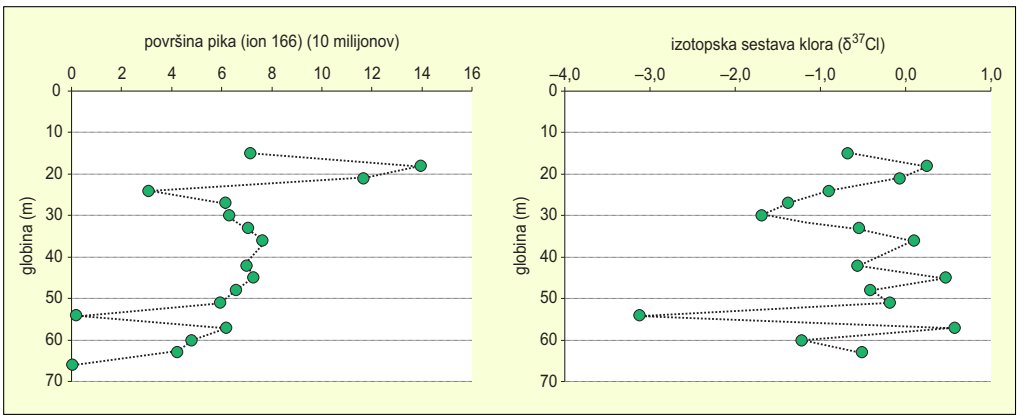
meji detekcije izotopske metode. Meritve izotopov ogljika nismo mogli izvesti zaradi nizke koncentracije PCE, ki smo jo ocenili na manj kot 5 µg/l.

V opazovalno vrtino BRP smo namestili skupno 10 vzorčevalnikov v globinah med 22 in 94 m. V vzorcih smo odkrili PCE in TCE. Masa obeh spojin v pasivnih vzorčevalnikih narašča z globino in nakazuje višje koncentracije onesnaževal v spodnjem delu vodonosnika. Zaradi majhne mase TCE smo izotopske analize klora iz TCE opravili le za globlji del vodonosnika. V tem delu vodonosnika rezultati ne kažejo značilnega spreminjanja oziroma odvisnosti izotopske sestave klora od globine.



MATTHIAS PIEPENBRINK

Slika 26: Pasivni vzorčevalniki, pripravljeni za dostavo v laboratorij, shranjeni v steklenih vialah z deionizirano vodo.



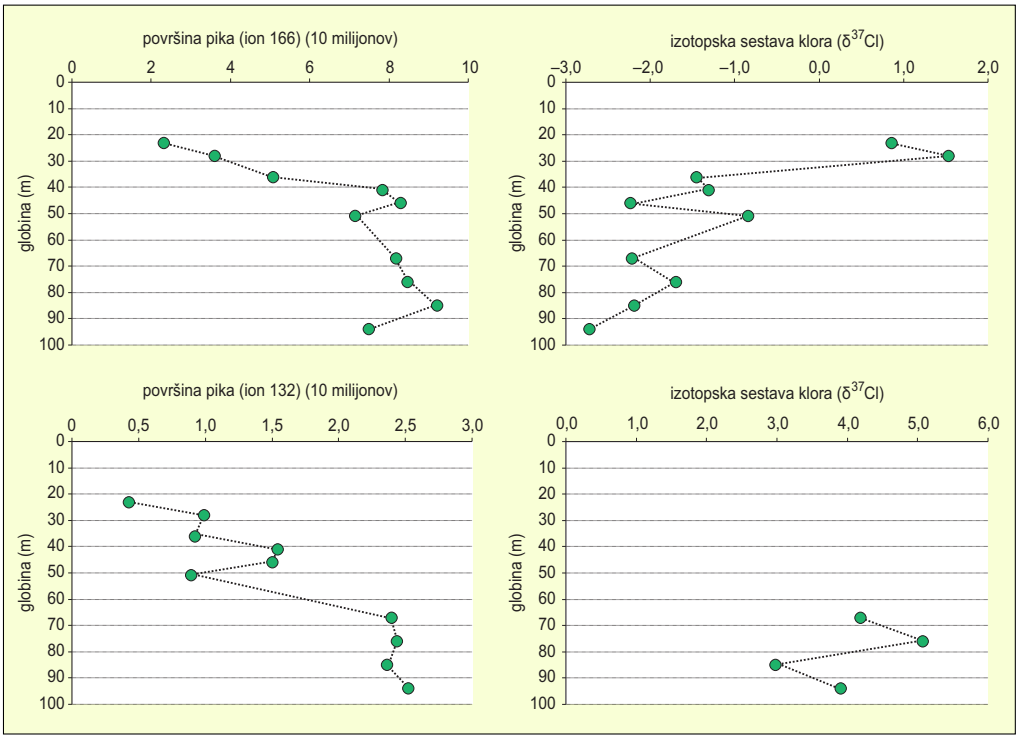
Slika 27: Rezultati analiz PCE (ion 166) vzorcev, vzetih iz vrtine Obrije 25. 10. 2010. Mase, izločene iz vzorčevalnikov, sorazmerne z relativno koncentracijo (levo) in razmerje izotopov klora (desno).

Izmerjene koncentracije PCE z globino naraščajo, izotopsko razmerje pa zmanjšuje. To nakazuje delno degradacijo PCE v zgornjem delu vodonosnika, ki jo gre pripisati šibkejši vezi lažjega izotopa (^{35}Cl) v primerjavi z vezjo težjega izotopa (^{37}Cl). Tako pri bioloških kot abiotskih reakcijah degradacije je večja verjetnost pretrganja vezi lažjih izotopov, kar povzroči izotopsko frakcionacijo. Zato je v primerjavi z začetno sestavo izotopska sestava preostalih molekul težja. Število meritev razmerij izotopov v TCE ni bilo zadostno za ustrezno interpretacijo razmer v vodonosniku. Tako kot v vrtini Obrije so bile za določitev razmerja izotopov ogljika tudi tukaj prenizke koncentracije.

5.5 SKLEPI

Pomembno izhodišče za delo je bilo, da se v podzemni vodi vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja občasno pojavljajo visoke koncentracije onesnaževal, predvsem kloriranih topil (Janža s sodelavci 2005). To je nakazovalo obstoj virov onesnaženj, ki lahko vplivajo na kemijsko stanje podzemne vode. Boljše poznavanje porazdelitve onesnaževal v vodonosnikih je koristno tako za ugotavljanje onesnaževalcev kot načrtovanje preventivnih ukrepov.

Opravljeno delo kaže, da v času vzorčenja v izbranih opazovalnih vrtinah ni bilo večjega onesnaženja vodonosnika, prav tako nismo zaznali občasno visokih koncentracij onesnaževal, ki bi lahko bile posledica nenadnih vnosov. Zaradi tega se pasivni vzorčevalniki in izotopske metode niso izkazali kot primerna metoda za določitev stopnje onesnaženja vodonosnika. Rezultati so pokazali vzorec onesna-



Slika 28: Rezultati analiz vzorcev, vzetih iz vrtine BRP 15. aprila 2011. Mase, izločene iz vzorčevalnikov, sorazmerne z relativno koncentracijo PCE (ion 166, zgoraj levo) in razmerje izotopov klora PCE (zgoraj desno), ter z relativno koncentracijo TCE (ion 132, spodaj levo) in razmerje izotopov klora TCE (spodaj desno).

ženja, ki nakazuje na razpršeno onesnaževanje vodonosnika s kloriranimi topili nizkih koncentracij. To je zelo značilno za industrializirane evropske države, kjer klorirana topila uporabljajo že nekaj desetletij. Dogajanja v ozračju lahko tovrstna onesnaževala zaradi njihovih kemijskih in fizikalnih lastnosti razširjajo, zatem pa jih dež ponovno spere pod površje.

Eden od ciljev raziskovanja, to je razvoj pasivnega vzorčenja, primernega za podzemne vode z nizko koncentracijo onesnaževal, je bil dosežen. Prvotni sistem, ki je temeljil na keramičnih dozimetrih, smo spremenili z zamenjavo keramičnih cevk s silikonskimi. Slednje omogočajo veliko hitrejše razpršeno sprejemanje onesnaževal. Dokazali smo, da so lahko učinkovite tudi v primerih, ko je koncentracija onesnaževala okrog 1 µg/l. Ocenjeni potrebni čas vzorčenja je nekaj tednov.

V vseh vzorcih so bile sprejete mase onesnaževala premajhne za določitev stabilnih izotopov ogljika. To gre pripisati višjim mejam detekcije masnega spektrometra, uporabljenega za analizo razmerja izotopov ogljika, v primerjavi s spektrometrom, ki smo ga uporabili za določitev izotopov klora. Z uporabo GC-MS smo v določenih vzorcih odkrili PCE in TCE, tako da smo v nekaterih vzorcih lahko določili izotope klora. Zaradi omejenega števila ugotovljenih onesnaževal, v bistvu le PCE in TCE, ter omejenega števila izvedenih meritev izotopov klora, splošna opredelitev lastnosti onesnaževala z izotopi ogljika in klora ni bila izvedljiva.

6 HIDROGEOLOŠKE RAZISKAVE NA LJUBLJANSKEM BARJU Z OPAZOVALNIMI OBJEKTI, IZDELANIMI S TEHNOLOGIJO NEPOSREDNEGA VTISKANJA DPT (*DIRECT PUSH TECHNOLOGY*)

Pri upravljanju podzemnih vodnih virov je temeljnega pomena določitev hidrogeoloških lastnosti vodonosnika in koncentracij onesnaževal v podzemni vodi. V primeru onesnaženja vodonosnika so posebej uporabne metode, ki omogočajo hitro pridobivanje informacij o koncentracijah onesnaževala v podzemni vodi in hitrosti njegovega razširjanja. Za vodonosnike v nesprijetih kamninah so se izkazale za zelo učinkovite metode pridobivanja podatkov, ki temeljijo na tehnologiji neposrednega vtiskanja jeklenega drogovja v tla (*Direct Push Technology*, DPT; kratico uporabljamo tudi v nadaljevanju). S prilagoditvijo opreme (nastavkov na konicah drogovja, vzorčevalnikov in merilcev) lahko vzorčimo tla, pline v tleh in podzemno vodo. Tehnologija omogoča tudi zvezne geofizikalne meritve po celotni globini vtiskanja in pridobivanje podatkov o kamninski zgradbi pod površjem.

Začetki raziskav s tehnologijo DPT na Ljubljanskem barju segajo v leto 2007. Takratni poskusi so potrdili njeno uporabnost. V letih 2010 in 2011 smo z njo skupaj z nemškim podjetjem Geo-log in Univerzo iz Göttingena na območju vodarne Brest in njene okolice izdelali 31 opazovalnih objektov. Tako smo pridobili informacije o gladini podzemne vode, porazdelitvi onesnaževal v zgornjem delu vodonosnika in sestavi vodonosnika na širšem območju vodarne.

6.1 OPIS METODE

Tehnologija DPT zajema metode, ki za raziskovanje pod površjem uporabljajo vtiskanje jeklenih cevi majhnega premera. Je relativno poceni in omogoča hitro, neposredno vzorčenje v nesprijetih kam-

PETRA MEGLIČ

Slika 29: Oprema tehnologije neposrednega vtiskanja (DPT).

ninah. Za vzorčenje je na razpolago vrsta različnih nastavkov, ki jih lahko namestimo na konico cevi. Tehnologija DPT omogoča odvzem vzorcev kamnin, plina ali podzemne vode. Z vgraditvijo cevi iz umetnih snovi lahko izdelamo opazovalni objekt majhnega premera (do 5,08 cm). Glavne prednosti metode so:

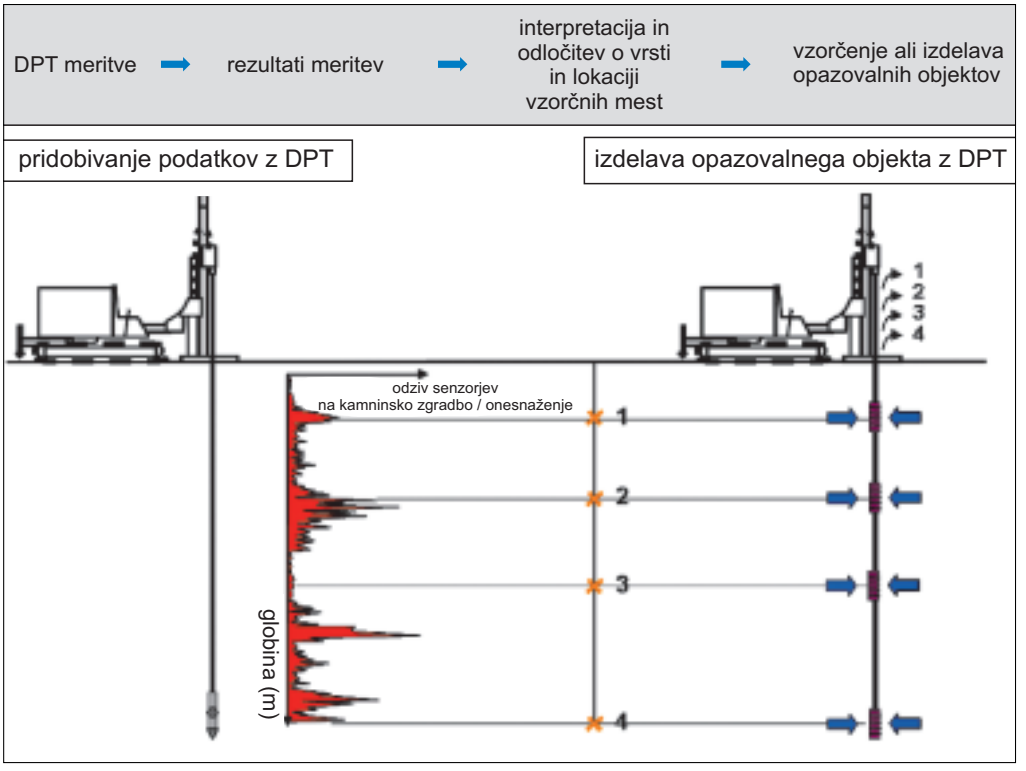
- hitro pridobivanje podatkov,
- prilagodljivost terenu (številne razpoložljive metode vzorčenja),
- možnost vzorčenja na različnih globinah in s tem določitev prostorske porazdelitve onesnaževal,
- možnost določitve hidrogeoloških lastnosti vodonosnika in
- raziskovanje z manj odpadnega materiala in manjšim tveganjem za onesnaženje raziskovanega območja.

Uporabnost metode je omejena na nesprijete sedimente v globini do 60 m. V primerjavi z običajnimi metodami vrtanja je količina odvzetega vzorca bistveno manjša (medmrežje 11).

Izvedba objektov s tehnologijo DPT poteka v dveh korakih. V prvem z vtiskanjem drogovja z jekleno konico, opremljeno z merilci, pridobimo podatke o vsebnosti podzemne vode in električni prevodnosti, ki odraža zrnatost nesprijetih kamnin pod površjem. V drugem koraku na podlagi pridobljenih podatkov določimo mesta odvzema vzorcev ali v primeru izdelave opazovalnih objektov njihovo globino in položaj filtrskih odsekov.

6.2 OBMOČJE RAZISKAV

Obravnavano območje je del napajalnega zaledja vodarne Brest. Pojav onesnaževal v vodnjakih vodarne nakazuje njihovo prisotnost tudi v zaledju. Raziskave s tehnologijo DPT smo izvedli z namenom, da ugotovimo prostorsko porazdelitev onesnaževal v zgornjem delu vodonosnih plasti in hidrogeološke



Slika 30: Shematski prikaz izvedbe DPT (prirejeno po Geo-log 2010).

lastnosti teh plasti, ki vplivajo na razširjanje onesnaževal. Osredotočili smo se na najožji del napajalnega zaledja vodarne. To je ravninsko območje vršaja reke Iške, ki se proti severu nadaljuje v Ljubljansko barje, na jugu, vzhodu in zahodu pa ga obdajajo hribi. Omejeno je z vasema Brest in Iška vas, reko Iško ter lokalnima cestama Staje–Iška vas in Ig–Brest. Večinoma kmetijsko območje (prevladujejo njive in vrtovi) sekajo ceste in poljske poti.

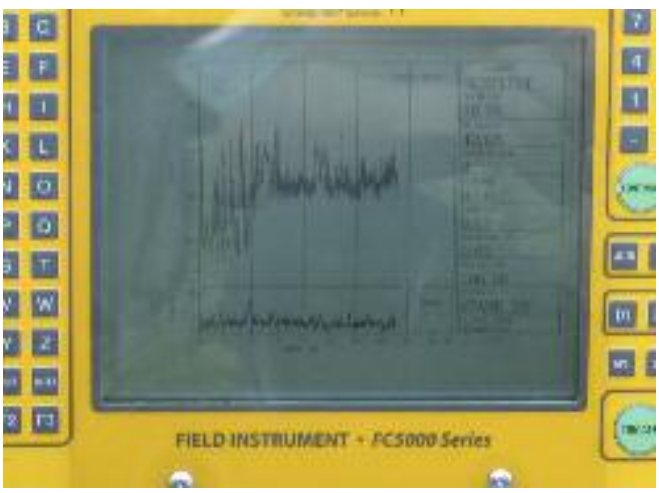
6.3 IZDELAVA OPAZOVALNIH OBJEKTOV

Pri določitvi lokacij opazovalnih objektov smo poleg podatkov, pridobljenih s tehnologijo DPT, upoštevali še omejitve, povezane s položaji kanalizacijskih vodov, vodovodnih napeljav, telekomunikacijskega in električnega omrežja ter cest (Meglič s sodelavci 2011).

Na vsaki lokaciji smo najprej z vtiskanjem merilca opravili meritev električne prevodnosti, s pomočjo katere smo interpretirali sestavo nesprijetih kamnin prod (pod) površjem. Na podlagi tega smo določili globino opazovalnih objektov ter dolžino in položaj filtrskih odsekov. Opazovalni objekti so sestavljeni iz polietilenskih cevi, ki so na dnu zaprte s čepom in na vrhu s pokrovom. Cevi premera 2,54 ali 5,08 cm imajo polne ali luknjičaste stene (filtrski odseki). Za preprečitev zamašitve rež so filtrski odseki obdani s tekstilno membrano z velikostjo por 55 µm. Zaščito in stabilizacijo objektov smo zagotovili z bentonitnim granulatom, ki obdaja cevi v globljem delu. Vrhnji del objektov je zaščiten z betonsko obrobo in cestno kapo.

Opazovalne objekte smo izdelali v treh kampanjah: junija 2010, oktobra 2010 in oktobra 2011. Po vsaki smo opravili vzorčenje in na podlagi rezultatov predhodnih meritev določili položaj novih objektov. Postopna izvedba nam je omogočila prilagodljivost izbire položaja opazovalnih objektov glede na rezultate opravljenega vzorčenja in kemijskih analiz.

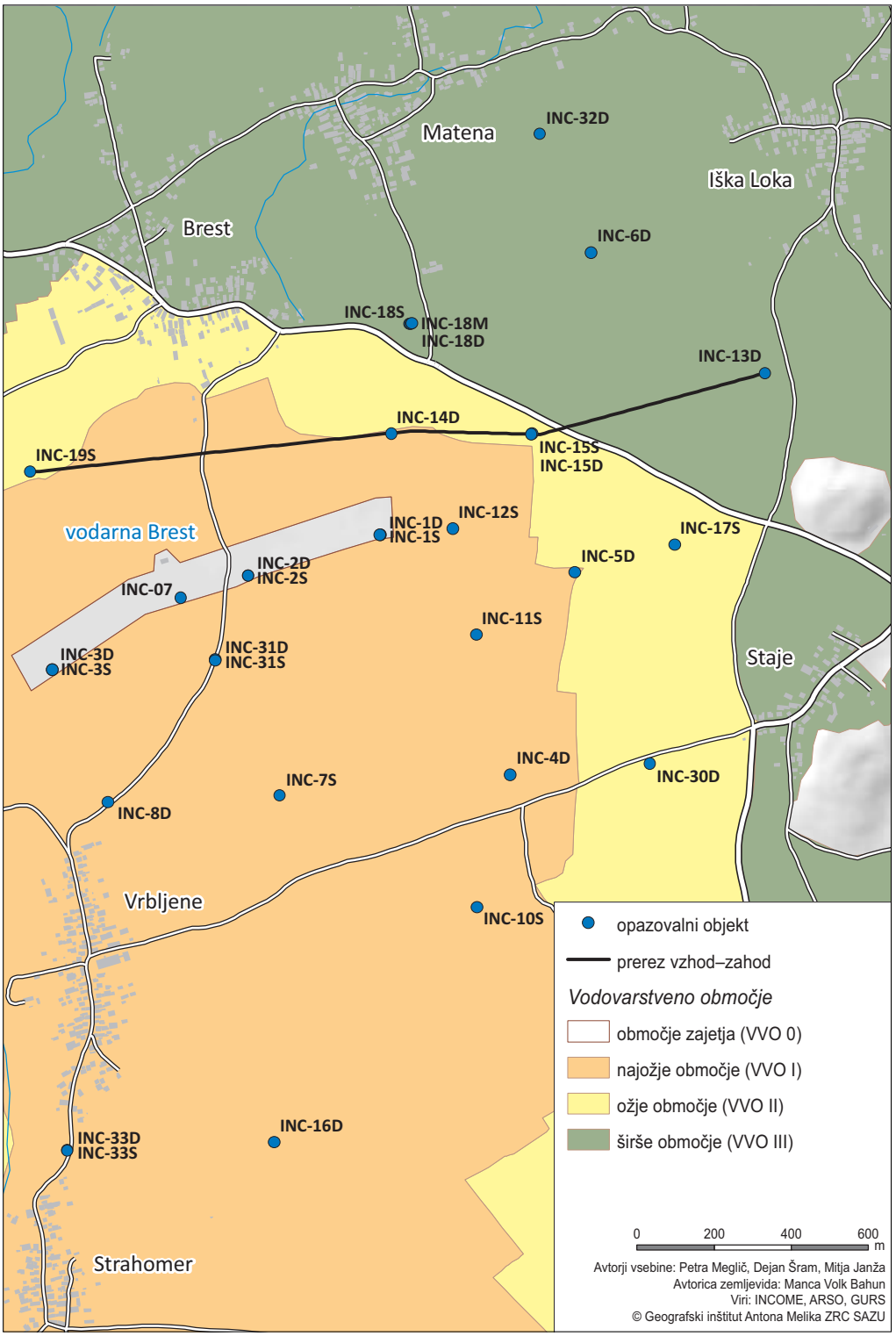
Z metodo DPT smo izdelali 31 opazovalnih objektov na 23 lokacijah. Na šestnajstih smo izdelali po en, na šestih po dva in na eni lokaciji tri opazovalne objekte s premeri 2,54 ali 5,08 cm in v globini od 15 do 30 m.



PETRA MEGLIČ

Slika 31: Primer meritve električne prevodnosti po globini (levo) in prikaz interpretacije meritev (desno).

Slika 32: Položaj opazovalnih objektov na Iškem vršaju, izdelanih s tehnologijo DPT, in potek prereza. ►



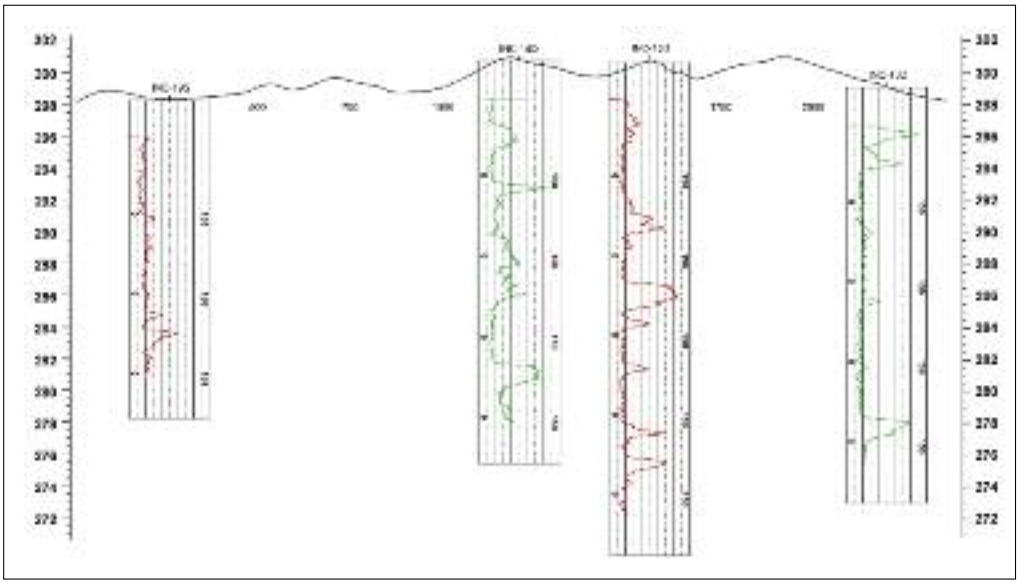
Avtorji vsebine: Petra Meglič, Dejan Šram, Mitja Janža
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Preglednica 4: Podatki o izdelanih opazovalnih objektih.

opazovalni objekt	nadmorska višina (m)	globina (m)	dolžina filtrskega odseka (m)	premer cevitve (cm)
INC-1D	303,34	30	5	5,08
INC-1S	303,27	16	5	5,08
INC-2D	301,36	30	5	5,08
INC-2S	301,55	17	5	5,08
INC-3D	300,89	30	5	5,08
INC-3S	301,02	16	5	5,08
INC-4D	309,68	30	6	5,08
INC-5D	305,60	23	5	5,08
INC-6D	297,49	19	5	5,08
INC-7S	305,98	15	5	5,08
INC-8D	303,19	17	5	5,08
INC-07	299,86	19	2	5,08
INC-10S	311,18	18	6	5,08
INC-11S	306,06	20	5	5,08
INC-12S	302,05	21	5	5,08
INC-13D	299,32	24	6	5,08
INC-14D	301,31	23	5	5,08
INC-15S	300,89	17	5	5,08
INC-15D	300,90	29	6	5,08
INC-16D	312,70	25	6	5,08
INC-17S	304,59	18	5	5,08
INC-18D	297,91	29	6	5,08
INC-18M	297,92	23	5	2,54
INC-18S	297,94	18	5	5,08
INC-19S	298,08	18	5	5,08
INC-30D	308,28	30	5	2,54
INC-31D	300,62	29	5	2,54
INC-31S	300,60	21	5	2,54
INC-32D	294,58	30	5	2,54
INC-33D	307,82	30	5	2,54
INC-33S	307,81	16	5	2,54

6.4 REZULTATI RAZISKAV

Holocenski medzrnski vodonosnik Iškega vršaja gradijo raznovrstne nesprijete sedimentne kamnine, med katerimi prevladuje prod, manj je peska, melja in gline. Heterogenost sestave vodonosnika dokazujejo meritve električne prevodnosti, ki smo jo izvedli s tehnologijo DPT. Te ugotovitve smo dodatno potrdili z meritvami naravnega gama sevanja v že izdelanih opazovalnih objektih. Naravna radioaktivnost je posledica vsebnosti radioaktivnih elementov torija, kalija in urana v kamninah. Zaradi večje koncentracije radioaktivnih elementov v glinah meritve naravnega gama sevanja omogočajo interpretacijo zrnatosti nevezanih kamnin. Višje vrednosti (piki) krivulje, izražene v razmerju z določenim standardom (enote API) (American Petroleum Institute 1995) nakazujejo sedimente z večjo vsebnostjo gline in melja in posledično slabšo prepustnostjo. Na podlagi meritev ugotavljamo večjo vsebnost gline in melja v vzhodnem in severnem delu Iškega vršaja. Izdelani opazovalni objekti omogočajo meritve gladine podzemne vode.



Slika 33: Prerez v smeri vzhod–zahod s krivuljami meritev naravnega sevanja gama (višje vrednosti pomenijo večjo vsebnost drobnozrnatega gradiva).

Rezultati kemijskih preiskav vzorcev iz opazovalnih objektov, ki so bili odvzeti novembra in decembra 2011, so pokazali najvišje koncentracije onesnaževal v podzemni vodi v severovzhodnem delu Iškega vršaja. Izmerjene koncentracije atrazina, desetilatrazina in nitratov kažejo podobno prostorsko porazdelitev onesnaženja. Mejna vrednost atrazina 0,1 µg/l (Pravilnik o pitni vodi 2004) je rahlo presežena le na enem vzorčnem mestu, medtem ko je mejna vrednost desetilatrazina (prav tako 0,1 µg/l) presežena na kar dvanajstih vzorčnih mestih. Izmerjene vsebnosti nitratov so bile na vseh vzorčnih mestih pod mejno vrednostjo (50 mg/l).

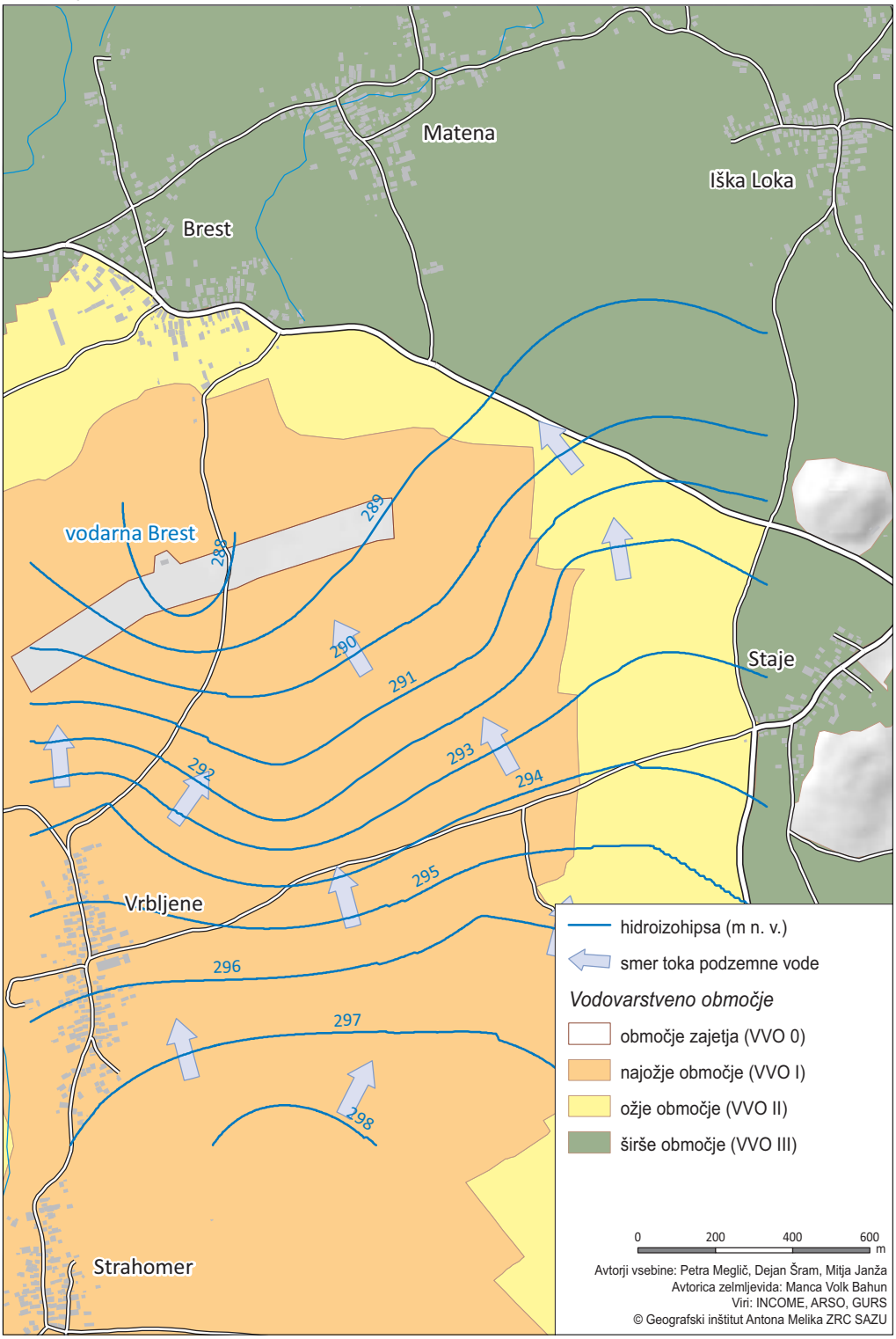
V petih opazovalnih objektih (INC-15S, INC-15D, INC-18S, INC-18M, INC-18D), ki omogočajo vzorčenje na različnih globinah, je opazno, da se koncentracija onesnaževal povečuje z naraščanjem globine.

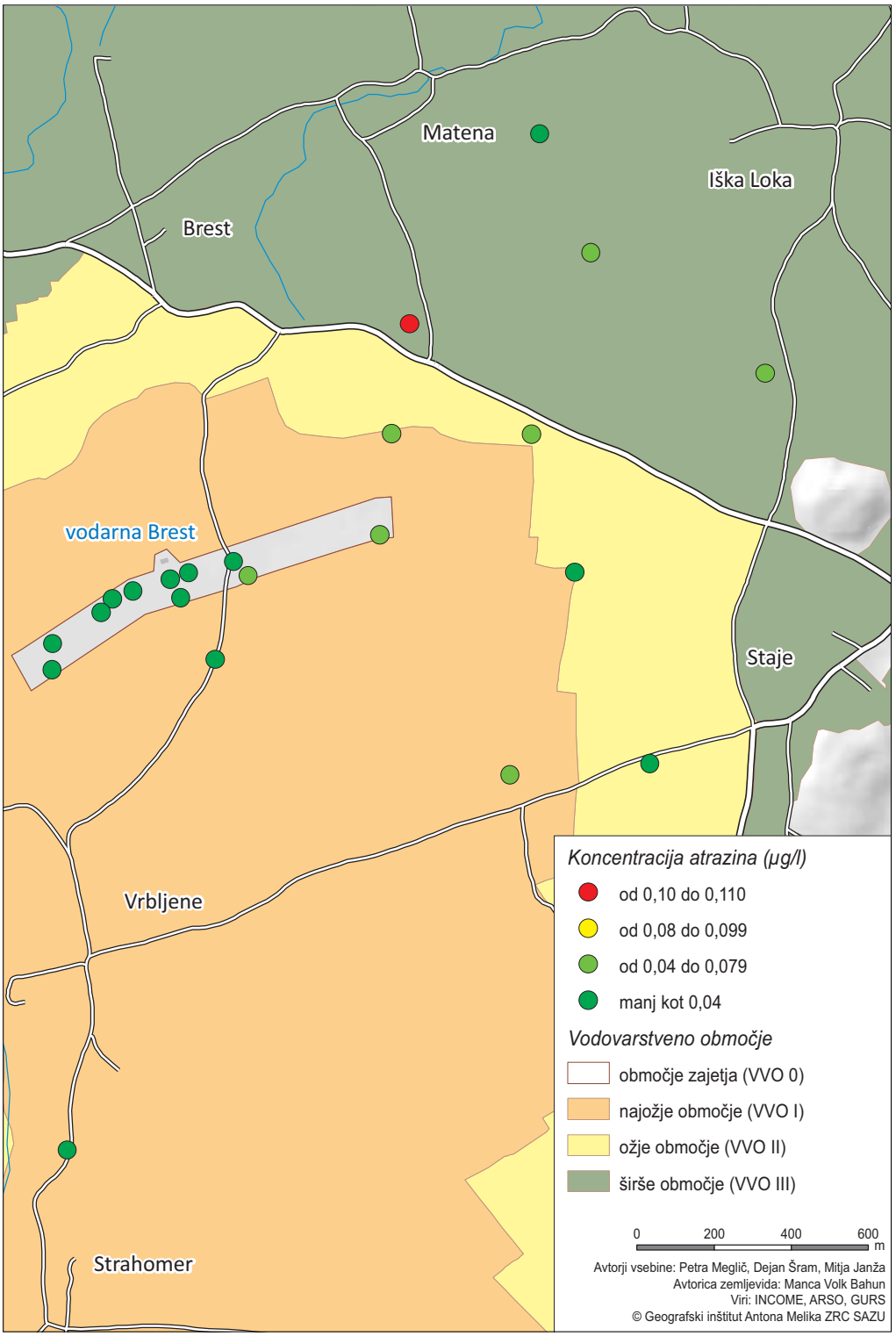
6.5 SKLEPI

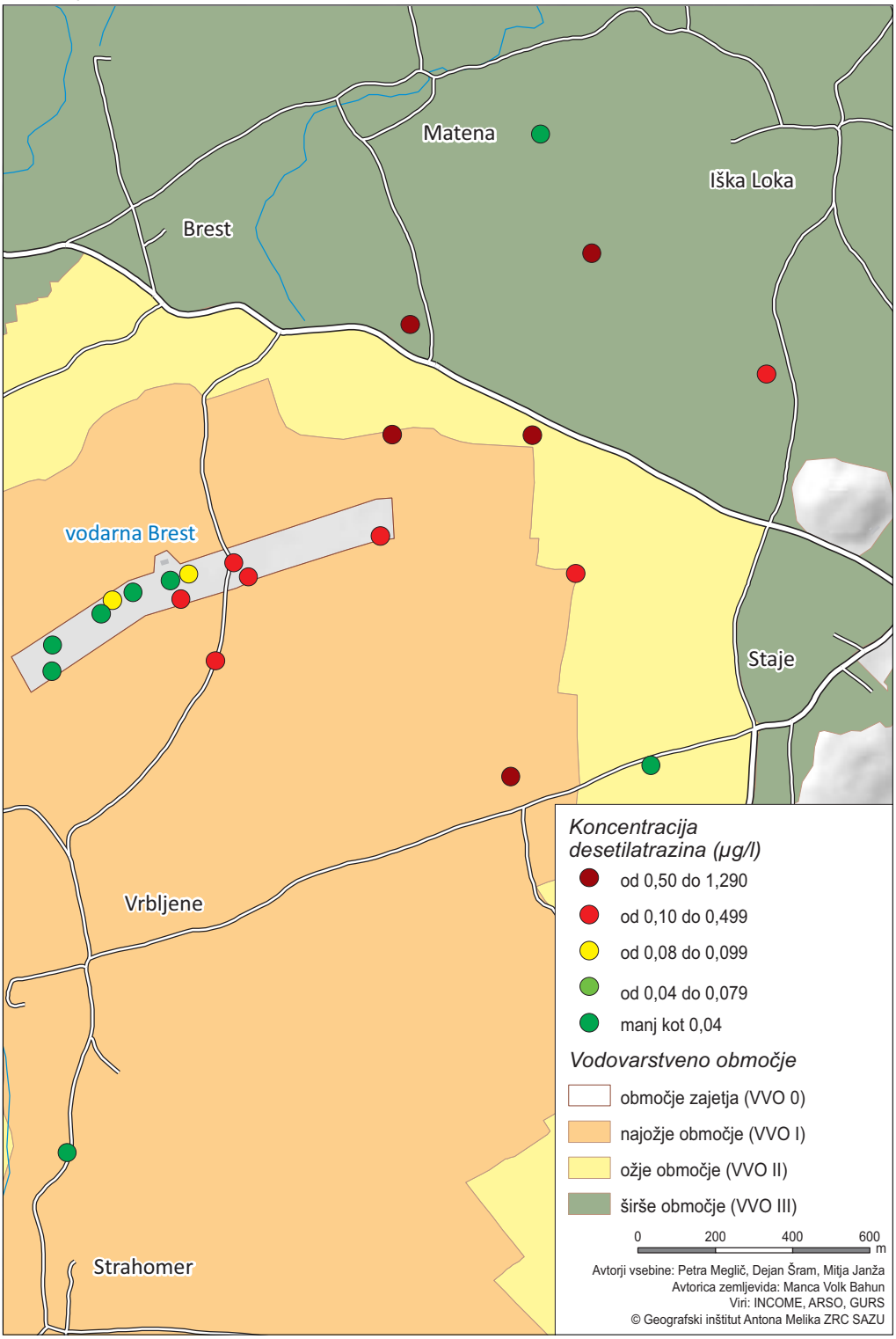
Z uporabo tehnologije DPT smo na vodovarstvenem območju vodarne Brest na Ljubljanskem barju v treh kampanjah, ki so skupno trajale 23 dni, izdelali 31 opazovalnih objektov. Izdelana mreža opazovalnih objektov omogoča boljši nadzor nad kemijskim in količinskim stanjem podzemne vode v zgornjim delu vodonosnika Iškega vršaja.

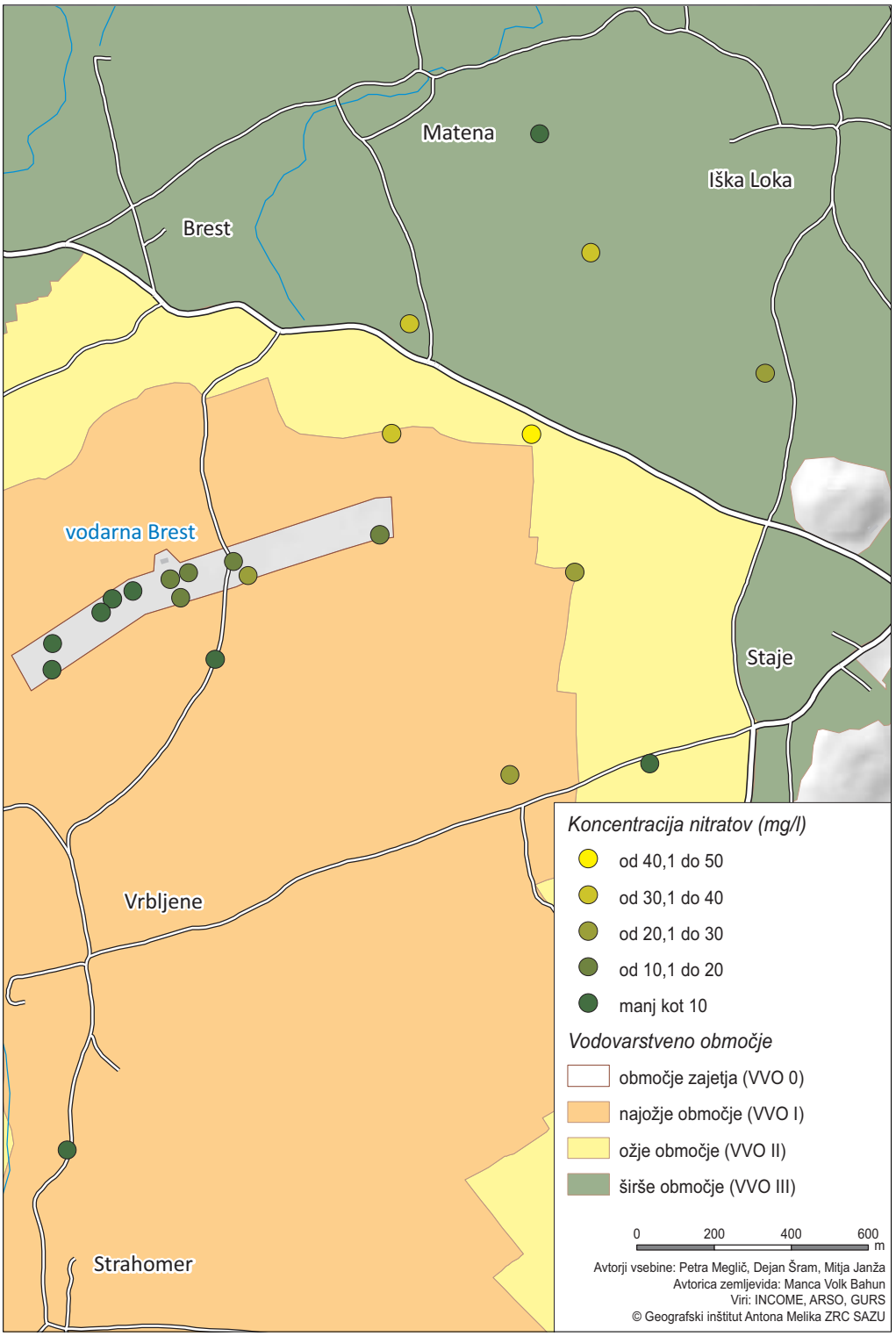
Uporabljena tehnologija omogoča hitro pridobivanje podatkov o sestavi nesprijetih kamnin pod površjem in izvedbo opazovalnega objekta, ki v primerih brez zapletov traja povprečno 3 ure. Tehnologija DPT teoretično omogoča globinski doseg do 60 metrov, vendar se je na obravnavanem območju

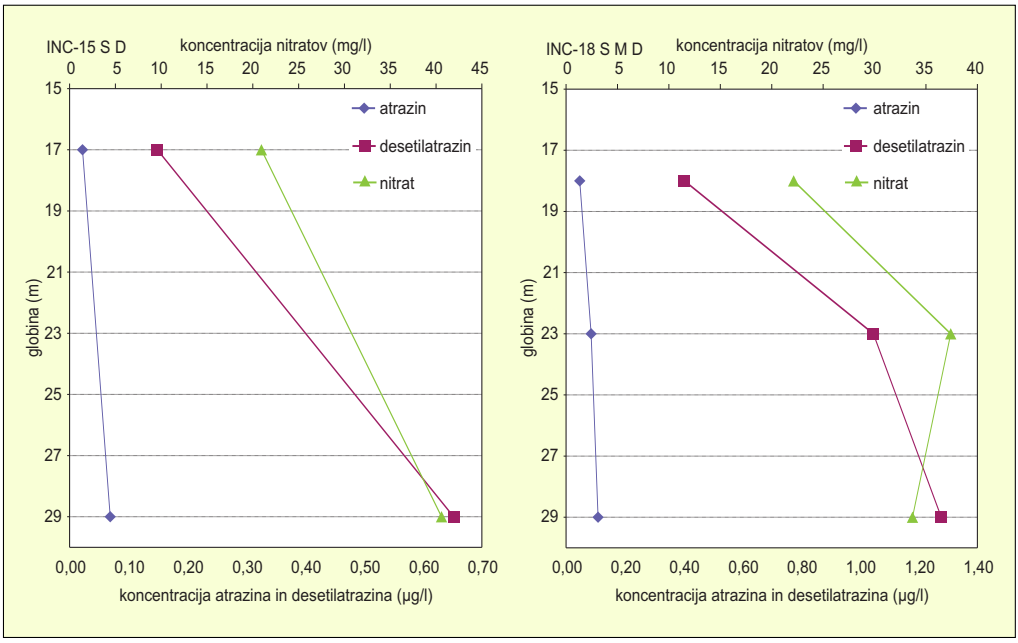
Slika 34: Gladina in smeri toka podzemne vode v Iškem vršaju, interpretirane na podlagi meritev septembra 2011. ► str. 66
Slika 35: Prostorski prikaz koncentracij atrazina v podzemni vodi Iškega vršaja. ► str. 67
Slika 36: Prostorski prikaz koncentracij desetilatrazina v podzemni vodi Iškega vršaja. ► str. 68
Slika 37: Prostorska porazdelitev koncentracij nitratov v podzemni vodi Iškega vršaja. ► str. 69


Matena
Iška Loka
Brest
vodarna Brest
289
288
290
291
293
294
292
295
296
297
298
Staje
Vrbljene
Strahomer
hidroizohipsa (m n. v.)
smer toka podzemne vode
Vodovarstveno območje
območje zajetja (VVO 0)
najožje območje (VVO I)
ožje območje (VVO II)
širše območje (VVO III)
0
200
400
600
m
Avtorji vsebine: Petra Meglič, Dejan Šram, Mitja Janža
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU


Matena
Iška Loka
Brest
vodarna Brest
Staje
Vrbljene
Strahomer
Koncentracija atrazina (µg/l)
od 0,10 do 0,110
od 0,08 do 0,099
od 0,04 do 0,079
manj kot 0,04
Vodovarstveno območje
območje zajetja (VVO 0)
najožje območje (VVO I)
ožje območje (VVO II)
širše območje (VVO III)
0
200
400
600
m
Avtorji vsebine: Petra Meglič, Dejan Šram, Mitja Janža
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU


Matena
Iška Loka
Brest
vodarna Brest
Staje
Vrbljene
Strahomer
Koncentracija desetilatrazina (µg/l)
od 0,50 do 1,290
od 0,10 do 0,499
od 0,08 do 0,099
od 0,04 do 0,079
manj kot 0,04
Vodovarstveno območje
območje zajetja (VVO 0)
najožje območje (VVO I)
ožje območje (VVO II)
širše območje (VVO III)
0
200
400
600
m
Avtorji vsebine: Petra Meglič, Dejan Šram, Mitja Janža
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU


Matena
Iška Loka
Brest
vodarna Brest
Staje
Vrbljene
Strahomer
Koncentracija nitratov (mg/l)
od 40,1 do 50
od 30,1 do 40
od 20,1 do 30
od 10,1 do 20
manj kot 10
Vodovarstveno območje
območje zajetja (VVO 0)
najožje območje (VVO I)
ožje območje (VVO II)
širše območje (VVO III)
0
200
400
600
m
Avtorji vsebine: Petra Meglič, Dejan Šram, Mitja Janža
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



Slika 38: Koncentracije atrazina, desetilatrazina in nitratov na različnih globinah objektov INC-15S,D (levo) in INC-18S,M,D (desno).

izkazalo, da je zaradi tehničnih omejitev uporabljene opreme težko doseči globino več kot 30 metrov. Globina izdelanih objektov je od 15 do 30 m, s 5 ali 6 m dolgimi filtrskimi odseki.

Za preprečitev dotoka drobnozrnatih delcev v opazovalni objekt in zamašitve filtrskih rež smo uporabili tekstilno membrano. Stranski učinek tekstilne membrane je zmanjšan dotok podzemne vode v opazovalni objekt ob črpanju. To je posebej opazno pri vzorčenju, saj je čas črpanja za odvzem vzorca daljši.

Meritve električne prevodnosti in naravnega sevanja gama nakazujejo zelo heterogeno sedimentacijo Iškega vršaja. Od zahoda (ob reki Iški) proti vzhodu (proti Igu in Kotu) in severovzhodu (proti Iški Loki) vsebnost melja in gline v produ narašča, tako kot tudi količina in prostornina glinenih in meljnih leč. Te dosežejo debelino do 2 m in razprostranjenost do 150 m v vodoravni smeri. Meritve kažejo tudi manjšo vsebnost gline in melja v zgornjih delih (8 do 10 m globoko) Iškega vršaja.

Podzemna voda Iškega vršaja je najbolj onesnažena v severovzhodnem delu, kjer so povišane koncentracije atrazina, desetilatrazina in nitratov. Posebej izstopajo visoke vrednosti desetilatrazina, ki mejno vrednost za pitno vodo presegajo na kar dvanajstih (od skupno enaindvajsetih) merskih mestih. Koncentracije onesnaževal v zgornjem delu vodonosnika naraščajo z globino.

7 HIDROLOŠKI MODEL VODONOSNIKA LJUBLJANSKEGA POLJA

Model je v splošnem pomenu poenostavljena predstavitev realnosti, v našem primeru procesov vodnega kroga na območju Ljubljanskega polja. Modeli, ki omogočajo simulacijo dinamike podzemne vode in napovedovanje posledic določenih sprememb ali pojavov, na primer razširjanje onesnaženja, postajajo za sodobno in učinkovito upravljanje vodnih virov skorajda nepogrešljiva orodja.

V našem primeru je model najbolj uporaben pri simulaciji razširjanja onesnaženja v podzemni vodi. Zanesljivost simulacije oziroma primerljivost rezultatov modela in opazovanih pojavov je v veliki meri odvisna od pravilnosti določitve prostorske porazdelitve hidrogeoloških parametrov vodonosnika. Prav zahtevnost tega postopka – opredelitve heterogenosti vodonosnika s tridimenzionalnim hidrogeološkim modelom – je poglavitni omejitveni dejavnik zanesljivosti in s tem uporabnosti hidroloških modelov.

V nadaljevanju sta poleg hidrološkega modela predstavljena geostatistična postopka opredelitve prostorskih lastnosti vodonosnika. Prvega smo uporabili za določitev lastnosti nezasičenega dela vodonosnika, s poudarkom na pojavnosti visečih vodonosnikov (Šram s sodelavci 2012). Z drugim pristopom smo interpretirali lastnosti zasičenega dela vodonosnika in izdelali hidrogeološko osnovo matematičnega modela vodonosnika Ljubljanskega polja (Janža 2009).

7.1 GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI LJUBLJANSKEGA POLJA

Zaradi intenzivnosti geoloških procesov na Ljubljanskem polju je interpretacija tamkajšnjega sedimentacijskega okolja zahtevna. Debela skladovnica sedimentov je posledica močnega in neenakomernega ugrezanja posameznih delov polja, zato je debelina sedimentov neenakomerna. Raznovrstnost zasipa je dodatno pogojena s prepletanjem odlaganja, preperevanja in erozije, procesov, ki so bili povezani s podnebnimi spremembami. Erozija, ki je sledila zasipavanju, je lahko delno ali v celoti odstranila naplavine prejšnjih sedimentacijskih ciklov. Rekonstrukcijo sedimentacijskih okolij dodatno otežuje prostorska raznolikost erozijskih procesov.

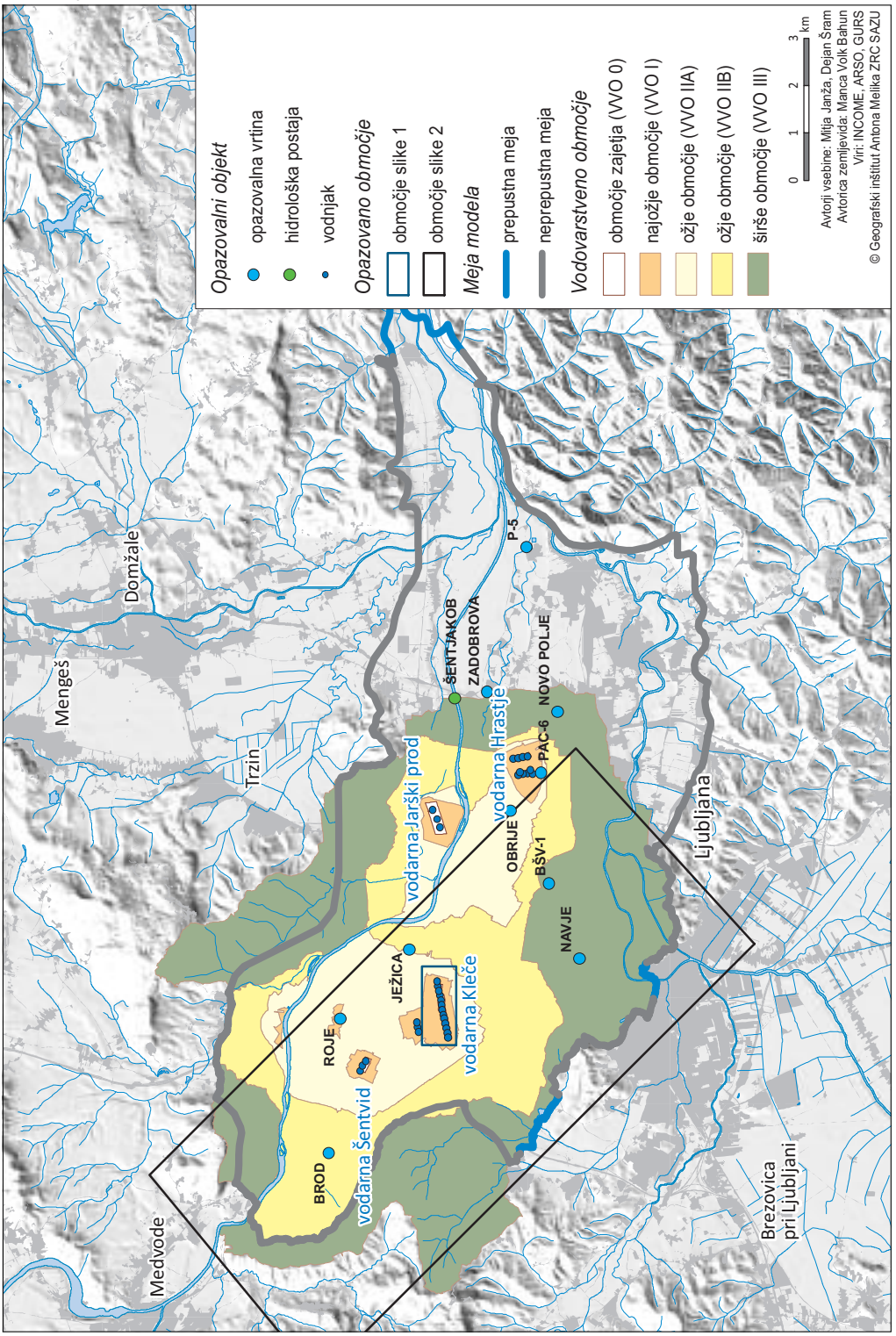
7.1.1 ZNAČILNOSTI NEZASIČENEGA DELA VODONOSNIKA IN POJAV VISEČIH VODONOSNIKOV

Nezasičeni del vodonosnika je plast kamnin med gladino podzemne vode in površjem, ki ima pomembno zaščitno vlogo pred onesnaženji s površja ali plitvo pod njim. Viseči vodonosnik je pojav podzemne vode v večinoma nezasičenem delu vodonosnika, nad regionalno gladino podzemne vode v vodonosniku s prosto gladino. Do nastanka visečega vodonosnika pride, ko voda na poti s površja skozi nezasičeno območje vodonosnika doseže zelo slabo prepustne plasti, kakršne so na primer leče gline. Voda nad slabo prepustno plastjo se nabira in prične odtekati vodoravno do roba plasti, kjer se ponovno preceja v praviloma navpični smeri. Obseg visečega vodonosnika in debelina zasičenega dela sta sezonsko zelo spremenljiva. Viseči vodonosniki lahko delujejo kot vmesne zaporne plasti, ki ustavijo oziroma upočasnijo razširjanje onesnaženja do gladine podzemne vode. Poznavanje razprostranjenosti visečih vodonosnikov na območju Ljubljanskega polja je koristno tako pri načrtovanju novih gradbenih objektov in vrtin za izkoriščanje podzemne vode kot pri interpretaciji toka podzemne vode in razširjanja onesnaževal.

7.1.1.1 Hidrogeološki tridimenzionalni model

Viseči vodonosniki so bili v preteklosti zaznani predvsem v jugozahodnem delu Ljubljanskega polja. Na to območje smo omejili izdelavo modela razprostiranja slabše prepustnih plasti znotraj dobro prepustnega nezasičenega dela vodonosnika.

Slika 39: Območje modeliranja. ► str. 72


Opazovalni objekt
opazovalna vrtina
hidrološka postaja
vodnjak
Opazovano območje
območje slike 1
območje slike 2
Meja modela
prepustna meja
neprepustna meja
Vodovarstveno območje
območje zajetja (VVO 0)
najožje območje (VVO I)
ožje območje (VVO IIA)
ožje območje (VVO IIB)
širše območje (VVO III)
0 1 2 3 km
Avtorji vsebine: Mitja Janža, Dejan Šram
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
Medvode
Mengeš
Domžale
Trzin
Brezovica pri Ljubljani
Ljubljana
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
vodarna Jarški prod
vodarna Hrastje
BROD
ROJE
JEŽICA
ŠENTJAKOB
ZADOBROVA
P-5
NOVO POLJE
PAC-6
OBRJE
BŠV-1
NAVJE

Postopek izdelave modela je bil sestavljen iz naslednjih korakov:
a) obdelava in razvrščanje litoloških podatkov iz 1138 vrtin s skupno dolžino opisanih odsekov 20.944 m,
b) izdelava tridimenzionalnega strukturnega modela,
c) geostatistična analiza – sekvenčna indikatorska simulacija.

V izdelanem tridimenzionalnem hidrogeološkem modelu smo izdvojili potencialna območja visečih vodonosnikov. Uporabili smo naslednja pogoja:
- plast mora imeti koeficient prepustnosti $K \leq 1 \times 10^{-6}$ m/s in
- plast mora imeti minimalno površino 0,07 km^2.

Podatki o horizontalni velikosti visečih vodonosnikov na Ljubljanskem polju, ki bi omogočili kvantitativno oceno navedenih kriterijev, niso razpoložljivi. Zato so vrednosti kriterijev privzeta ocena minimalnih pogojev za nastanek visečih vodonosnikov, ki temelji na izkušnjah in teoretičnem znanju.

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da je največ slabše prepustnih plasti med Grajskim in Šišenskim hribom. Na tem območju se slabše prepustne plasti pojavljajo v več horizontih, in sicer tik pod površjem (na nadmorski višini 296 m), pa vse do globine 32 m (nadmorska višina 264 m). Slabše prepustne plasti so v večji meri zastopane tudi na severnem in severovzhodnem vznožju Šišenskega hriba, kjer se prav tako pojavijo tik pod površjem (na nadmorski višini 306 m) in segajo do globine 25 m (nadmorska višina 281 m). Na preostalem območju modela se slabše prepustne plasti pojavijo do globine 10 m, v njegovem jugovzhodnem delu pa je manjša koncentracija slabše prepustnih plasti na globini okrog 20 m.

7.1.2 ZNAČILNOSTI ZASIČENEGA DELA VODONOSNIKA

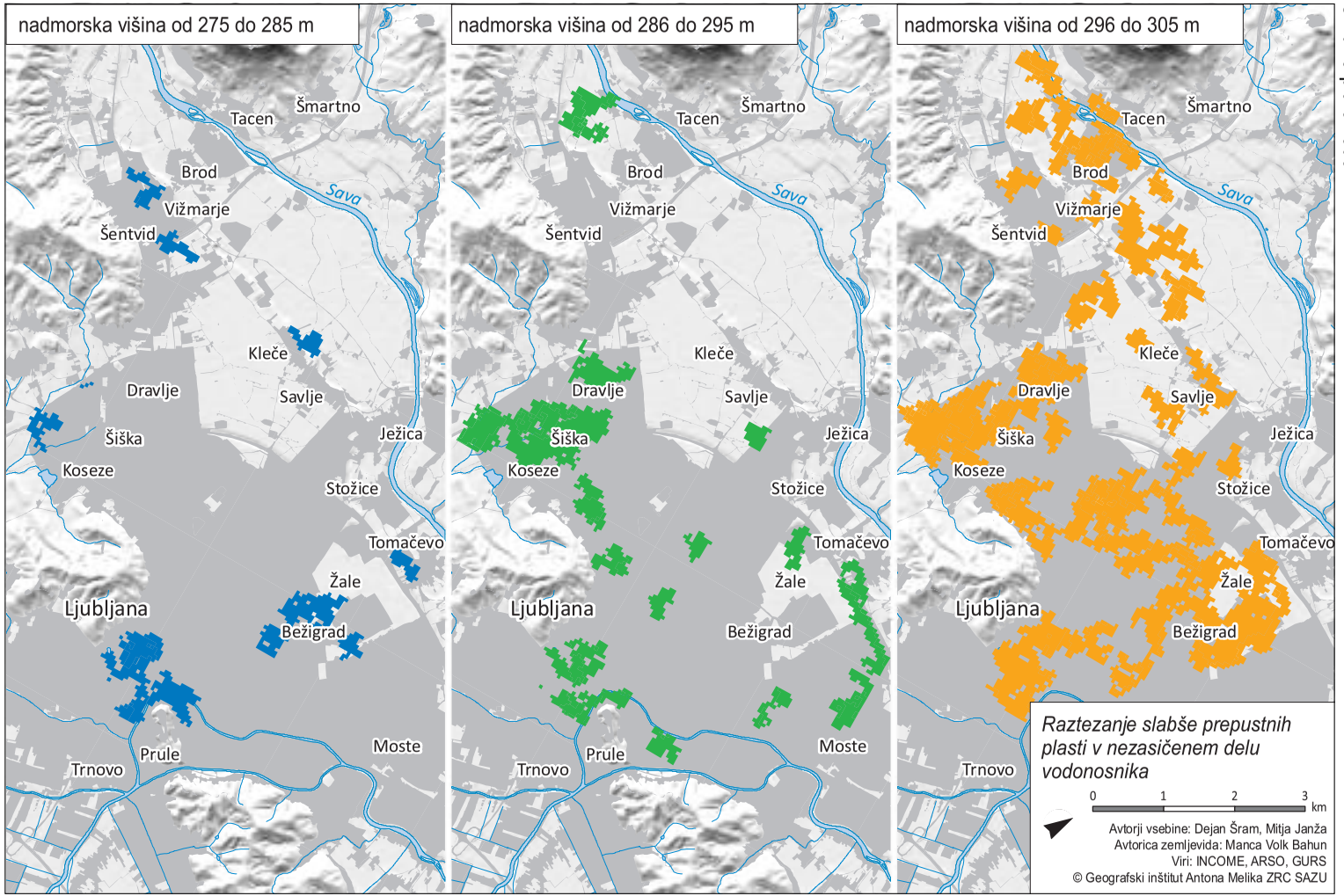
Heterogenost vodonosnika pogojuje prostorska porazdelitev sedimentov, ki nastajajo v določenih sedimentacijskih okoljih in imajo zato značilne hidrogeološke lastnosti. Na področju modeliranja se je za te enote uveljavil izraz hidrofaciesi (Fraser in Davis 1998). V naravi je porazdelitev hidrofaciesov zaradi prostorsko in časovno spreminjajočih se sedimentacijskih razmer pogosto zapletena. Dodatna težava pri njeni določitvi je omejena količina globinskih informacij. Podatki iz vrtin v obliki opisov jeder ali izvrtanega materiala nudijo razmeroma natančne informacije o zaporedju hidrofaciesov v navpični smeri, le redko pa omogočajo njihovo določitev tudi v vodoravni smeri. Tako opis heterogenosti vodonosnikov praviloma ni mogoč zgolj z računskimi metodami. Koristno jih je dopolniti z uporabo konceptualnih geoloških informacij ali tako imenovanih »mehkih podatkov«, ki izhajajo iz poznavanja geoloških procesov in so temelj za oceno obsega ter vodoravne prostorske porazdelitve hidrofaciesov.

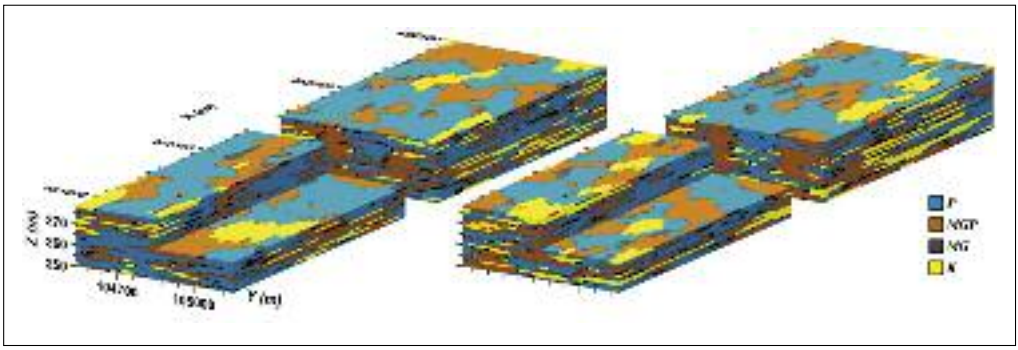
Geostatistični model vodonosnika Ljubljanskega polja smo izdelali z geostatistično indikatorsko simulacijo, ki temelji na Markovskih verigah (Carle in Fogg 1996 in 1997) in podatkih iz vrtin. Namen izdelave modela je bil zagotovitev geološke osnove, ki omogoča vključitev strukturne heterogenosti hidrofaciesov in posledično realnejšo simulacijo razširjanja onesnaževal v podzemni vodi.

V študiji smo uporabili podatke iz 258 vrtin s skupno dolžino opisanih odsekov 6422 m. Na podlagi litoloških opisov jeder vrtin oziroma izvrtanega gradiva smo sedimente razvrstili v štiri hidrofaciese, ki zavzemajo različne prostorninske deleže: prod (P, 45 %), melj in glina s prodom (MGP, 36 %), melj in glina (MG, 5 %) ter konglomerat (K, 14 %). Pri razvrščanju sedimentov v hidrofaciese smo sledili vodilu, da se ti med seboj razlikujejo po hidrogeoloških lastnostih, predvsem prepustnosti in sedimentacijskem okolju nastanka.

Rezultat postopka je stohastični model oziroma niz enako verjetnih modelov heterogenosti vodonosnika, ki so pogojeni s podatki iz vrtin. Tako vsaka realizacija v celicah na mestih vrtin ohranja enote, določene iz podatkov vrtin. V vmesnem prostoru pa so hidrofaciesi porazdeljeni na podlagi modelov verjetnosti prehodov. Modeli razsežnosti 17 krat 10 km in z debelino 150 m so sestavljeni iz 100 krat 100 m velikih celic z debelino 1 m.

Slika 40: Raztezanje slabše prepustnih plasti (debelina plasti je 5 m) v nezasičenem delu vodonosnika na različnih globinah: med 275 in 285 m nadmorske višine, med 286 in 295 m nadmorske višine ter med 296 in 305 m nadmorske višine (Šram s sodelavci 2012). ► *str. 74*


nadmorska višina od 275 do 285 m
nadmorska višina od 286 do 295 m
nadmorska višina od 296 do 305 m
Tacen
Šmartno
Brod
Sava
Vižmarje
Šentvid
Kleče
Dravlje
Savlje
Šiška
Ježica
Koseze
Stožice
Tomačevo
Žale
Ljubljana
Bežigrad
Prule
Moste
Trnovo
Raztezanje slabše prepustnih plasti v nezasičenem delu vodonosnika
0
1
2
3
km
Avtorji vsebine: Dejan Šram, Mitja Janža
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



Slika 41: Izseka dveh realizacij geostatističnega hidrogeološkega modela (Janža 2009).

7.2 HIDROLOŠKI MODEL

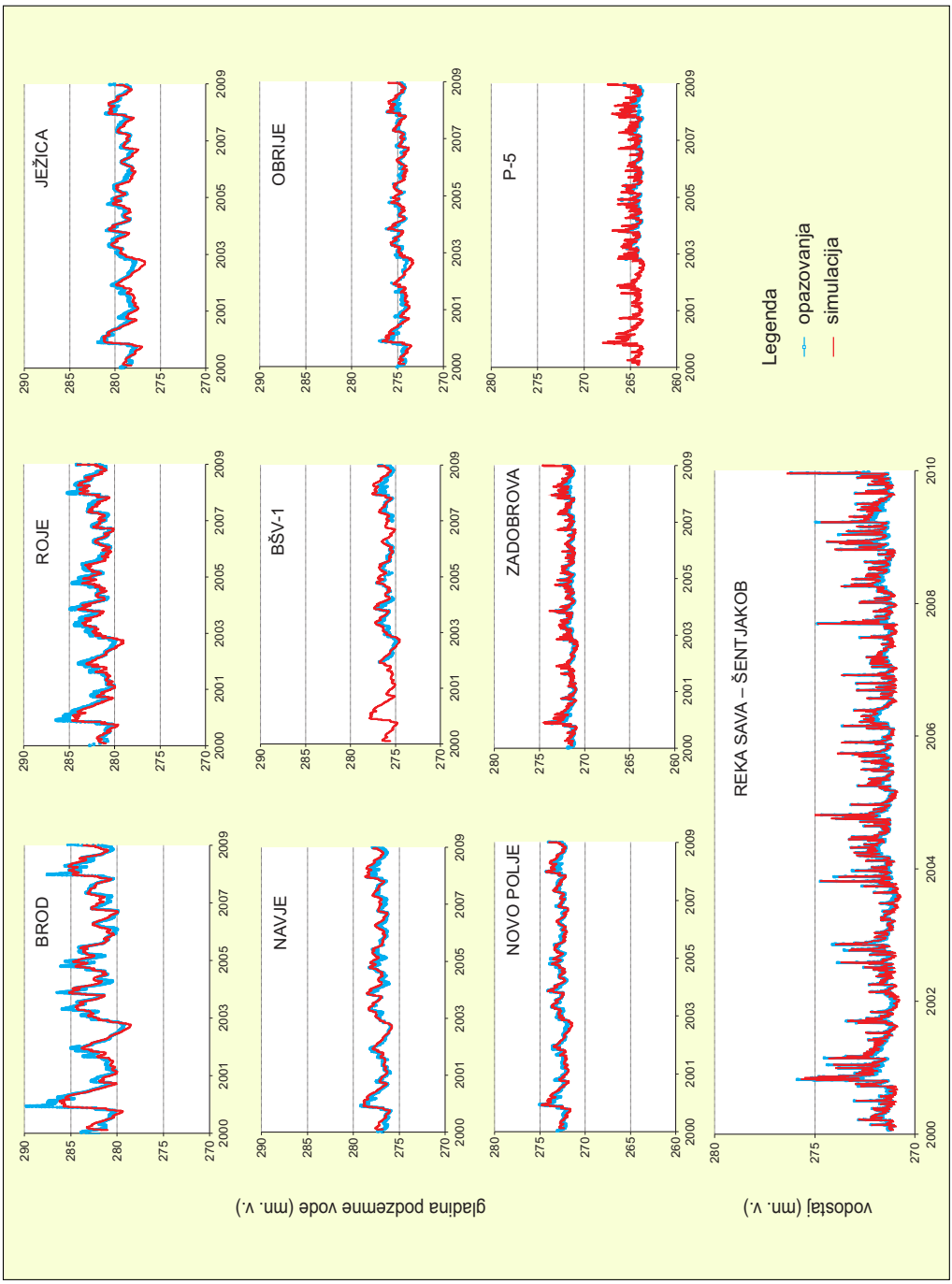
Hidrološki (matematični) model Ljubljanskega polja obsega ravninski del napajalnega območja odseka reke Save med Mednim in Dolskim. Območje s površino 96 km^2 je v modelu v vodoravni smeri razdeljeno na celice velikosti 200 krat 200 m. Vodonosnik je opisan z eno računsko plastjo. Prostorska porazdelitev lastnosti vodonosnika temelji na rezultatih geostatističnega modela. Model je izdelan s programskima orodjema MIKE SHE in MIKE 11 (Graham in Butts 2005). Združitev obeh programskih orodij omogoča dinamično simulacijo medsebojnega vpliva površinske in podzemne vode ter drugih pomembnejših procesov vodnega kroga. Na obravnavanem območju se model lahko uporablja za simulacijo teh procesov, vključno z razširjanjem onesnaževal v vodonosniku (Janža 2014).

Glavnina meje modela je opredeljena kot neprepustna meja. V severozahodnem delu na odsekih med Ljubljanskim gradom in Rožnikom ter Šišenskim in Šentviškim hribom je meja modela odprta. Na teh mejnih odsekih smo časovno spremenljivost gladine podzemne vode določili na podlagi dnevnega nihanja gladine podzemne vode v bližnjih opazovalnih vrtinah, v odvisnosti od hidroloških razmer v časovnem obdobju treh let, v letih 2004–2006 (Janža, Meglič in Šram 2011). Odprt mejni odsek v skrajnem vzhodnem delu modela ima nespremenljivo gladino podzemne vode, ki ustreza dolgoletnemu povprečju opazovanj v okolici tega odseka. V modelu smo uporabili dnevne vrednosti časovno odvisnih spremenljivk (temperatura, padavine, potencialna evapotranspiracija, nihanje gladine podzemne vode, vodostajev in pretokov rek, dokumentirani odvzemi iz vrtin).

Na obravnavanem območju ima najpomembnejši vpliv na podzemno vodo Sava. Vpliv Ljubljanice je omejen na odsek dolvodno od Fužinskega gradu. Vpliv Kamniške Bistrice je še manjši in omejen na skrajni vzhodni del vodonosnika. Uporabljeni rečni model obsega del Save med merskima postajama Medno in Litija ter oba omenjena pritoka na tem odseku. Robna pogoja modela Save sta pretok na hidrološki postaji Medno in vodostaj reke na hidrološki postaji Litija. Robni pogoj modela Ljubljanice je pretok na hidrološki postaji Moste, za Kamiško Bistrico pa z modelom padavine–odtok simulirani dotoki iz zaledja. Oblike rečnih korit smo določili z izmerjenimi prečnimi preseki (pri Savi jih je 31, Ljubljanici 71 in Kamniški Bistrici 4), ki so bili zbrani za izdelavo predhodnega modela (Kristensen in Andersson 1999) in dopolnjeni z novimi meritvami Agencije Republike Slovenije za okolje v letu 2008. Prepustnosti rečnih korit, ki pogojuje izmenjavo vode med vodonosnikom in rekami, smo določili z umerjanjem modela.

7.2.1 UMERJANJE IN VREDNOTENJE MODELA

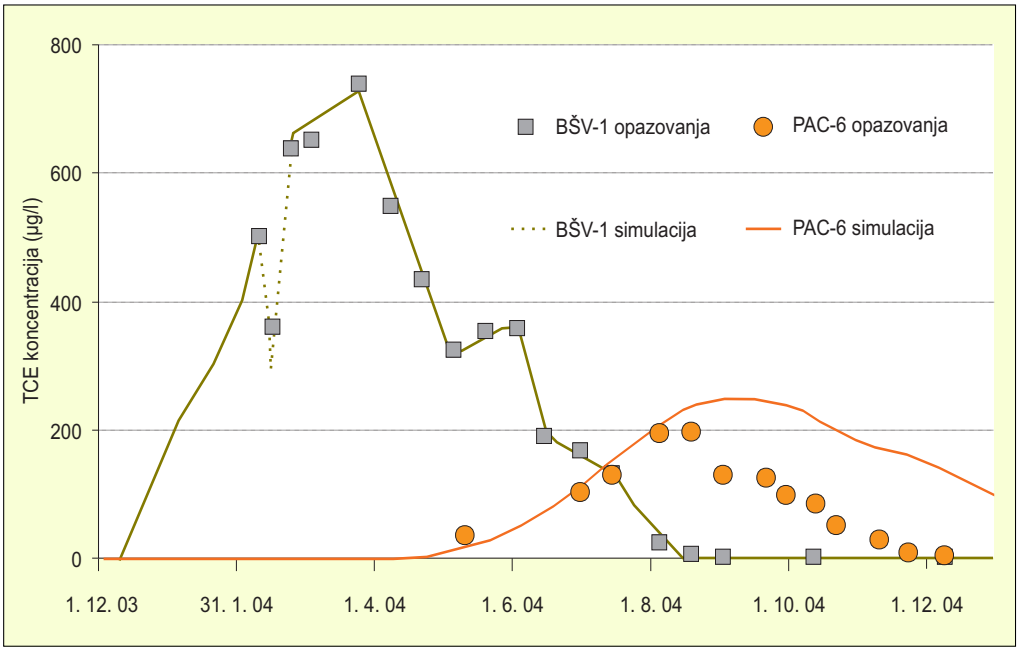
Za umerjanje hidrološkega modela smo uporabili opazovano dnevno nihanje gladine podzemne vode v dvanajstih opazovalnih vrtinah in vodostaje Save v triletnem obdobju (2004–2006) na merilni postaji Šentjakob. Čim boljše ujemanje rezultatov modela in opazovanega stanja v naravi smo poskušali



Slika 42: Primerjava opazovanih in simuliranih gladin podzemne vode ter vodostajev Save za desetletno obdobje 2000–2009 (Janža 2014).

doseči s prilagajanjem vrednosti parametrov modela, predvsem koeficientov prepustnosti vodonosnika in rečnega korita.

Umerjen model smo uporabili za simulacijo nihanja gladine podzemne vode za desetletno obdobje (2000–2009). Ujemanje rezultatov modela in opazovanj v letih 2000–2009 smo ovrednotili tudi z numeričnimi kriteriji in je primerljivo med obdobjem umerjanja in vrednotenja. Kriteriji vrednotenja med posameznimi opazovalnimi vrtinami se nekoliko razlikujejo, vendar srednja napaka (*mean error*, ME) ne presega 0,36 m, najvišja vrednost absolutne napake (*mean absolute error*, MAE) je 0,55 m, korena povprečne kvadratne napake (*root mean square error*, RMSE) pa 0,76 m. Visoke vrednosti korelacijskega (r)



Slika 43: Primerjava opazovanih in simuliranih koncentracij trikloroetena (TCE) v vrtinah BŠV-1 in PAC-6 med decembrom 2003 in decembrom 2004 (Janža 2014).

Preglednica 5: Vrednosti parametrov vrednotenja hidrološkega modela (Janža 2014).

opazovalne vrtine/ hidrološka postaja	ME (m)	MAE (m)	RMSE (m)	R	N
Brod (vrtina)	0,06	0,55	0,76	0,91	0,82
Roje (vrtina)	0,36	0,45	0,55	0,95	0,81
Ježica (vrtina)	0,24	0,35	0,45	0,92	0,71
Navje (vrtina)	–0,24	0,31	0,38	0,89	0,59
BŠV-1 (vrtina)	–0,23	0,32	0,40	0,90	0,37
Obrije (vrtina)	0,08	0,26	0,32	0,89	0,52
Novo Polje (vrtina)	–0,01	0,20	0,24	0,92	0,72
Zadobrova (vrtina)	–0,09	0,15	0,21	0,95	0,73
P-5 (vrtina)	–0,20	0,20	0,25	0,98	0,67
Šentjakob (postaja)	–0,04	0,10	0,12	0,99	0,94

in Nash-Sutcliffovega koeficienta (NS, Nash in Sutcliffe 1970) potrjujejo zmožnost modela, da simulira dinamiko nihanja gladine podzemne vode. Ujemanje simuliranih in opazovanih vodostajev Save je boljše kot ujemanje gladin podzemne vode.

Za vrednotenje modela razširjanja onesnaženja smo uporabili pojav onesnaženja s trikloroetenom (TCE). Onesnaženje iz neznanega vira so zasledili na začetku leta 2004 v opazovalni vrtini BŠV-1 in je pozneje doseglo visoke koncentracije v opazovalni vrtini PAC-6 (Janža s sodelavci 2005). Kot vhodni podatek v modelu smo uporabili opazovane koncentracije v prvi vrtini.

Pojav onesnaževala in naraščanje koncentracij v opazovalni vrtini PAC-6 je simulirano bolj zanesljivo kot padajoči del koncentracij, kjer so simulirane koncentracije višje. To odstopanje lahko delno pripišemo uporabljenemu konservativnemu pristopu, ki ne upošteva razgradnih procesov onesnaževal v vodonosniku. Z upoštevanjem najbolj neugodnih razmer praviloma zmanjšamo zanesljivost napovedi modela. Vendar uporabljen pristop zagotavlja večjo varnost in zmanjša možnost, da napovedane koncentracije onesnaževala v podzemni vodi ne bi bile podcenjene, kar bi za upravljanje vodnega vira lahko imelo neugodne posledice.

7.3 SKLEPI

Sodobno upravljanje vodnih virov pogosto zahteva proaktivno delovanje, kar je pogojeno z zmožnostjo napovedovanja razvoja dogodkov. Pri tem so lahko primerna pomoč modeli. Temeljni pogoj za izdelavo modela je poznavanje naravnega sistema. Pri hidrološkem modeliranju je ena pomembnejših lastnosti naravnega sistema prostorska porazdelitev hidrogeoloških lastnosti vodonosnika. Te imajo namreč ključen vpliv na tok podzemne vode in posledično razširjanje onesnaževal v nezasičenem in zasičenem delu vodonosnika.

S pomočjo geostatistične analize (sekvenčne indikatorske simulacije) smo podatke iz 1138 vrtin uporabili za opredelitev hidrogeoloških lastnosti v nezasičenem delu vodonosnika s postavitvijo hidrogeološkega strukturnega tridimenzionalnega modela. V njegovem zasičenem delu smo z geostatistično indikatorsko simulacijo in podatki iz 258 vrtin dobili stohastični model oziroma niz enako verjetnih geostatističnih hidrogeoloških modelov, ki prikazujejo prostorsko raznolikost zasičenega dela vodonosnika. Zaradi interpretacije z nizom enako verjetnih modelov je omogočena tudi ocena hidrogeološke negotovosti.

Izdelani matematični hidrološki model temelji na najnovejših podatkih in dognanjih, povezanih s hidrogeološkimi razmerami in procesi vodnega kroga na obravnavanem območju. Primerjava opazovanih pojavov in rezultatov modela kaže zmožnost simuliranja dinamike podzemne vode in vodostajev Save, kakor tudi razširjanja onesnaževal v vodonosniku. Zanesljivost simulacij je v okviru, ki zagotavlja uporabnost modela pri upravljanju obravnavanega vodnega vira.

8 NAČRTOVANJE ZAŠČITNIH UKREPOV NA PODLAGI MODELA OBREMENITEV IN VPLIVOV NA PODZEMNO VODO LJUBLJANSKEGA POLJA

Prvi model obremenitev in vplivov je bil za vodonosni sistem Ljubljanskega polja izdelan leta 2005 v okviru priprave Načrta upravljanja z vodami Republike Slovenije (Prestor s sodelavci 2005). Ta model nam je služil za oceno, ali bomo do leta 2015 lahko dosegli skupne cilje evropske vodne politike, predvsem glede nitratov in pesticidov, najpomembnejših onesnaževal v Evropski uniji. Model, ki je temeljil na mreži celic velikosti 100 krat 100 m, je bil narejen za celotno Slovenijo. Z njim smo računali, kako se celotna količina dušika, ki se lahko letno spere v podzemno vodo, razredči z letno obnovljivo količino vode. Pri tem smo upoštevali podatke o presežkih dušika v prsti iz kmetijstva, in količine izgube dušika, povezane s poselitvijo. Izračunane koncentracije smo primerjali z dejansko izmerjenimi koncentracijami na dokaj redkih merilnih mestih državnega monitoringa. S to primerjavo in linearno regresijo smo opravili enostavno korekcijo izračunanih koncentracij. Za Ljubljansko polje smo izračunali, da je pričakovana povprečna koncentracija nitratov v podzemni vodi 19,3 mg/l in, da približno 26 % mase dušika prihaja iz razpršenih virov poselitve ter približno 74 % iz kmetijstva na Ljubljanskem polju. Na podlagi tega smo ocenili, da na Ljubljanskem polju ne bi smeli imeti težav pri doseganju evropskega okoljskega cilja, to je koncentraciji nitratov v podzemni vodi, manjši od 50 mg/l.

Pozneje smo za analizo obremenitev in vplivov pripravili precej podrobnejši model (Prestor s sodelavci 2011). Pozornost smo posvetili predvsem izdelavi natančnega modela količinske in prostorske porazdelitve izgub iz celotnega kanalizacijskega omrežja. Nato smo izračunane obremenitve vgradili v matematični model toka podzemne vode. Z njegovo pomočjo smo dobili natančno sliko širjenja onesnaženj po celotnem vodonosniku Ljubljanskega polja in jo primerjali z dejanskimi rezultati monitoringa. Na podlagi tega smo lahko z večjo gotovostjo ocenili deleža obremenitev z dušikom iz kmetijske rabe in iz odpadnih vod.

Izdelali smo tudi model masne bilance onesnaževal na dotoku in iztoku iz kanalizacijskega omrežja ter ocenili delež glavnih virov obremenitev. Na podlagi tega smo lahko ocenili, kakšen delež obremenitev imamo pod nadzorom in kakšen delež onesnaževal izhaja iz neznanih virov.

8.1 METODOLOGIJA

Obremenitev je masa snovi, ki se prenaša v podzemno vodo. Vpliv pa je koncentracija onesnaževala v podzemni vodi. Čim bolj sta vodonosnik in podzemna voda občutljiva oziroma ranljiva, tem večji vpliv imajo obremenitve. V najslabšem primeru se celotna masa onesnaževala prenese v podzemno vodo. V tem primeru je koncentracija onesnaževala v podzemni vodi enaka masi onesnaževala, razredčeni z letno količino obnovljive podzemne vode.

8.1.1 SKUPNA KOLIČINA IZGUB IZ KANALIZACIJSKEGA OMREŽJA

Temeljni podatki, ki smo jih uporabili za oceno izgub iz kanalizacijskega omrežja, so bile dnevne meritve dotoka v Centralno čistilno napravo Ljubljana (v nadaljevanju CČN Ljubljana) za obdobje od leta 2000 do leta 2010. Stalne meritve opravlja Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o. in v tem obdobju je bil le krajši izpad meritev. Posredovali so nam tudi podatke o prodani vodi za prispevno območje, s katerega se odpadna voda odvaja v CČN Ljubljana, v katerem so naselja v Mestni občini Ljubljana in kraj Medvode v občini Medvode (Brglez 2011).

Iz dnevnih podatkov o dotokih v CČN Ljubljana smo v letih 2000–2010 izbrali 13 sušnih obdobij za primerjavo razlik med količinami odvedene vode in dotoki v CČN Ljubljana. Ta obdobja smo določili v zimskem času, ko ni vpliva padavinske odpadne vode. V takih obdobjih se namreč večina prodane vode predvidoma odvaja v kanalizacijo, saj se ne porablja za zalivanje, pranje in podobne dejavnosti na prostem.

Iz primerjave razlik med dotoki v CČN Ljubljana in prodano odvedeno vodo smo ugotovili, da je dotok v CČN Ljubljana tudi v sušnih obdobjih vedno večji, kot je skupna količina, ki jo odvajajo vsi uporabniki. Zato smo upoštevali še oceno vtoka tujih vod v kanalizacijo. Za količino infiltracije tujih vod v kanalizacijo obstajajo različne ocene (na primer Panjan 2004), odvisne od gostote prebivalstva, odtočnega koeficienta, priključene površine, dolžine in premera kanala. Privzeli smo najnižjo oceno 0,05 l/s na hektar s kanalizacijo opremljene površine, ki je za CČN Ljubljana 55,32 km^2.

8.1.2 MASNA BILANCA ONESNAŽEVAL NA VTOKU IN IZTOKU IZ KANALIZACIJSKEGA OMREŽJA

Za oceno masne bilance onesnaževal na vtoku in iztoku iz kanalizacijskega omrežja smo uporabili dve razpoložljivi kemijski analizi odpadne vode na dotoku v CČN Ljubljana za leto 2008 (Šušteršič 2011). Prva analiza je bila odvzeta v času dotoka 67.300 m^3/dan, druga pa v času dotoka 93.300 m^3/dan. Prvi pretok smo upoštevali kot nizek in značilen za 244 dni s padavinami manj kot mm/dan. Drugi pretok smo upoštevali kot značilen za 121 dni s padavinami več kot mm/dan. Letno maso onesnaževal na dotoku v CČN Ljubljana smo izračunali kot vsoto zmnožkov koncentracij in pretokov za posamezne dni. Pri končni oceni smo upoštevali, da je ta masa onesnaževal manjša od dejanskega vnosa onesnaževal za količino izgub iz kanalizacije.

Za oceno skupne mase vnosa v kanalizacijsko omrežje smo za dušik (N), fosfor (P) in ogljik (C) privzeli v literaturi navedene vrednosti naštetih primesi v odpadni vodi iz gospodinjstev, izraženih v enotah mase na populacijsko enoto na dan (g/PE/dan), ki so za dušik 13,9 g/PE/dan, fosfor 2,3 g/PE/dan in ogljik 37 g/PE/dan (Panjan 2004). Tudi za prometne površine smo vrednosti koncentracij v odpadni vodi privzeli iz literature. Vrednosti za dušik so 4,1 mg/l (Barett s sodelavci 1995), fosfor 0,23 mg P/l in celotni organski ogljik 19,6 mg/l (Tedeschi 1997).

Za oceno deležev virov drugih pomembnejših onesnaževal na dotoku v CČN Ljubljana smo iz literature zbrali vrsto podatkov o koncentracijah teh onesnaževal v odpadnih vodah s prometnih površin in drugih urbanih zemljišč. Pri tem smo izbrali novejše vire in nižje vrednosti. Med izbranimi parametri

Preglednica 6: Izbor podatkov o koncentracijah izbranih najpomembnejših parametrov v odpadnih vodah s prometnih in podobnih površin (BTX[1] – lahkohlapni aromatski ogljikovodiki, PAH[2] – policiklični aromatski ogljikovodiki, AOX[3] – adsorbljivi organski halogeni)

parameter	koncentracija (mg/l)	vir podatka	meja določljivosti analiznih metod pri preskušanjih odpadne vode na dotoku v CČN Ljubljana leta 2008 (Šušteršič 2011)
kadmij	0,003	(Tedeschi 1997, 287)	< 0,001 in < 0,0003
baker	0,022	(Barett s sodelavci 1995, 14)	
cink	0,056	(Barett s sodelavci 1995, 14)	< 0,1
celotni krom	0,0075	(Pintar s sodelavci 1997, 4)	< 0,01
nikelj	0,0054	(Pintar s sodelavci 1997, 4)	< 0,01 in < 0,013
svinec	0,0113	(Pintar s sodelavci 1997, 4)	< 0,005
arzen	0,058	(Barett s sodelavci 1995, 14)	< 0,01 in < 0,007
živo srebro	0,00322	(Barett s sodelavci 1995, 14)	< 0,001 in < 0,0002
kloridi	159	(Tedeschi 1997, 287)	
sulfati	15	(Tedeschi 1997, 287)	
BTX[1]	0,06	(Steinman s sodelavci 2007, priloga 4.5)	< 0,01
PAH[2]	0,0001622	(Pintar s sodelavci 1997, 7)	< 0,00005
AOX[3]	0,31	(Steinman s sodelavci 2007, priloga 4.5)	
fenoli	0,04	(Steinman s sodelavci 2007, priloga 4.5)	

so se v omenjenih razpoložljivih analizah dotoka v CČN Ljubljana v koncentracijah nad mejo določljivosti pojavili le baker, cink, adsorbljivi organski halogeni (AOX), fenoli in kloridi. Za ostale parametre smo privzeli, da je meja določljivosti analitske metode najvišja možna koncentracija.

Maso onesnaževal s prometnih površin smo izračunali kot zmnožek koncentracije onesnaževal v odpadni vodi s prometnih površin in izračunanega odtoka s prometnih površin. Za izračun odtoka smo upoštevali koeficient odtoka 0,9 in letno količino padavin 1430 mm. Površino prometnih površin smo izračunali iz podatka o dolžini cest na obravnavanem območju (Jordan 2009). Pri tem smo privzeli, da je povprečna širina ceste 10 m in izračunali, da je skupna površina prometnih površin 956 ha in letna količina odtoka z njih 390 l/s.

Maso onesnaževal iz izpustov industrijske odpadne vode smo izračunali kot srednjo vrednost letnih količin (kg/leto), ki so jih zavezanci za emisijski monitoring poročali v obdobju med letoma 2004 in 2008 (Smrekar s sodelavci 2010).

8.1.3 PROSTORSKA PORAZDELITEV IZGUB IZ KANALIZACIJSKEGA SISTEMA

Model prostorske porazdelitve izgub iz kanalizacije smo pripravili na podlagi vzorčnega, 14,82 km dolgega odseka kanalizacije na območju Bežigrad–Jarše. Ta vzorec predstavlja 2 % celotne kanalizacije na obravnavanem območju. Podatke o premerih cevi, materialu, iz katerega so, in letu vgradnje smo privzeli iz podatkovne baze onesnaževalcev (Smrekar s sodelavci 2010). Preiskani vzorec kaže v splošnem slabše stanje tamkajšnje kanalizacije v primerjavi s celotnim obravnavanim območjem. Delež betonskih cevi je 94,3 %, medtem ko je na celotnem obravnavanem območju 75,0 %. Večji, 59,7 %, je tudi delež cevi, starejših od 40 let, medtem ko je na celotnem obravnavanem območju 36,9 %.

Poškodbe na vzorčnem odseku kanalizacije, pri katerih je verjetnost izgub velika, smo določili na podlagi opisov poročila o pregledu s TV kamero (JP VO-KA 2012). Te poškodbe so v poročilu podane kot: »netesnost – vidno dno«, »korozija – vidno dno«, »razpoke – radialne, vzdolžne«, »podrt kanal«, »odklon položaja cevi – pomik« in »manjka del cevi – vidno dno«. Manjše poškodbe, kot je vraščanje korenin in podobno, niso bile upoštevane, saj naj ne bi pomembneje vplivale na izgube. Tako so bile določene 104 pomembne poškodbe od skupno 1246 vidnih napak. Za nekatere poškodbe so širine podane v poročilu, ostale pa smo ocenili na podlagi poročil o pregledu s TV kamero.

Površino razpoke, razen za primere opisov »manjka del cevi - vidno dno«, pri katerih je bil ta podatek razviden iz poročil, smo izračunali po naslednji enačbi:

$$A_{razpoke} = l \cdot š$$

$$l = d \cdot a\cos(1 - 2 \cdot f),$$

kjer je:
$A_{razpoke}$ – površina razpoke (m^2);
l – omočeni obod (m);
$š$ – širina razpoke (m);
f – delež polnitve kanalskih cevi (%);
d – premer cevi (m).

Skupne povprečne izgube iz posamezne poškodbe (razpoke) smo izračunali z naslednjo enačbo:

$$q_{razpoke} = k_{sušni} \cdot A_{razpoke} \cdot l_{sušni} \cdot \frac{146}{365} + k_{dežni} \cdot A_{razpoke} \cdot l_{dežni} \cdot \frac{218}{365} + k_{naliv} \cdot A_{razpoke} \cdot l_{naliv} \cdot \frac{1}{365}$$

$$I = \frac{b + f \cdot d}{b},$$

kjer je:
$q_{razpoke}$ – skupna povprečna izguba za posamezno razpoko (m^3/s);
$k_{sušni/dežni/naliv}$ – ocena prepustnosti biofilma pri sušnem/dežnem/nalivnem odtoku (m/s);
$A_{razpoke}$ – površina posamezne razpoke (m^2);
$I_{sušni/dežni/naliv}$ – hidravlični gradient ob suhih/padavinskih/ekstremnih padavinskih razmerah;
b – debelina biofilma (m);
f – delež polnitve kanalskih cevi (%).

Omočene obode smo izračunali za različne gladine toka v cevi. V ta namen smo analizirali meteorološke podatke za obdobje od leta 2000 do leta 2010. Ugotovili smo, da se povprečno enkrat letno pojavi večje deževje, ko so kanali preplavljeni. Nadalje smo privzeli, da je letno 218 dni, ko imamo padavinski odtok, in 146 dni, ko je ob sušnem vremenu odtok obremenjen le z odpadno vodo.

Tehnična izvedba in uporaba javnega kanalizacijskega omrežja ter kanalizacijskih objektov in naprav v upravljanju Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija d. o. o. se urejata s pravilnikom Tehnična navodila za kanalizacijo (medmrežje 12). Skladno z njim je ustreznost dimenzij kanalov mešanega tipa treba dokazati s hidravličnim računom, pri katerem se za maksimalne vrednosti polnitev (h/dan) upošteva do 70 % polnitev pri projektiranem nalivu ter do 50 % polnitev pri maksimalnem sušnem odtoku. Pri mešanem sistemu odpadna voda večji del leta zavzame približno 10 % celotnega volumna cevi (Drev in Panjan 2009). Na podlagi tega smo privzeli, da je delež polnitve kanalskih cevi ob sušnem odtoku 10 % (146 dni letno), ob dežnem odtoku 50 % (218 dni letno) in ob izjemnem deževju 100 % (1 dan v letu).

Za razporeditev izgub po celotnem kanalizacijskem sistemu smo nato na podlagi materiala in starosti vgradnje določili značilne razrede kanalizacije. Iz podatkovnega sloja onesnaževalcev (Smrekar s sodelavci 2010) smo posamezne odseke kanalizacijskih cevi razvrstili v skupine glede na material (beton, ostalo) in glede na starost (zgrajene do leta 1975, med letoma 1975 in 1995 ter med letoma 1996 in 2008). V razred materialov z oznako beton smo všteli še azbestni cement in vlaknasti cement ter druge materiale (opeko, jeklo, lito železo, keramiko, kamen in neznane materiale). V podatkovnem sloju so drugi materiali podani kot mešana skupina, vendar je v celotni dolžini omrežja na obravnavanem območju njihov delež skorajda zanemarljiv (1,45 %). V razredu ostalo so zajete prevladujoče polivinilkloridne in poliestrske cevi, poleg tega pa še nodularne litine in »insituform« obloge. Cevi iz materialov tega razreda sestavljajo 25 % dolžine kanalizacijskega omrežja.

Navedene razrede smo izbrali na podlagi študije tesnosti kanalizacijskih sistemov in objektov (Šauperl in Eržen 1997). Avtorja sta ugotovila izrazit napredek na področju tesnosti betonskih cevi, ki se je z 9,2 % leta 1993 povečala na 49,0 % leta 1995, pri polivinilkloridnih ceveh pa s 26,7 % na 94,0 %. Dodatno

Preglednica 7: Razredi kanalizacijskih vodov po materialu, starosti vgradnje in dolžini ter način izračuna izgub.

razred	število napak	dolžina (m)	izgube po odsekih (l/s)
beton, do 1975	67	20.897	dolžina odseka × povprečne izgube$_{(do\ 1975)}$
beton, 1975–1995	32	48.047	dolžina odseka × povprečne izgube$_{(1975–1995)}$
beton, 1996–2008	0	150.711	dolžina odseka × povprečne izgube$_{(1996–2008)}$ × 0,5
ostalo, do 1975	0	301.709	dolžina odseka × povprečne izgube$_{(do\ 1975)}$ × 3
ostalo, 1975–1995	0	337.619	dolžina odseka × povprečne izgube$_{(1975–1995)}$ × 2
ostalo, 1996–2008	5	16.401	dolžina odseka × povprečne izgube$_{(1996–2008)}$

smo upoštevali še, da je pogostost poškodb opečnatih in betonskih kanalov, položenih pred letom 1975, večkratno večja kot kanalov, zgrajenih po tem letu.

Na vzorčnem odseku kanalizacije smo lahko izračunali povprečne izgube za tri razrede z ugotovljenimi napakami: razred beton do leta 1975, razred beton v letih 1975–1995 in razred ostalo v letih 1996–2008. Za druge razrede smo te izračunane povprečne vrednosti množili s faktorji 0,5 ali 2 ali 3, ki smo jih določili po presoji. S seštevanjem izgub na posameznih odsekih smo dobili skupne izgube.

V naslednjem koraku smo model umerili na ocenjeno skupno količino izgub iz celotnega kanalizacijskega omrežja.

8.1.4 OBREMENITVE Z DUŠIKOM IZ KMETIJSTVA

Podatkovni sloji o presežkih dušika na ravni tal za Ljubljansko polje po letu 2006 niso bili nadgrajeni. Zaradi tega smo za obremenitve z dušikom iz kmetijstva privzeli isti sloj, kot je bil uporabljen za Načrt upravljanja voda v letu 2005 (Ministrstvo za okolje … 2005). Ta sloj je bil pripravljen v okviru posebnih strokovnih podlag (Pintar, Sluga in Bremec 2005; Mihelič s sodelavci 2002).

8.1.5 PROSTORSKA ANALIZA VPLIVA NA PODZEMNE VODE

Prostorsko porazdelitev izgub dušika z odpadno vodo iz kanalizacije smo v hidrološki matematični model (Janža, Meglič in Šram 2011) vnesli kot obremenitev z dušikom. Z matematičnim modelom smo nato izračunali, kakšen bi bil vpliv teh obremenitev na koncentracijo nitratov v podzemni vodi. Tako smo dobili porazdelitev pričakovanih koncentracij nitratov v vsaki računski celici modela. Pri tem smo predvideli, da se v podzemno vodo prenese celotna masa dušika.

Potencialne obremenitve podzemne vode iz presežkov dušika, porazdeljene na kmetijska zemljišča glede na njihovo rabo, smo vnesli v matematični model enako kot izgube iz kanalizacije. Na ta način smo dobili prostorsko porazdelitev koncentracije nitratov v podzemni vodi zaradi kmetovanja.

Z matematičnim modeliranjem smo nato izračunali vplive skupnih obremenitev z dušikom iz kanalizacije in iz kmetijstva. Povprečno koncentracijo nitratov v podzemni vodi celotnega prikazanega območja smo izračunali kot srednjo vrednost koncentracij vseh računskih celic.

Za prostorsko analizo vplivov izgub kroma iz kanalizacije smo iz baze podatkov zbrali vse naprave, ki so zavezane za izvajanje emisijskega monitoringa odpadnih vod in na svojem izpustu odpadne vode izvajajo tudi analize vsebnosti kroma (Smrekar s sodelavci 2010). Od vseh teh izpustov smo sledili poteku odpadnih vod v kanalizaciji vse do njihovega iztoka. Na tem poteku smo po modelu prostorske porazdelitve izgub iz kanalizacijskega sistema izračunali količine izgub. Te količine smo vnesli v matematični model toka podzemne vode kot obremenitev, ki se neposredno prenese v podzemno vodo.

Prostorske porazdelitve koncentracij onesnaževal, izračunane z matematičnim modelom, smo primerjali s prostorskimi porazdelitvami iz rezultatov monitoringa. Te smo dobili z interpolacijo vrednosti na posameznih merilnih mestih po metodi utežne inverzne razdalje. Vrednosti na merilnih mestih so srednja vrednost koncentracij parametra za celoten razpoložljiv niz podatkov. Ti podatki so zbrani v skupni bazi, dostopni na spletnem pregledovalniku (http://akvamarin.geo-zs.si/incomepregledovalnik). Za nitrate je bilo upoštevano skupno 788 analiz iz obdobja od leta 1992 do leta 2011, za krom (VI) pa 283 analiz iz obdobja od leta 1993 do leta 2010.

8.2 REZULTATI ANALIZE OBREMENITEV IN VPLIVOV

Ocena masne bilance glavnih onesnaževal, to je dušika, fosforja in celotnega organskega ogljika (TOC) v kanalizacijskem omrežju, je izmerjena na CČN Ljubljana in izračunana z modelom. Z oceno obremenitev lahko skoraj v celoti pojasnimo dotoke teh onesnaževal na čistilno napravo, odstopanje 6 % in 2 % je majhna napaka. Pri tem je nekoliko manj zanesljiva medsebojna porazdelitev deležev

celotnega organskega ogljika, saj je pričakovana masa iz še nepojasnjenih razlogov večja od mase, ki smo jo izračunali iz analize dotoka na CČN Ljubljana.

Iz analize masnih deležev sledi, da so prispevki iz znanih izpustov industrijskih odpadnih vod v primerjavi z ostalimi viri dokaj majhni. To velja predvsem za baker, cink, adsorbljive organske halogene (AOX), fenole in kloride.

Pomemben delež bakra, še večji pa cinka in fenolov, lahko izhaja iz neznanih virov oziroma virov, ki niso pod nadzorom. Skupna masa bakra, ki se je leta 2008 stekla v kanalizacijo, je bila približno 550 kg, masa cinka pa je bila najbrž še precej večja (3800 kg).

Za nepojasnjeni delež kloridov sklepamo, da je posledica podcenjene mase s prometnih površin. Po podatkih Roša in Panjana (2012) so koncentracije kloridov v zimskih odpadnih vodah lahko vsaj desetkrat višje, kot smo jih privzeli v našem izračunu za povprečno vrednost. Zato so kloridi onesnaževalo, katerega trende je potrebno podrobno spremljati in načrtovati ustrezne ukrepe za zmanjševanje tovrstnega obremenjevanja.

Tudi letne mase niklja, kroma, arzena, svinca in triklorometana, ki se stekajo v kanalizacijo, so lahko od 100 do 300 kg/leto; tudi velik del teh mas lahko izvira iz neznanih izvorov.

Preglednica 8: Izmerjene in izračunane količine ter deleži izvorov glavnih onesnaževal v ljubljanskem kanalizacijskem omrežju.

	količina		delež			
	kg/leto, izmerjeno na CČN Ljubljana	kg/leto, izračunano z modelom	gospodinjstva	industrija – zavezanci	urbane površine, promet	nepojasnjeni del oziroma neznani viri
celotni dušik	1.191.824	1.121.246	87,7 %	3,0 %	3,4 %	5,9 %
celotni fosfor	186.026	189.889	92,9 %	7,7 %	1,5 %	–2,1 %
celotni organski ogljik (TOC)	2.551.195	3.325.322	109,0 %	13,8 %	7,6 %	–30,3 %

*Preglednica 9: Izračunani deleži virov pomembnejših onesnaževal z mestnih površin v dotoku iz kanalizacije v Centralno čistilno napravo Ljubljana (*izbrani parametri, ki so se v analizah na dotoku v CČN Ljubljana leta 2008 pojavljali nad mejo detekcije).*

	industrija – zavezanci	urbane površine, promet	gospodinjstva in neznani viri
fenoli*	1,9 %	13,6 %	84,4 %
cink*	6,7 %	17,8 %	75,5 %
baker*	8,7 %	49,2 %	42,2 %
kloridi*	4,1 %	43,7 %	52,2 %
adsorbljivi organski halogeni*	12,9 %	115,1 %	–
triklorometan	3,9 %	–	96,1 %
nikelj	4,4 %	15,9 %	79,7 %
kadmij	0,1 %	49,7 %	50,2 %
krom celokupni	12,2 %	56,9 %	30,9 %
svinec	8,6 %	78,2 %	13,1 %
živo srebro	0,4 %	169,7 %	–
policiklični aromatski ogljikovodiki	0,0 %	103,1 %	–

Povprečni dotok v CČN Ljubljana v obdobju od leta 2000 do leta 2010 je bil 965 l/s. Pričakovani skupni sušni dotok tuje vode smo ocenili na 276,6 l/s. V izbranih 13 sušnih obdobjih med letoma 2000 in 2010 smo med pričakovanimi in dejanskimi dotoki v CČN Ljubljana dobili povprečno razliko 191 l/s. Za reprezentativno smo privzeli sušno obdobje med 18. in 23. februarjem 2001, ko je bila tako ocenjena količina izgub 194 l/s (0,25 l/s/km). Tako ocenjene izgube pomenijo petino dotoka v CČN Ljubljana.

Z modelom prostorske porazdelitev izgub iz kanalizacijskega sistema smo ocenili, da je večina izgub iz betonskih cevi kanalizacije, zgrajene pred letom 1975 (53,4 %), in betonskih cevi, vgrajenih med letoma 1975 in 1995 (40,1 %).

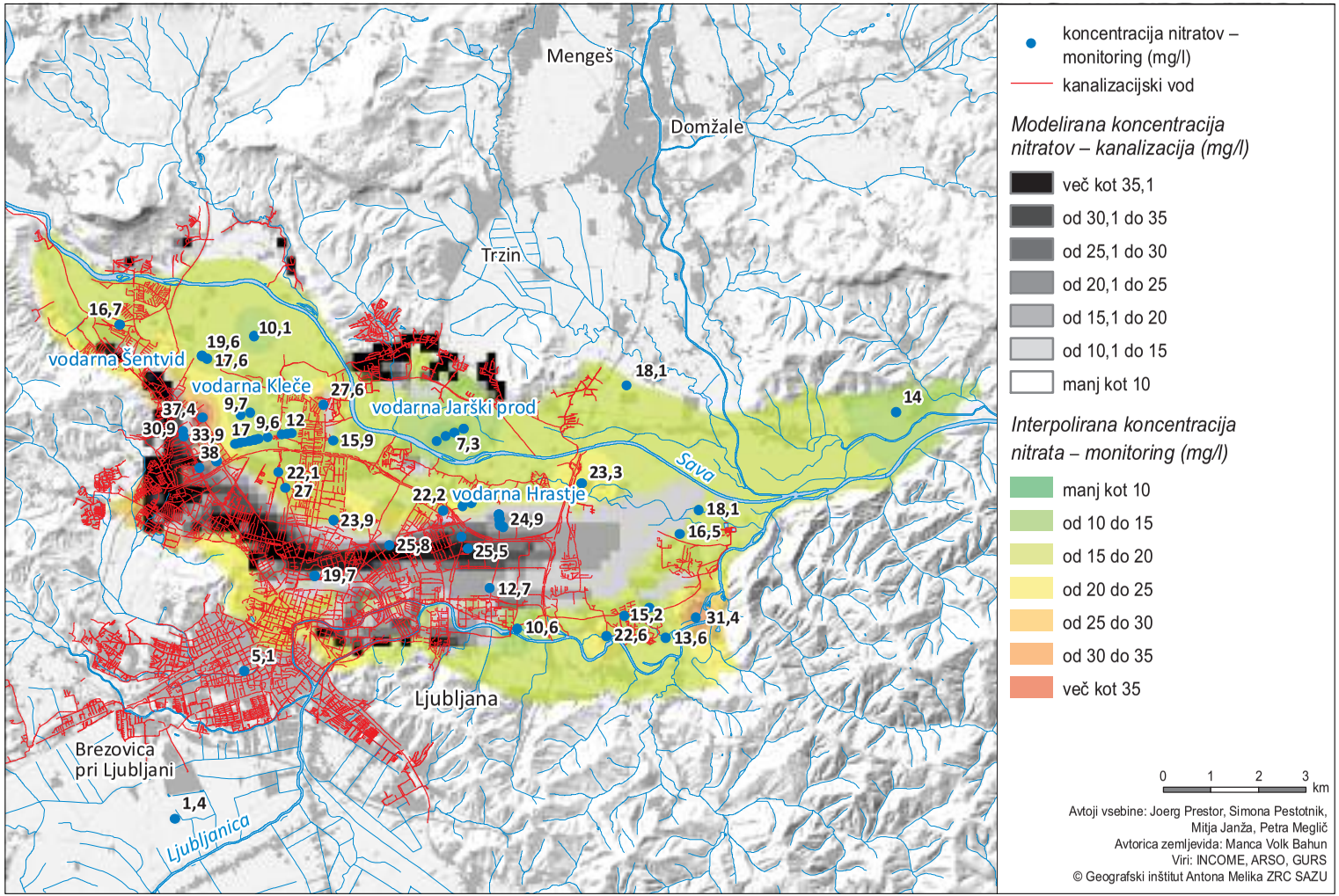
Preglednica 10: Končna ocena porazdelitve izgub iz ljubljanske kanalizacije glede na material in leto gradnje.

	izgube (l/s/km)	dolžina cevi (km)	izgube (l/dan)	izgube (l/s)
betonske cevi				
do leta 1974	0,343	301,709	8.952.212	103,61
od leta 1975 do leta 1995	0,231	337,619	6.725.488	77,84
od leta 1996 do leta 2008	0,115	16,401	163.359	1,89
ostali materiali				
do leta 1974	0,107	20,897	193.238	2,24
od leta 1975 do leta 1995	0,071	48,046	296.197	3,43
od leta 1996 do leta 2008	0,036	150,711	464.551	5,38
skupaj	–	875,385	16.795.045	194,39

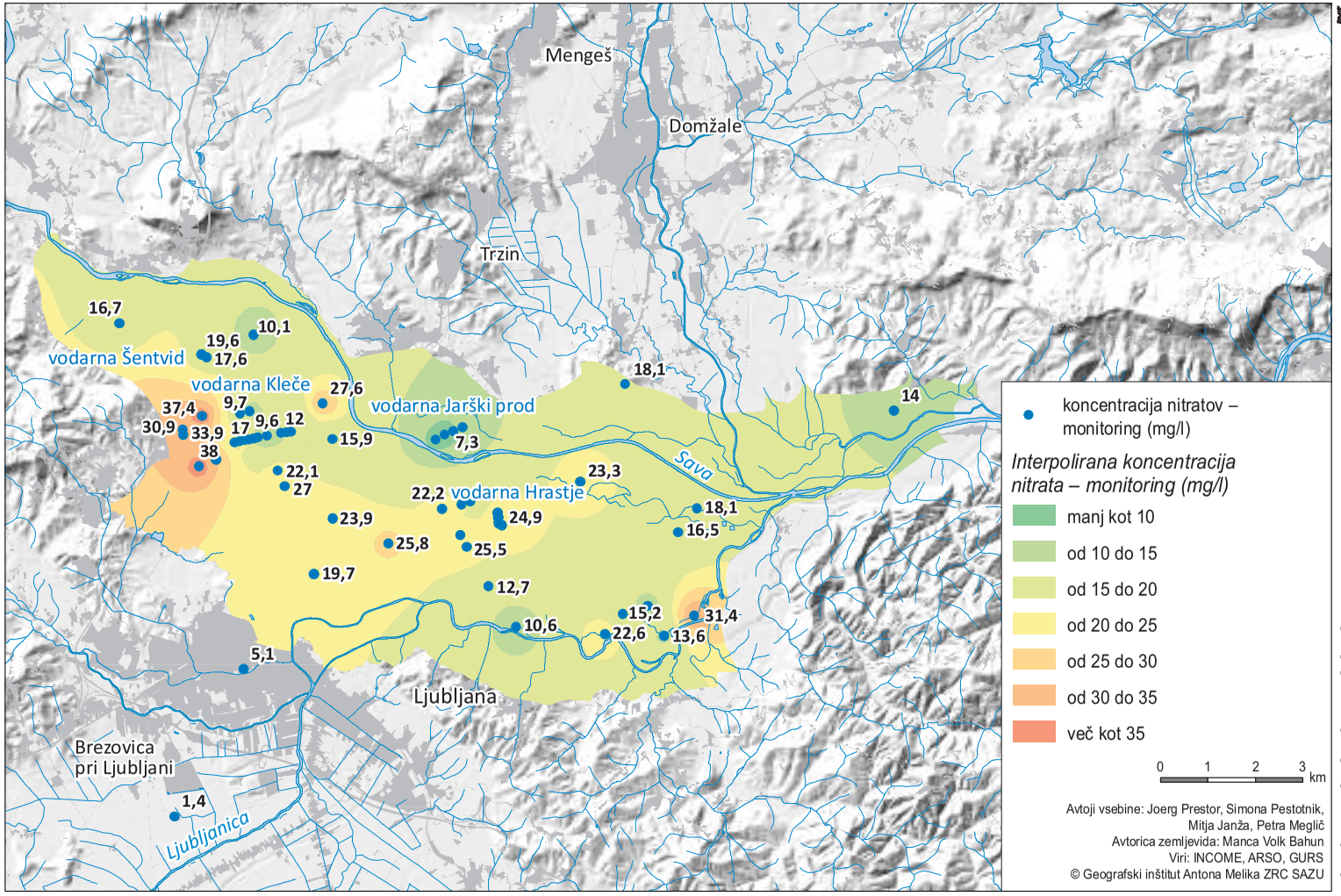
Model obremenitev in vplivov je s pomočjo matematičnega modela toka podzemne vode pokazal, da se jedro onesnaženja z nitrati zaradi izgub odpadnih vod iz kanalizacije širi v smeri Šiška–Savsko naselje–Zelena jama–Novo Polje. To se dobro ujema z jedrom najvišjih koncentracij, kot ga kaže prikaz koncentracij nitratov na merilnih mestih monitoringa. Na sliki je prikazana porazdelitev koncentracij nitratov v računskih celicah. Celice z največjo izračunano koncentracijo so črno obarvane, z manjšo so prikazane v sivih odtenkih. V podlagi je barvna slika razporeditve koncentracij nitratov z interpolacijo rezultatov monitoringa. Ker so prikazane samo celice z višjimi koncentracijami, je vidna tudi slika v ozadju. Hkrati je z rdečimi črtami (betonske cevi) in oranžnimi črtami (ostali materiali) prikazano tudi kanalizacijsko omrežje. Številke pomenijo srednje vsebnosti nitratov na posameznih merilnih mestih.

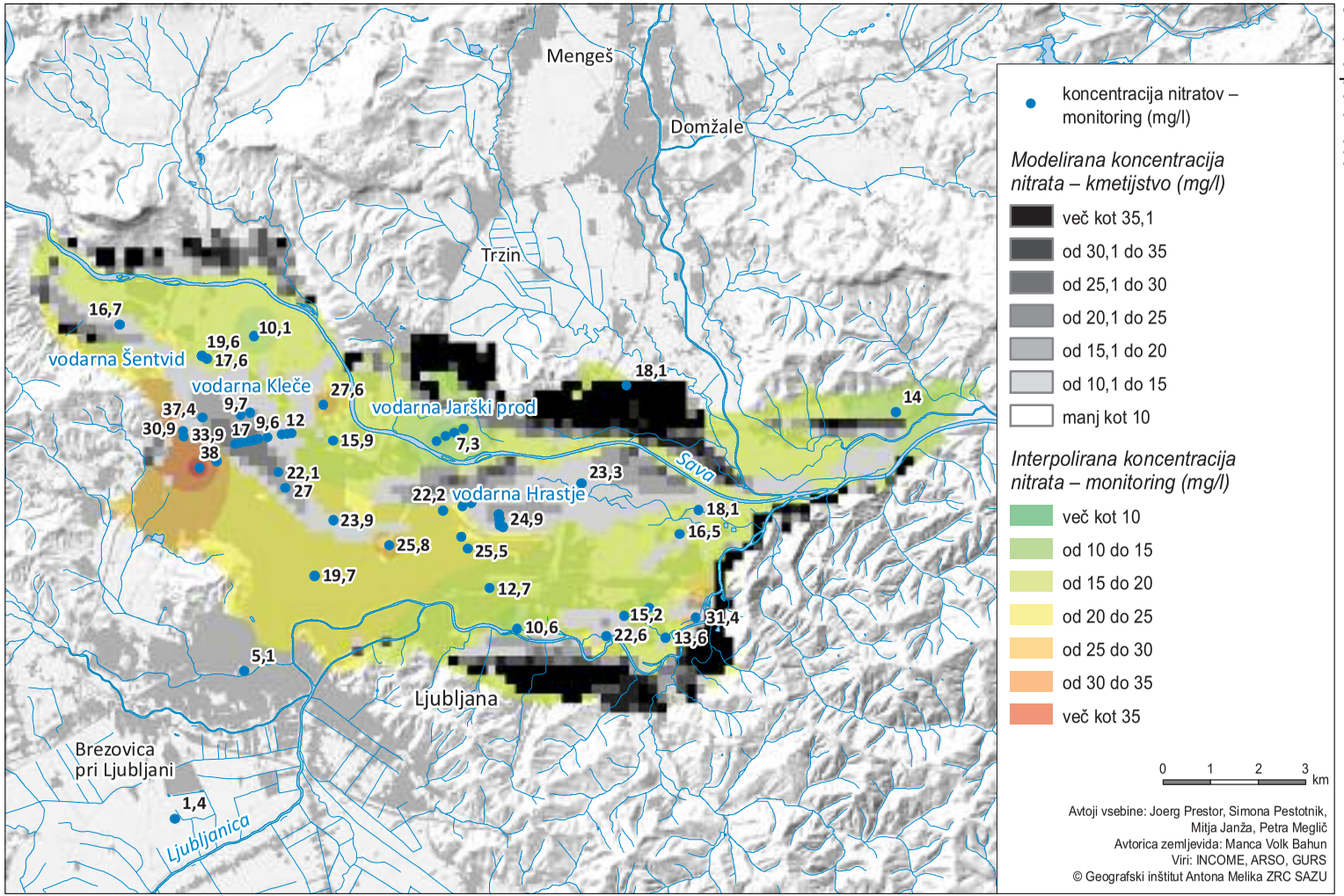
Povprečna koncentracija nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja je 18,83 mg/l, če jo izračunamo kot srednjo vrednost izmerjenih koncentracij. Če jo izračunamo iz interpolacije z metodo utežne inverzne razdalje, je razlika zanemarljiva, saj je izračunana vsebnost 18,59 mg/l.

Slika 44: Primerjava porazdelitve koncentracije nitratov iz rezultatov monitoringa (v barvah) ter modela obremenitev in vplivov zaradi izgub dušika iz kanalizacije (v črno belih odtenkih); v ospredju je prikazano kanalizacijsko omrežje. ► str. 86
Slika 45: Prostorska analiza vplivov na podzemne vode – srednje koncentracije nitratov na merilnih mestih in interpolacija po metodi utežne inverzne razdalje. ► str. 87
Slika 46: Primerjava porazdelitve vsebnosti nitratov iz rezultatov monitoringa (v barvah) ter modela obremenitev in vplivov zaradi presežkov dušika s kmetijskih zemljišč (v črno-belih odtenkih). ► str. 88
Slika 47: Primerjava porazdelitve vsebnosti nitratov iz rezultatov monitoringa (v barvah) ter modela obremenitev in vplivov zaradi presežkov dušika s kmetijskih zemljišč in izgub iz kanalizacije (v črnobelih odtenkih). ► str. 89

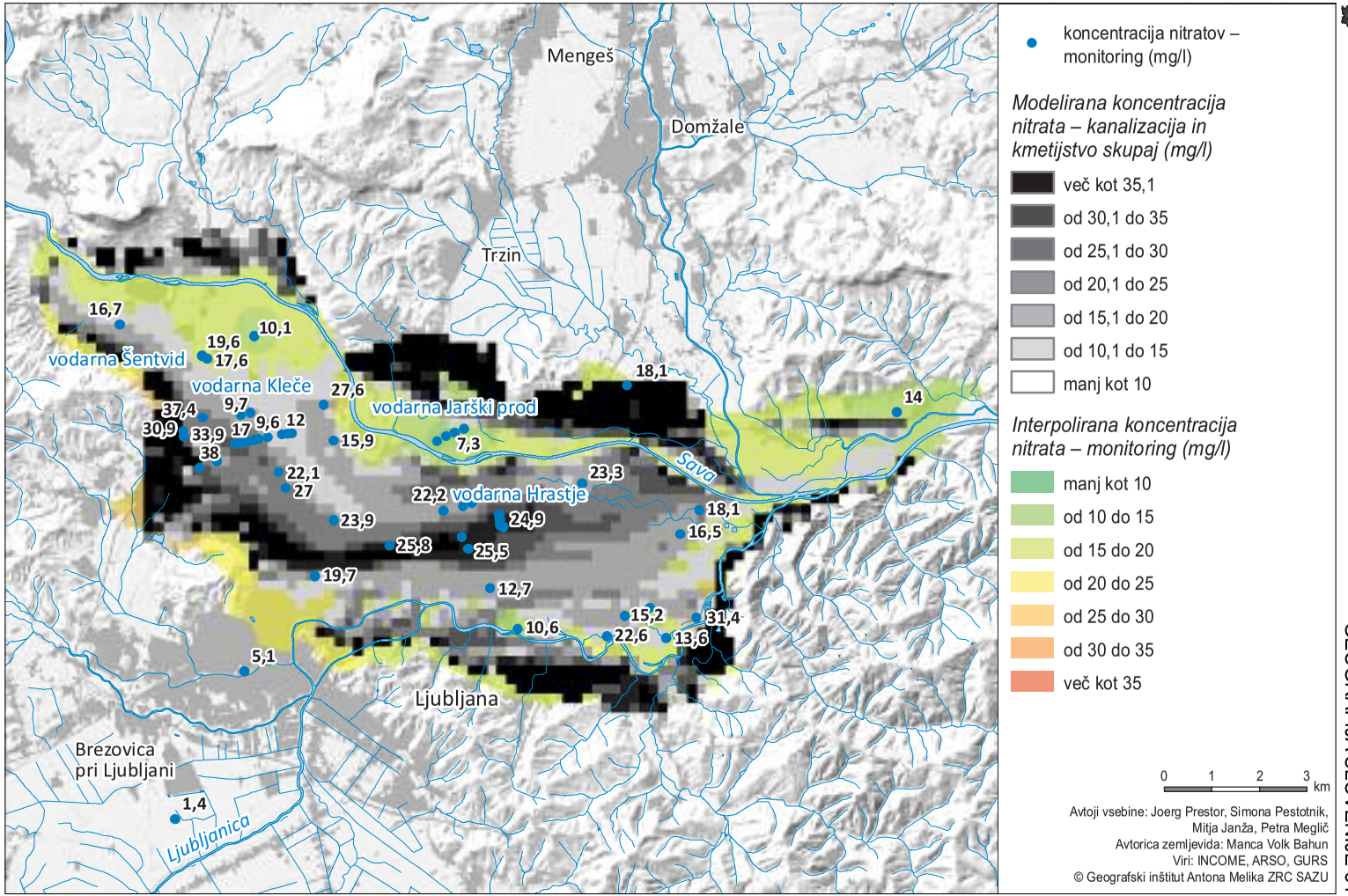


Avtoji vsebine: Joerg Prestor, Simona Pestotnik, Mitja Janža, Petra Meglič
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU


Mengeš
Domžale
Trzin
vodarna Šentvid
vodarna Kleče
vodarna Jarški prod
vodarna Hrastje
Sava
Ljubljana
Brezovica pri Ljubljani
Ljubljanica
16,7
10,1
19,6
17,6
27,6
37,4
9,7
30,9
33,9
17
9,6
12
15,9
7,3
38
22,1
27
23,3
22,2
18,1
23,9
24,9
16,5
25,8
25,5
19,7
12,7
15,2
31,4
10,6
22,6
13,6
5,1
1,4
18,1
14
koncentracija nitratov – monitoring (mg/l)
Interpolirana koncentracija nitrata – monitoring (mg/l)
manj kot 10
od 10 do 15
od 15 do 20
od 20 do 25
od 25 do 30
od 30 do 35
več kot 35
0 1 2 3 km
Avtoji vsebine: Joerg Prestor, Simona Pestotnik, Mitja Janža, Petra Meglič
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



Avtoji vsebine: Joerg Prestor, Simona Pestotnik, Mitja Janža, Petra Meglič
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



Avtoji vsebine: Joerg Prestor, Simona Pestotnik, Mitja Janža, Petra Meglič
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Nekoliko nižjo povprečno koncentracijo, to je 17,6 mg/l, je pokazal model obremenitev in vplivov z matematičnim modeliranjem. Nižja vrednost je pričakovana, saj v modelu ni upoštevan prispevek dušika iz padavinskih vod, ki se ne zbirajo v kanalizaciji. Zelo zanesljivo lahko torej ocenjujemo, da je povprečna koncentracija nitratov v podzemni vodi približno 18,6 mg/l. To vrednost lahko privzamemo kot reprezentativno za obdobje od leta 2000 do leta 2011, iz katerega je večji del zbranih in uporabljenih podatkov.

Na podlagi matematičnega modeliranja ter modela obremenitev in vplivov smo izračunali, da je delež nitratov zaradi izgub iz kanalizacije 7,03 mg/l in delež nitratov zaradi presežkov dušika iz kmetijstva približno 10,58 mg/l. Glede na primerljivost rezultatov modela in izmerjenih koncentracij nitratov v podzemni vodi ocenjujemo, da je zanesljivost te ocene dobra. Največja negotovost v modelu je ocena presežkov dušika iz kmetijstva, ki izhaja iz že omenjenega pomanjkanja sodobnih natančnih podatkov.

Vplivi presežkov dušika s kmetijskih zemljišč se večinoma gibljejo s tokom podzemne vode nekoliko bolj severno od jedra onesnaženja iz kanalizacije. Vzdolž toka podzemne vode sta značilna dva pasova povišanih koncentracij: Vižmarje–zahodni del Kleč/Litostroj–Bežigrad in Tomačevo–Jarše–Sneberje–Hrastje–Zadobrova. Povišane koncentracije so tudi v obrobnih delih vodonosnika, na območjih Sostrega, Vevč, Tacna, Gameljn, Podgorice, Beričevega, katerih zanesljivost pa je zaradi vpliva robnih razmer modela in pomanjkanja merskih mest vprašljiva.

Iz modeliranih vplivov obeh vrst obremenitev (iz kanalizacije in kmetijstva) je razvidno, da se vplivi seštevajo na območju jedra onesnaženja, ki ga prikazuje tudi slika interpoliranih koncentracij iz rezultatov monitoringa. Pri tem je značilno ujemanje najvišjih koncentracij v modeliranem toku podzemne vode in merilnih mestih monitoringa med Zeleno jamo in Hrastjem. Glavno jedro onesnaženja poteka od Dravelj prek območja med Šiško in Litostrojem proti Savskemu naselju, Zeleni jami ter naprej proti Hrastju in Zadobrovi. Temu se pridružuje še manjše jedro onesnaženja iz smeri Ježice proti Bežigradu, Tomačevemu, Jaršam in naprej proti Sneberjam.

Iz modela obremenitev in vplivov sledi, da so v skupni masi dušika obremenitve iz kmetijstva večje od obremenitev iz kanalizacije. Vendar pa so vplivi obeh obremenitev prostorsko zelo različni. V vodarni Kleče je delež iz kanalizacije zanemarljiv, iz kmetijstva pa je okrog 15 mg/l. V vodarni Hrastje sta deleža nitratov iz obeh virov približno enakovredna (Prestor s sodelavci 2011).

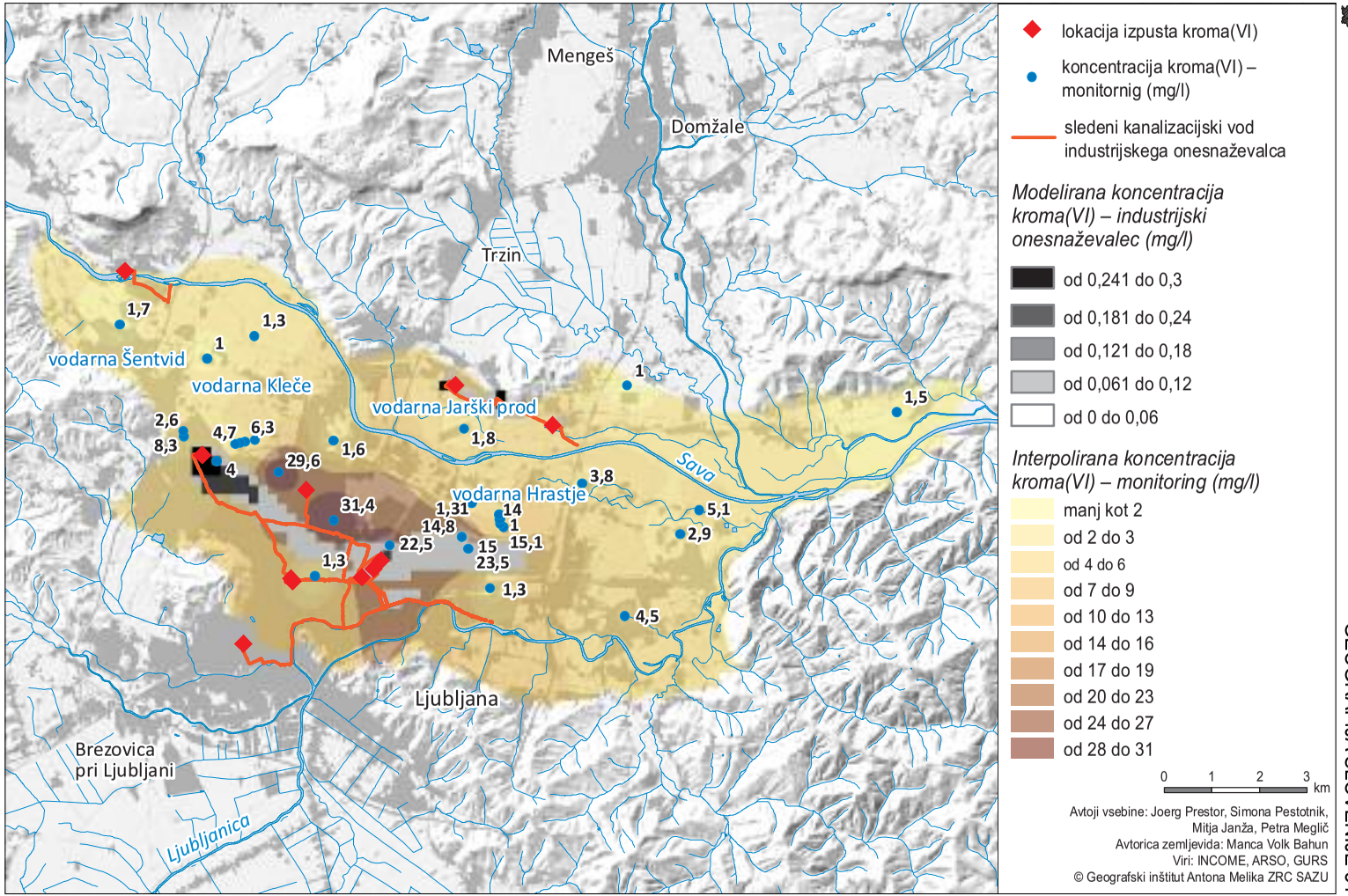
Pri analizi izgub iz kanalizacije smo se med pomembnimi onesnaževali bolj osredotočili na šestvalentni krom (krom (VI)), ki je značilno onesnaževalo vodonosnika Ljubljanskega polja, izhajajoče iz industrije. Analiza je pokazala, da tovrstne izgube povzročajo največji vpliv na podzemno vodo južno od območja, ki ga kot najbolj onesnaženo kažejo rezultati monitoringa. Slika prikazuje tudi z debelo rdečo črto označene kanalizacijske poti, kjer se pretakajo industrijske odpadne vode iz znanih izpustov. Opazno je, da se jedro onesnaženja zaradi kanalizacijskih izgub razvija na območju med Šiško in Litostrojem ter Savskim naseljem in Zeleno jamo, medtem ko monitoring nakazuje jedro onesnaženja med Litostrojem ter južnim območjem Bežigrada in Žal. Druga pomembna ugotovitev je, da količine, ki bi se v normalnem razvoju dogodkov izgubljale iz kanalizacije, nikakor ne bi mogle povzročiti tako velikih vsebnosti oziroma koncentracij, kot jih kaže monitoring. Najpomembnejši viri kroma (VI) v Ljubljani torej niso nadzorovani.

Povišane koncentracije kroma (VI), zabeležene na merilnih mestih severno od Zelene jame in Most, kažejo skupne vplive izgub iz kanalizacije in neznanih virov.

Analiza obremenitev in vplivov je pokazala, da je eno najpomembnejših merilnih mest za spremljanje prostorskega razvoja vplivov izgub iz kanalizacijskega omrežja vrtina BŠV-1 južno od Žal.

Prav tako je očitno, da so vodnjaki vodarne Hrastje dokaj izpostavljeni tudi onesnaženjem ob vdoru morebitnih onesnaževal iz industrijskih objektov v kanalizacijski sistem.

Slika 48: Primerjava ocen okoljskih vplivov med rezultati monitoringa (interpolacija z metodo utežne inverzne razdalje) in modeliranih koncentracij kroma (VI) zaradi znanih izgub iz kanalizacije. ►



Avtoji vsebine: Joerg Prestor, Simona Pestotnik, Mitja Janža, Petra Meglič
Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
Viri: INCOME, ARSO, GURS
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

8.3 VIZIJA ZA PODZEMNO VODO MESTA LJUBLJANE

Rezultati modela obremenitev in vplivov nas zagotovo opogumljajo, da za podzemno vodo Ljubljanskega polja lahko postavimo veliko bolj optimističen okoljski cilj za vsebnost nitratov, kot je mejna vrednost 50 mg/l. Priporočamo, da se kot cilj opredeli zahteva, po kateri do leta 2027 na nobenem merilnem mestu ne bo presežena koncentracija nitratov 25 mg/l, povprečna vrednost pa naj bo pod 15 mg/l (Prestor s sodelavci 2011).

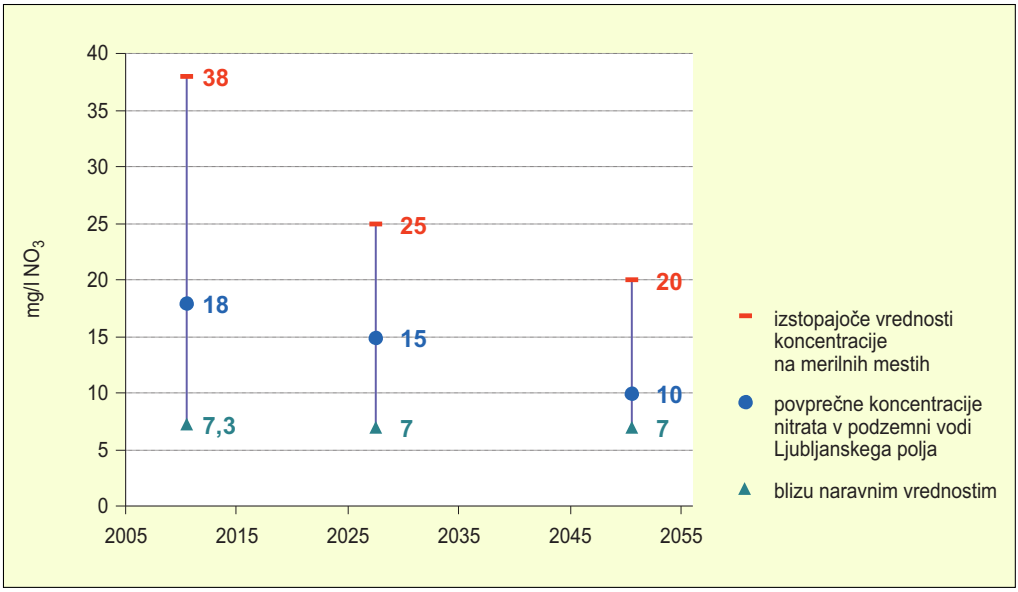
Ugodni trendi nitratov so bili do leta 2011 ugotovljeni na večini merilnih mestih, enako velja za vsebnosti celotnega organskega ogljika (Prestor s sodelavci 2011). Ti trendi povečujejo zaupanje v obstoječe ukrepe in njihove učinke. Pomembno je, da se predvidena obnavljanja kanalizacijskega omrežja kot eden zdajšnjih temeljnih ukrepov ne bi odmikala od izvedbenega načrta. Ob tem se je bolj dejavno treba usmeriti v sanacijo redkih mest z izstopajočimi vrednostmi in neugodnimi trendi nitratov. To bi prineslo občutne pozitivne rezultate in pomenilo spodbudo za vnaprej. Razreševanje teh problemov pa bi gotovo odprlo tudi možnosti izboljšanja stanja glede čezmerne vsebnosti drugih onesnaževal.

8.4 SKLEPI

Masna bilanca onesnaževal v podzemni vodi je zelo pomembna pri celovitem (integriranem) upravljanju prostora, še zlasti za mesto kot je Ljubljana, ki se razvija na napajalnem območju vodonosnika, iz katerega se oskrbuje s pitno vodo.

Vodenje masne bilance omogoča zanesljivo količinsko vrednotenje vplivov, ki jih povzročajo človekove dejavnosti na podzemno vodo in zanesljivejšo oceno deležev posameznih virov obremenjevanja.

Za vodenje masne bilance onesnaževal v podzemni vodi podajamo nekaj priporočil, ki se nanašajo na redne dejavnosti, z izboljšanjem kakovosti podatkov in tudi izmenjave informacij pa je te podatke možno bistveno bolje izkoristiti:



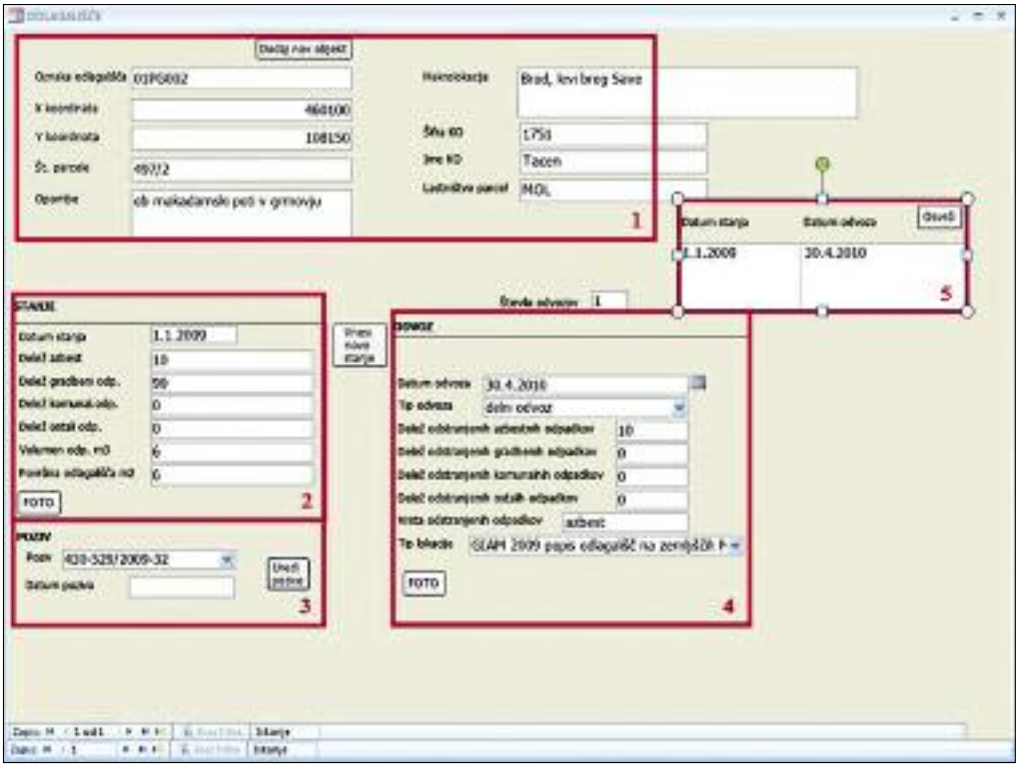
Slika 49: Priporočilo za opredelitev dolgoročnih ciljev glede vsebnosti nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja.

1) Analitiko odpadne vode, ki priteka v CČN Ljubljana, je treba v največji možni meri izkoristiti za čim bolj natančno oceno masne bilance onesnaževal:
   - statistično čim bolj značilno zajeti vsa tri reprezentativna stanja dotoka iz kanalizacije, to je sušno obdobje, obdobje odtoka padavinskih vod in izjemno deževje ter
   - pri analitiki uporabiti čim nižje meje zaznavanja, kot jih omogoča tehnični napredek.
2) Čim bolj podrobno beležiti količino prodane oziroma odvedene vode in tudi druge priložnostne ali začasne izpuste vod v kanalizacijo, za katere se izdajajo soglasja.
3) Sistematične in priložnostne preglede kanalizacije bi lahko opremljali tudi z oceno prostorske porazdelitve izgub po modelu, razvitem v projektu.
4) Za ugotavljanje dejanskih presežkov dušika, ki se na letni ravni in na prostorsko enoto lahko spere v vodonosnik, sta potrebni predvsem podrobnejša usmerjena obdelava obstoječih podatkov ter neposredna sočasna izmenjava informacij med kmetijskimi gospodarstvi in upravljavcem vodovoda.
5) Okrepiti redne raziskave in terenske meritve za sanacijo območij, oziroma merilna mesta monitoringa, kjer meritve kažejo izstopajoče vrednosti ali neugodne trende, v prvi vrsti nitratov, po prednostnem seznamu, začenši z mesti z najvišjimi ugotovljenimi vrednostmi in tistimi, kjer so najverjetnejši točkovni viri izgub iz kanalizacije in posledičnih onesnaženj.

9 RAZVOJ INFORMACIJSKIH ORODIJ ZA PODPORO UPRAVLJANJU VODNIH VIROV

Upravljanje vodnih virov temelji na poznavanju naravnega sistema, ki je zasnovano na opazovanju in interpretaciji procesov vodnega kroga. Možnost njihove simulacije z modeli, kot tudi posledic vplivov različnih dejavnikov na te procese, povečuje sposobnost pravočasnega ukrepanja ter s tem izboljša učinkovitost in varnost upravljanja vodnih virov. Za učinkovito uporabo rezultatov modela je potreben tudi pretok informacij med strokovnjaki oziroma raziskovalci, ki poznajo naravni sistem, in odločevalci, ki morajo pri sprejemanju odločitev upoštevati številne dejavnike. To pa v praksi pogosto ni povsem uresničeno, kar lahko pripišemo različnim razlogom (Jacobs 2002; Rayner, Lach in Ingram 2005). Eden pomembnejših je povezan z zahtevnostjo postopkov modeliranja, ki je nestrokovnjakom težko razumljivo. Odločevalci tako pogosto spregledajo pomembne informacije, ker te niso predstavljene v njim razumljivi in uporabni obliki. To kaže na nujnost prilagoditve postopka modeliranja, predvsem pa prilagoditve rezultatov v obliko, ki bo odločevalcem oziroma upravljavcem vodnih virov razumljiva. Ena od možnosti premostitve predstavljenih pomanjkljivosti je izdelava informacijskih orodij, ki koristijo možnost simulacij ter napovedi modelov in s pomočjo uporabniških vmesnikov omogočajo enostavno, uporabnikom prilagojeno uporabo. Tovrstna orodja pogosto imenujemo sistemi za podporo odločitev. Razvili smo orodja za podporo:

- sanacij divjih odlagališč odpadkov,
- izbiri ukrepov za izboljšanje kemijskega stanja podzemne vode in
- ukrepanju ob odkritju nenadnega onesnaženja podzemne vode.



Slika 50: Podatkovna baza divjih odlagališč odpadkov.

9.1 ORODJE ZA UČINKOVITEJŠO SANACIJO DIVJIH ODLAGALIŠČ ODPADKOV

Nedovoljena odlagališča odpadkov povzročajo številne negativne vplive na okolje in zdravje ljudi. Kljub določenim zakonodajnim okvirom in odmevnim prostovoljnim čistilnim akcijam ostajajo preteča grožnja tudi virom pitne vode, saj so pogost in nemalokrat nevaren vir onesnaženja.

Mestna občina Ljubljana (v nadaljevanju MOL) na svojih zemljiščih skrbi za odvoz nezakonito odloženih odpadkov in izvaja preventivne ukrepe za preprečevanje njihovega nadaljnjega odlaganja, posebej na območjih, kjer se to kar naprej dogaja. Za lažjo in učinkovitejšo sanacijo ter preprečevanje divjih odlagališč odpadkov smo izdelali orodje, namenjeno Mestni upravi MOL. Temelji na podatkovni bazi divjih odlagališč odpadkov, nadgrajeni s postopki, ki omogočajo samodejne prostorske analize v okolju geografskega informacijskega sistema (GIS).

Podatkovna baza omogoča enostaven in sistematičen vnos podatkov ter njihovo hranjenje in obdelavo. Tako so poenotene in na enem mestu zbrane informacije o divjih odlagališčih odpadkov, ki so bila odkrita in opisana iz različnih virov. Podatkovna baza je sestavljena iz petih sklopov:

- temeljne informacije o divjem odlagališču odpadkov,
- stanje: opis stanja divjega odlagališča odpadkov na določen datum,
- odvoz: podatki o morebitnem odvozu odpadkov,
- poziv: zaporedna številka in datum izdaje poziva za odstranitev odloženih odpadkov ter ikona za njegovo samodejno pripravo in
- informativni del: zabeležke vseh datumov popisov stanj in morebitnih odvozov.

Orodje omogoča spremljanje poteka sanacij na lokaciji določenega divjega odlagališča odpadkov. S preprostim klikom je izvedena samodejna priprava poziva za odstranitev odloženih odpadkov, ki je podlaga za njegovo sanacijo.

Povezava podatkovne baze z GIS-om omogoča prostorski prikaz zbranih podatkov in nekatere prostorske analize, kot so:

- izdelava točkovnega informacijskega sloja divjih odlagališč odpadkov,
- izdelava rastrskega sloja površinske gostote divjih odlagališč odpadkov,
- izbor divjih odlagališč odpadkov po določenih kriterijih, na primer oddaljenosti od cest, rek …,
- prostorska analiza oddaljenosti od cest, naselij … ter
- povezava z bazo divjih odlagališč odpadkov in ogled podatkov za izbrana odlagališča.

9.2 SISTEM ZA PODPORO IZBIRI UKREPOV ZA IZBOLJŠANJE KEMIJSKEGA STANJA PODZEMNE VODE

Sistem za podporo odločanju pri izbiri ukrepov za izboljšanje kemijskega stanja podzemne vode je orodje, namenjeno ocenjevanju učinkovitosti ukrepov za znižanje koncentracij onesnaževal v podzemni vodi oziroma vodonosniku. Sistem je prirejen tako, da z izbiro določenih ukrepov omogoča oceno zmanjšanja koncentracije nitratov v podzemni vodi. V Sloveniji so namreč nitrati trenutno najbolj pereča težava pri zagotavljanju dobrega kemijskega stanja zelo izdatnih medzrnskih vodonosnikov na ravninskih območjih.

Glavna prednost sistema je, da omogoča hitro presojo, ali bodo vložena sredstva za ukrepe omogočila doseganje dobrega kemijskega stanja podzemne vode oziroma, v kakšni meri tudi njeno izboljšanje. Pri tem uporabnik upravlja z vhodno spremenljivko, to je višino sredstev, ki so na razpolago za izvajanje ukrepov, in ciljnim stanjem, to je načrtovano vsebnostjo onesnaževala v podzemni vodi. Sistem vsebuje vgrajene parametre vodonosnika, nabor ukrepov in maksimalne površine, kjer se določeni ukrepi lahko izvajajo. Uporabniku predlaga izvedbo določenih ukrepov v različnem obsegu, pri čemer je poglavitno merilo izbire najbolj ugoden rezultat oziroma primerno zmanjšanje koncentracije onesnaževala glede na vložena sredstva.

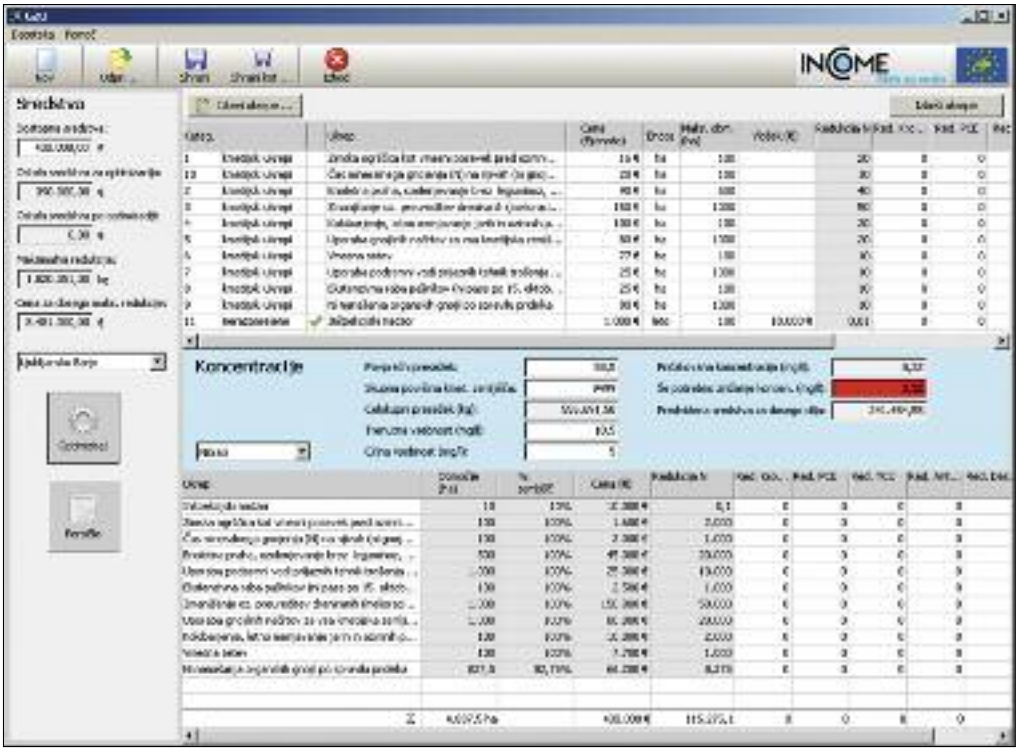
Ocena koncentracije onesnaževala v podzemni vodi temelji na poenostavljenem modelu. Vodonosnik obravnavamo kot sistem, ki ima dotok v obliki napajanja (iz padavin in reke Save) ter iztok v Savo

in Ljubljanico. Dolgoročno je dotok enak iztoku. V modelu je upoštevano srednje hidrološko stanje. Ocenjena koncentracija onesnaževala v vodonosniku je odvisna od mase vnesenega onesnaževala, na primer presežkov dušika iz kmetijstva, količine napajanja in že obstoječe vsebnosti onesnaževala v vodonosniku.

Model je enovit in ne upošteva prostorske spremenljivosti. Prav tako ne vključuje časovne spremenljivosti. Izvedeni ukrepi imajo v modelu neposreden vpliv na koncentracije onesnaževala v vodonosniku. Model uporablja linearno odvisnost med spremenljivkami z mejnimi vrednostmi – brez vnosa onesnaževala je vsebnost onesnaževala v vodonosniku nič, pri trenutnem vnosu onesnaževala pa je enaka izmerjeni vrednosti.

Sistem za podporo odločitev pri izbiri ukrepov za izboljšanje kemijskega stanja podzemne vode je sestavljen iz treh glavnih delov. Prvi je urejevalnik ukrepov, drugi modul za optimizacijo ukrepov in tretji modul za izdelavo poročila. Ostale funkcije sistema so podporne. Temeljni gradniki oziroma objekti, s katerimi uporabnik upravlja, so ukrepi, parametri vodonosnikov in sredstva, s katerimi se izvajajo ukrepi za izboljšanje kemijskega stanja podzemne vode.

Ko so določeni vhodni podatki in parametri sistema, se lahko izvaja optimizacijo ukrepov. Pri tem sistem omogoča hitro oceno vplivov, ki bi jo imeli izbrani ukrepi ob njihovi izvedbi. Optimizacija ukrepov se opravlja izključno za eno onesnaževalo. Pred zagonom algoritma sistem izvede preverjanje vnesenih podatkov. Preverjanje zajema ukrepe, zemljišča, koncentracije in vnesene zneske. Pri preverjanju sistem predlaga tudi popravke oziroma primerne vrednosti. Rezultat modula za optimizacijo je predlog nabora ukrepov, površina zemljišč, na katerih se naj izvajajo ukrepi, predviden učinek na koncentracijo onesnaževala v podzemni vodi in druge pomožne ocene, ki uporabniku lahko pomagajo pri odločitvah.



Slika 51: Pogovorno okno modula za optimizacijo.

K boljši funkcionalnosti sistema in s tem lažjemu delu z aplikacijo pripomorejo dodatni moduli, na primer shrani/odpri, urejevalnik ukrepov, generator poročila.

Zasnova programa omogoča, da se lahko uporablja tudi v drugih primerljivih okoljih, kjer razpolagamo z ustreznimi podatki za opredelitev strukturnih in hidrogeoloških lastnosti vodonosnikov. Prav tako ga lahko uporabimo za poljuben nabor onesnaževal, če imamo na razpolago potrebne vhodne podatke o onesnaževalih, na primer ceno ukrepa, informacije o medsebojni odvisnosti ukrepov, učinkih ukrepov.

9.3 SISTEM ZA PODPORO UKREPANJU OB ODKRITJU NENADNEGA ONESNAŽENJA PODZEMNE VODE

Temeljno varovanje zaledij črpališč pitne vode praviloma zagotavljajo vodovarstvena območja, kjer so dejavnosti, ki imajo lahko neugoden vpliv na vodni vir, omejene. Izvajanje teh omejitev ima preventivno vlogo in zmanjšuje tveganje za onesnaženje podzemne vode. Vendar določena tveganja, povezana z nenadnimi dogodki, kot so razlitja nevarnih snovi ali druge nesreče, ostajajo. Ob tovrstnih dogodkih je učinkovitost ukrepov v veliki meri odvisna od pravočasnosti njihove izvedbe. Podlaga za ukrepanje pa je napoved možnih posledic dogodkov.

Sistem za podporo ukrepanju ob odkritju nenadnih onesnaženj podzemne vode smo priredili za uporabo na območju zaledij črpališč na Ljubljanskem polju (Janža 2014). Povezuje podatkovne baze, hidrološki model in strokovna znanja. S programiranjem smo sestavne dele sistema povezali v uporabniku prijazno aplikacijo. Uporabnik komunicira s sistemom prek uporabniškega vmesnika, ki ga korakoma vodi do priporočenih ukrepov.

Ob odkritju onesnaženja v varovanem zaledju črpališč uporabnik v prvem koraku opiše onesnaženje, pri čemer določi onesnaževalo, mesto odkritja in njegovo koncentracijo. Po opisu onesnaženja sledi zagon simulacije razširjanja onesnaževala v vodonosniku. S pritiskom na sprožitveni gumb sistem vnesene podatke samodejno spremeni v obliko vhodnih podatkov hidrološkega modela in sproži simulacijo. O njenem poteku je uporabnik obveščen prek pogovornega okna.

Pri simulaciji razširjanja onesnaževala model uporablja konservativni pristop, ki ne upošteva razpadanja in upočasnitve napredovanja onesnaževala. Po izvedeni simulaciji sistem določi simulirane koncentracije onesnaževala v črpalnih vrtinah vodarn. Vrtine, kjer simulirana koncentracija presega mejne vrednosti koncentracij onesnaževal za pitno vodo, so navedene v seznamu skupaj z vrednostmi najvišjih simuliranih koncentracij.

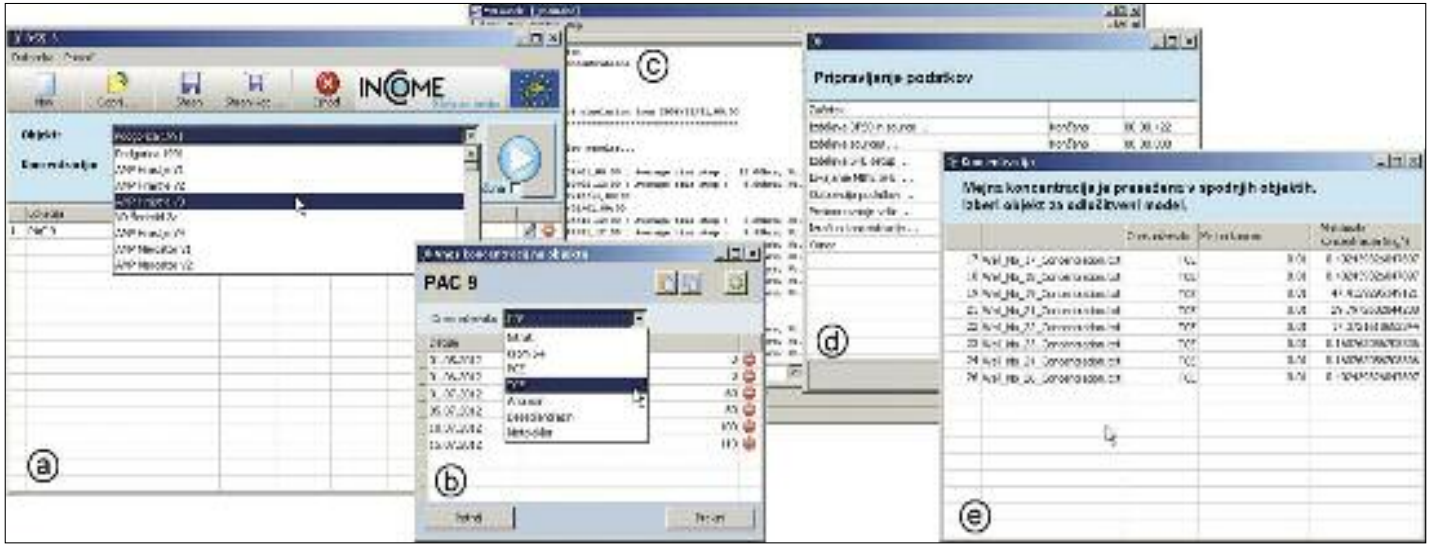
Z izbiro vrtine iz seznama uporabnik sproži odločitveni model, ki glede na položaj obravnavane vrtine, njen pomen v sistemu oskrbe s pitno vodo, ugotovljene koncentracije onesnaževala in čas dospetja onesnaževala do vrtine, uporabnika na interaktiven način vodi do priporočenega ukrepa ali niza ukrepov za zmanjšanje vpliva onesnaženja.

9.4 SKLEPI

Ocena in obvladovanje tveganj na območju zaledij vodnih virov je temeljnega pomena za zagotavljanje varne oskrbe s pitno vodo. Predstavljeni pristopi za podporo odločitev sledijo načelu varnostnih načrtov, ki zahteva vzpostavitev upravljavskih postopkov za odziv tako na predvidene kot tudi nepredvidene dogodke in izredne razmere (Bartman s sodelavci 2009).

Razvita orodja, ki temeljijo na poznavanju naravnega sistema oziroma vodnega kroga na obravnavanem območju, omogočajo učinkovitejšo rabo zbranih podatkov in uporabnost znanj o vodnih virih za oskrbo mesta Ljubljane s pitno vodo. Pridobivanje novih informacij in obdelava podatkov sta poenostavljena, rezultati obdelav pa predstavljeni v obliki, ki je uporabnikom razumljiva in uporabna v njihovih delovnih postopkih.

Uporabnikom in upravljavcem je tako olajšan dostop do koristnih informacij pri sanaciji divjih odlagališč odpadkov ter o izboljšanju kemijskega stanja vodonosnika in omilitvi vpliva morebitnega njegovega



Slika 52: Pogovorna okna za: a) izbiro opazovalnega mesta, kjer je bilo odkrito onesnaženje; b) izbiro onesnaževala in določitev njegovih koncentracij; c) in d) prikaz poteka simulacije. V pogovornem oknu e) je seznam črpalnih vrtin s preseženimi mejnimi koncentracijami onesnaževala.

nenadnega onesnaženja. S pomočjo uporabniških vmesnikov so olajšani in za upravljavce vodnih virov prirejeni uporaba hidrološkega modela, dostop do podatkovnih baz in uporaba strokovnega znanja, kar omogoča enostaven in hiter dostop do koristnih informacij in s tem možnost zmanjšanja neugodnih posledic onesnaženj.

Razvita informacijska orodja, ki se trenutno uporabljajo v Ljubljani, so pripravljena na način, ki omogoča njihovo prilagoditev in uporabo tudi na drugih območjih. Njihova uporaba bi bila še posebej koristna v zaledjih vodnih virov, kjer za onesnaženje podzemne vode potekajo številne potencialno nevarne dejavnosti in je zagotavljanje varne oskrbe s pitno vodo zelo zahtevna naloga.

10 VLOGA VREDNOT PRI OKOLJSKEM OZAVEŠČANJU

Prevladujoči antropocentrični pogled na svet, ki temelji na neomejeni gospodarski rasti kot merilu razvoja in blaginje, v svoj okvir ne sprejema ekosistemskih omejitev našega planeta (Bahor 2009), kar povzroča slabšanje kakovosti življenjskega okolja, ene ključnih vrednot sodobnega človeka (Smrekar 2006). Problem je predvsem človekov odnos do okolja. Posledice človekovega delovanja in podrejanja naravnega okolja so vedno bolj vidne v obliki degradacije temeljnih okoljskih sestavin, med katerimi je na območju Ljubljane vse bolj na udaru podzemna voda, s katero se oskrbujejo njeni prebivalci (Smrekar 2006). Tudi zato sta okoljska zavest Ljubljančanov in njihovo obnašanje ključna dejavnika tako pri obremenjevanju tega izredno ranljivega okolja kot pri preprečevanju njegovega onesnaževanja in odpravljanju onesnaženosti.

Kirn (2004) okoljsko ozaveščenost opredeljuje kot sestavino človekovega praktičnega odnosa do okolja, vendar ta ni preprost odsev prakse, ampak vodilo in norma človekovega delovanja. V stanju okoljske ozaveščenosti se torej posameznik zaveda okoljskih problemov in izraža pripravljenost pomagati pri njihovem obvladovanju, vendar ga to ne vodi vselej k obnašanju, skladnemu z zahtevami naravnega okolja. Gre namreč za razkorak med načelnim prizadevanjem za varovanje okolja in dejanskim ravnanjem (Conner in Armitage 1998). Raziskava slovenskega javnega mnenja o okolju (Toš 2012) je pokazala, da pri nas dejansko okoljsko obnašanje še vedno v precejšnji meri zaostaja za stopnjo razvitosti okoljske zavesti.

Okoljski problemi so po svojem izvoru družbeno-antropološki, pri čemer gre pogosto za navzkrižje med individualizacijo koristi in kolektivizacijo škode, za tako imenovano dilemo skupnega (Gardner in Stern 2002). Posameznik želi marsikdaj na plečih skupnega dobrega kovati koristi zase, morebitne negativne posledice pa naj se razporedijo na celotno skupnost. Dosedanje raziskave (Collins, Steg in Koning 2007; Schultz s sodelavci 2005, Thøgersen in Ölander 2002, Stern 2000) so pokazale, da je pri preučevanju vpliva vrednot na okoljsko ozaveščenost in človekovo obnašanje smiselna Schwartzova (1992) delitev na individualne in kolektivne vrednotne dimenzije. Individualne odsevajo skrb za lastno samouresničitev oziroma izpolnjevanje lastnih interesov, kolektivne pa skrb za izpolnjevanje interesov celotne družbe. Posamezniki, ki pozitivneje ocenjujejo kolektivne vrednotne dimenzije, imajo praviloma v večji meri okolju naklonjena stališča in so se tudi dejansko pripravljeni obnašati okolju prijazno (Stern, Dietz in Guagnano 1998; Dietz, Fitzgerald in Shwom 2005). Med kolektivnimi vrednotnimi dimenzijami raziskovalci (Steg, Dreijerink in Abrahamse 2005; De Groot in Steg 2007, 2008 in 2010; Steg s sodelavci 2012) razlikujejo dve temeljni zvrsti vrednotnih usmeritev, altruistične in biosferične. Biosferične odražajo zaskrbljenost nad kakovostjo narave in okolja, altruistične pa se zrcalijo v skrbi za blaginjo vseh ljudi. Na drugi strani pa znotraj individualnih vrednotnih dimenzij raziskovalci izpostavljajo egoistične vrednotne usmeritve, ki se zrcalijo v poudarjenih prizadevanjih za lastno korist in čim manjših stroških, s čimer so seveda v nasprotju s posameznikovo okoljsko držo (De Groot in Steg 2008 in 2010; Steg s sodelavci 2005; Steg, Vlek in Slotegraaf 2001).

V pričujočem zapisu smo na podlagi raziskave o informiranosti in ozaveščenosti prebivalcev Ljubljane o okolju in podzemni vodi kot viru pitne vode (Anketa o rabi vode … 2010) ugotavljali, kakšne so značilnosti vrednot in okoljske drže prebivalcev Ljubljane ter kakšen je vpliv vrednot na človekov odnos do okolja ter njegovo okoljsko ozaveščenost in obnašanje. Osredotočili smo se na iskanje razlik med vrednotami tistih, ki so varovanju okolja naklonjeni le hipotetično, tistih, ki so za okolje pripravljeni tudi kaj narediti, in tistih, ki so na tem področju tudi dejansko aktivni.

Raziskava je potekala na območju Ljubljane, najpomembnejšem urbanem središču Slovenije, kjer so osredotočene gospodarska, zaposlitvena, ustvarjalna, finančna in politično-upravna moč (Bole 2004; Nared 2007; Ravbar, Bole in Nared 2005; Kozina 2010, Bole s sodelavci 2012). Splet (ne)ugodnih naravnih in družbenih potez je povzročil, da je precejšen del Mestne občine Ljubljana, ki bi moral biti zaradi črpanja pitne vode strogo varovan, postal degradirana pokrajina (Urbanc in Breg 2005) s številnimi divji odlagališči odpadkov (Breg, Kladnik in Smrekar 2007), stihijskim vrtičkarstvom (Jamnik,

Smrekar in Vrščaj 2009), nenadzorovanim odvzemanjem vode (Smrekar in Kladnik 2007) in gramoza ter neurejenimi gnojnimi objekti (Kladnik, Rejec Brancelj in Smrekar 2003). Eden od pomembnejših razlogov za vse navedeno je zagotovo odsotnost okoljske ozaveščenosti in seveda ustreznega obnašanja.

10.1 METODE DELA

Anketiranje, ki ga lahko opredelimo kot metodo empiričnega vpogleda v izbrano populacijo oziroma njen vzorec, smo opravili v okviru raziskave o informiranosti in ozaveščenosti prebivalcev Ljubljane o okolju in podzemni vodi kot viru pitne vode. Izvedli smo ga na vzorcu 408 posameznikov z območja Ljubljane. Anketirance smo izbrali glede na starost, spol in izobrazbo, demografskimi merili, s katerimi smo želeli zagotoviti kar največjo reprezentativnost vzorca. Vprašalnik sestavljajo posamezni sklopi, ki jih ocenjujemo z opisnimi kazalniki na več ravneh, saj gre za sestavljeni koncept. V uvodu so predstavljene zunanje temeljne vrednote, merjene s sedmimi tako imenovanimi »kazalniki kakovosti življenja« (De Groot in Steg 2007; Steg s sodelavci 2012), ki so jih anketiranci ovrednotili z ocenami od 1 (popolnoma nepomembno) do 5 (zelo pomembno).

Preglednica 11: Izbrane vrednote oziroma »kazalniki kakovosti življenja« (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408).

1. ENAKOPRAVNOST IN PRAVIČNOST: enake možnosti za vse, popravljanje krivic
2. MIR: stanje brez vojn in napetosti
3. MOČ IN VPLIV: prizadevanje za uveljavitev lastne volje, nadzor drugih
4. BOGASTVO: materialna lastnina, denar, življenje v izobilju
5. UGLED IN SLAVA: biti priznan, uveljavljen v družbi
6. SOŽITJE Z NARAVO: prilagajanje naravi, živeti skladno z načeli trajnostnega razvoja
7. VAROVANJE OKOLJA: skrb za ohranitev naravnega okolja, preprečevati onesnaženje

Prva raven vprašalnika vsebuje okoljske prioritete, pri čemer nas zanima posameznikov odnos do okolja na hipotetični ravni. Merili smo ga s pomočjo trditve *»Za nekoga, kot sem jaz, je lahko, da kaj naredi za okolje«*. Druga raven je dejanska pripravljenost na okolju prijazno vedenje, ki smo ga merili s pomočjo vprašanja *»V kolikšni meri ste pripravljeni plačevati precej višje cene raznih artiklov z namenom varovanja podzemne vode kot vira pitne vode?«*. Na zadnji, tretji ravni gre za razsežnost aktivnega okoljskega delovanja, ki je edino izmerjeno s kazalniki dejanskih ravnanj. Anketirance smo namreč spraševali, v kolikšni meri so pripravljeni plačevati Fundaciji za zdravo pitno vodo mesečni prispevek na gospodinjstvo 2 evra ali več z namenom zagotavljanja kakovosti podzemne vode kot vira pitne vode. Na ta način posameznika dojemamo kot povzročitelja in prejemnika sprememb v okolju oziroma kot aktivnega ali pasivnega preoblikovalca pokrajine (Smrekar 2011). Prednost tega vprašalnika pred večino primerljivih je aktivno delovanje okoljskega telesa, izmerjeno s kazalnikom dejanskega obnašanja. S spraševanjem na treh ravneh smo uspeli v veliki meri izničiti težo v družbi zaželenih odgovorov, ki jih največkrat zasledimo na nižji ravni. Metodološka preverjanja sociologov namreč kažejo, da so anketiranci nagnjeni k večji pogostnosti sporočanja zaželenih ravnanj (na primer obiskovanje knjižnic in volišč) od dejanske ter manjši pogostnosti tistih ravnanj, ki bi lahko škodovala njihovemu ugledu (na primer pitje alkoholnih pijač) (Malnar 2002). Poleg tega smo v vprašalniku uporabili metodo prehajanja iz preučevanja splošnega odnosa do okolja k merjenju usmerjenega odnosa do podzemne vode ter dejanske pripravljenosti njenega varovanja, izražene z določenim konkretnim ravnanjem. Dosedanje raziskave (Kaiser in Shimoda 1999; Kollmuss in Agyeman 2002; Stern 2000) so namreč pokazale, da pri preučevanju odnosa do okolja, okoljske ozaveščenosti in delovanja dobimo boljše rezultate, če namesto preučitev splošne okoljske tematike in odnosa do nje uporabimo vsebinsko ožje usmerjeno poizvedovanje.

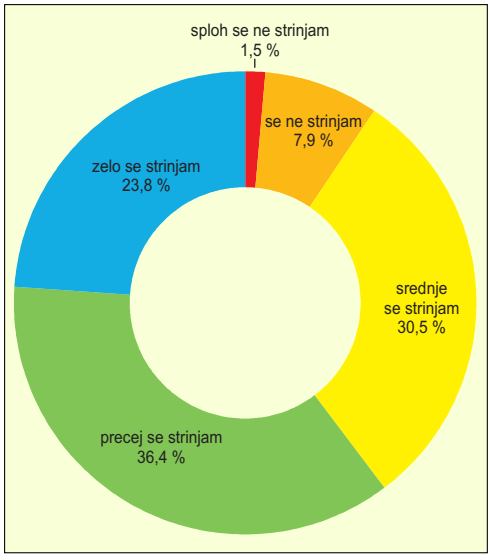
10.2 REZULTATI ANKETE

Na vrednote lahko gledamo kot na zelo splošne psihološke kategorije, ki pri posamezniku oblikujejo samemu sebi skladen individualni sistem vrednot. Rezultati študije so pokazali, da Ljubljančani na najvišje mesto uvrščajo altruistične vrednote s srednjo vrednostjo 4,62. Kar dobrih devet desetin (93,0 %) anketirancev jih vrednoti kot zelo pomembne ali pomembne. Sledijo biosferične vrednote s srednjo vrednostjo 4,31, ki jih kot zelo pomembne ali pomembne vrednoti pet šestin (83,7 %) anketiranih. Egoistične vrednote, kjer se posameznik zavzema predvsem za svojo lastno korist, anketiranci vrednotijo kot najmanj pomembne s srednjo vrednostjo 2,96. Le dve petini (40,2 %) jih meni, da so v njihovem življenju zelo pomembne ali pomembne.

Preglednica 12: Deskriptivna statistika preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408).

vrednote	povprečna vrednost	standardni odklon
altruistične vrednote	**4,62**	**0,53**
enakopravnost in pravičnost	4,53	0,68
mir	4,71	0,57
egoistične vrednote	**2,96**	**0,83**
moč in vpliv	2,95	1,12
bogastvo	3,10	0,91
ugled in slava	2,83	1,09
biosferične vrednote	**4,31**	**0,77**
sožitje z naravo	4,26	0,82
varovanje okolja	4,35	0,86

S pomočjo trditve *»Za nekoga, kot sem jaz, je lahko, da kaj naredi za okolje«* smo ugotavljali, kako ljudje na hipotetični ravni podpirajo varovanje okolja in v kolikšni meri se čutijo sposobni delovati okolju prijazno. Občutek lastne sposobnosti okolju prijaznega delovanja je namreč temeljni pogoj aktivnega



Slika 53: Strinjanje s trditvijo: »Za nekoga, kot sem jaz, je lahko, da kaj naredi za okolje« (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408).

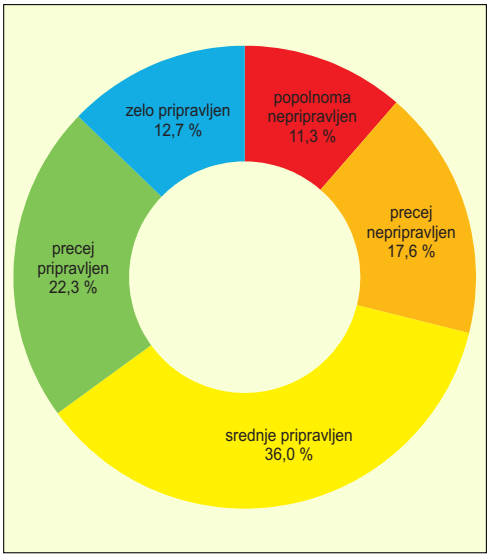
okoljskega ravnanja. Če takšnega občutka ni, tudi ni ustrezne pripravljenosti. Slabi dve tretjini (60,2 %) anketirancev se čuti sposobne delovati okolju prijazno (odgovora »zelo se strinjam« in »precej se strinjam«), pri čemer je povprečna vrednost trditve 3,73. Ti se vsaj na deklarativni ravni zavedajo, da so s svojim ravnanjem tudi sami vpleteni v ohranjanje kakovosti okolja. Takšnih, ki se čutijo nemočne oziroma nesposobne kaj narediti za okolje (odgovora »se ne strinjam« in »sploh se ne strinjam«) je le slaba desetina (9,3 %).

Anketiranci, ki na hipotetični ravni izražajo večjo pripravljenost okolju prijaznega delovanja, pozitivno vrednotijo tudi vse tri preučevane zvrsti vrednot. Pri tem največjo pripravljenost izražajo anketiranci, ki pozitivneje ocenjujejo biosferične vrednote, pri čemer je Pearsonov koeficient korelacije (r) 0,283 in je statistično značilen. Sledijo altruistične vrednote, kjer je vrednost r 0,101 prav tako statistično značilna. Pri egoističnih vrednotah je pozitivna soodvisnost sicer nakazana, vendar ni statistično značilna. Kljub temu nam rezultat pove, da posamezniki, ki so naklonjeni individualističnim vrednotam, torej tisti, ki kljub lastnemu prepričanju o nesmiselnosti varovanja okolja ob odsotnosti lastnih koristi, do določene mere izražajo hipotetično pripravljenost za okoljsko držo. Vzrok je lahko navajanje družbeno zaželenih odgovorov ne glede na vsebino, še zlasti pri manj izobraženih (Schumann in Presser 1996). Ti posamezniki si namreč želijo zagotoviti pozitiven odziv okolice ne glede na vsebino, kar je še posebej značilno za varovanje okolja, ki v naši družbi velja za splošno zaželeno (Malnar 2002).

*Preglednica 13: Medsebojna povezanost hipotetične okoljske drže in preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408) (*p < 0,05, **p < 0,001).*

trditev	vrednote		
	egoistične	altruistične	biosferične
načelna podpora varovanju okolja – HIPOTETIČNO	0,080	0,101*	0,283**

Vsi se zavedamo, da je le okoljsko aktiven posameznik tisti, ki lahko spremeni doslej prevladujoče miselne vzorce in pripomore k razreševanju obstoječih okoljskih bremen in preprečevanju nastajanja



Slika 54: Pripravljenost anketirancev za plačevanje višjih cen raznih artiklov z namenom varovanja pitne vode (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408).

novih. Zanimalo nas je, koliko ljudi je pripravljeno plačevati več za razne artikle z namenom varovanja pitne vode, s čimer prehajamo na drugo raven poizvedovanja, k pripravljenosti aktivnega okoljskega delovanja. Ugotovljena srednja vrednost odgovorov je 3,08, kar nakazuje na zmanjševanje pripravljenosti, v kolikor v ospredje postavimo okoljevarstvo in posameznikov lastni strošek. Za »zelo pripravljene« in »precej pripravljene« se jih opredeljuje le še dobra tretjina (35,0 %), dejanska pripravljenost varovanja okolja pa v primerjavi s hipotetično »izpuhti« pri kar četrtini (25,2 %) posameznikov.

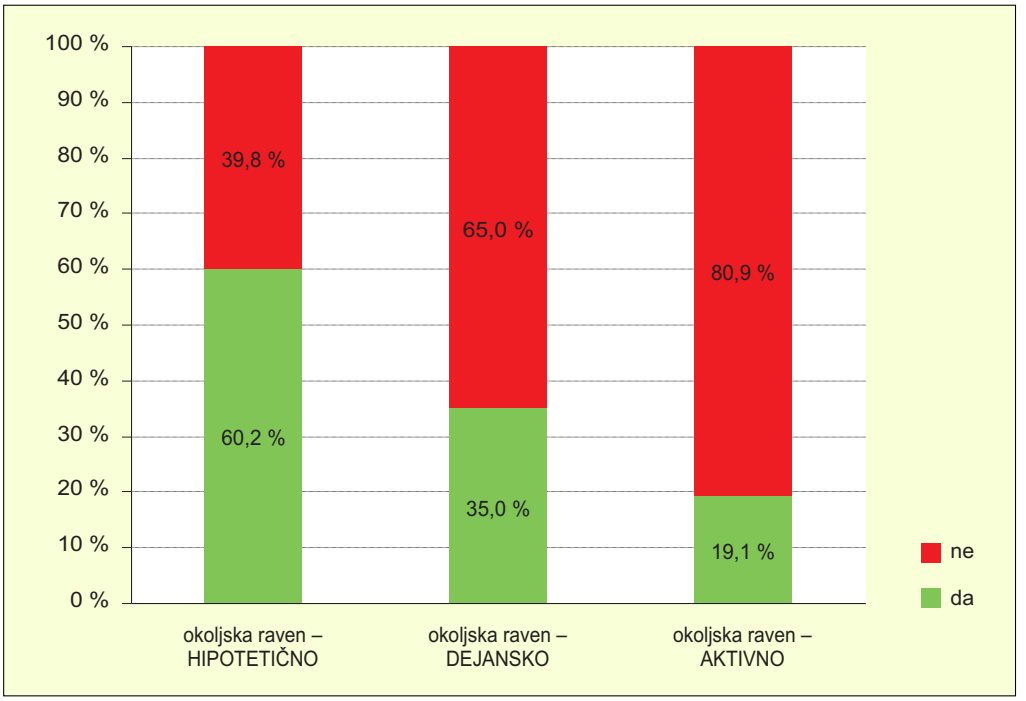
Anketiranci, ki na dejanski ravni izražajo večjo pripravljenost okolju prijaznega delovanja v obliki plačevanja višjih cen z namenom varovanja pitne vode, pozitivneje vrednotijo biosferične in altruistične vrednote, v večji meri negativno pa egoistične. Pri tem je ponovno najvišje izražena dejanska okoljska drža tistih anketirancev, ki višje ocenjujejo biosferične vrednote, kjer je Pearsonov koeficient korelacije 0,323 in je statistično značilen. Pozitivno vrednotenje preučevane trditve je značilno tudi za tiste, ki so v večji meri naklonjeni altruističnim vrednotam, pri čemer pa soodvisnost ni statistično povezana. Zanimiva je soodvisnost z egoističnimi vrednotami, ki se s prehodom s hipotetične na dejansko raven pripravljenosti varovanja okolja nagiba v negativno smer ($r = –0,115$, $p < 0,05$). To pomeni, da so tisti anketiranci, ki so bolj predani egoističnim vrednotam, v manjši meri pripravljeni dejansko delovati okolju prijazno.

*Preglednica 14: Medsebojna povezanost dejanske okoljske drže in preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408) (*p < 0,05, **p < 0,001).*

trditev	vrednote		
	egoistične	altruistične	biosferične
pripravljenost plačevanja Fundaciji z namenom varovanja pitne vode – DEJANSKO	–0,115*	0,075	0,323**

Zanimalo nas je tudi, ali so anketiranci resnično pripravljeni aktivno pristopiti k varovanju podzemne vode kot vira pitne vode in s tem prispevati h kakovostnejšemu življenjskemu okolju. Anketirancem smo predstavili (izmišljeno) Fundacijo za zdravo pitno vodo, katere namen naj bi bil izboljšanje kakovosti podzemne vode kot vira pitne vode v Ljubljani. Predstavljeni so bili najbolj pereči problemi, ki bi jih bilo treba prednostno urediti: vodotesno odvajanje in čiščenje odpadnih vod iz gospodinjstev ter proizvodnih obratov, neurejena odlagališča odpadkov in nevodotesni gnojni objekti. Finančna sredstva za ta namen naj bi se zbirala iz stalnega dodatka k računu za porabo električne energije, pri čemer bi bil prispevek opredeljen kot samostojna postavka na računu. Elektro Ljubljana kot poslovni subjekt, ki sploh nima opravka s pitno vodo, naj bi zbrani denar nakazoval Fundaciji za zdravo pitno vodo kot neprofitnemu skladu, ki bi vsa zbrana sredstva uporabil izključno za razreševanje navedenih okoljskih bremen. Predpostavili smo, da lahko le na tako prepričljiv in nazoren način izmerimo dejansko pripravljenost Ljubljančanov na zagotavljanje zdrave pitne vode iz podzemne vode kot čedalje bolj ogroženega vodnega vira. Zastavljena vprašanja v zvezi s Fundacijo so bila tako prepričljiva, da anketiranci sploh niso podvomili o resničnosti tega sklada. Poizvedovali smo, ali so anketiranci pripravljeni za razreševanje navedene problematike plačevati 2 evra ali več na mesec (Smrekar 2011).

Pripravljenost plačevanja vsaj 2 evra mesečno Fundaciji za zdravo pitno vodo je izrazila le petina (19,1 %) anketirancev, kar kaže na precejšen nadaljnji upad vneme za aktivno udeležbo pri zagotavljanju čim manj onesnaženega okolja oziroma kakovostne pitne vode. Skoraj povsem enak delež (20,9 %) smo ugotovili že leta 2004 (Smrekar 2006), ko so anketiranci izrazili pripravljenost prispevati vsaj 500 tolarjev mesečno, kar je približno enak znesek kot pri novejšem poizvedovanju.



Slika 55: Pripravljenost za okolju prijazno obnašanje na hipotetični, dejanski in aktivni ravni (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408).

S prehodom k lastnemu aktivnemu sodelovanju pri razreševanju okoljske problematike se v precejšnji meri izraža razkorak med tistimi, ki naklonjenost varovanju okolja izražajo le na načelni ravni, in tistimi, ki jim skrb za okolje dejansko pomeni vrednoto. Rezultati medsebojne soodvisnosti preučevane trditve in vrednot kažejo, da so anketiranci, v večji meri naklonjeni biosferičnim vrednotam, tudi v večji meri dejansko pripravljeni aktivno prispevati k varovanju podzemne vode, pri čemer je Pearsonov koeficient korelacije 0,192 in je statistično značilen. Statistično značilna in precej visoka pozitivna povezanost je tudi med pripravljenostjo plačevanja Fundaciji in altruističnimi vrednotami ($r = 0{,}150$, $p < 0{,}001$). Eden od razlogov je lahko v tem, da anketiranci v precejšnji meri že Fundacijo samo po sebi povezujejo z dobrodelnostjo oziroma skrbjo za druge, ne glede na to, za kakšne namene se zbirajo sredstva. Na drugi strani pa so anketiranci, ki pozitivneje ocenjujejo egoistične vrednote, v manjši meri izrazili pripravljenost na plačevanje mesečnega prispevka Fundaciji oziroma tega sploh niso pripravljeni; tovrstna stopnja povezanosti –0,178 je prav tako statistično značilna ($p < 0{,}001$).

*Preglednica 15: Medsebojna povezanost aktivne okoljske drže in preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408) (*p < 0,05, **p < 0,001).*

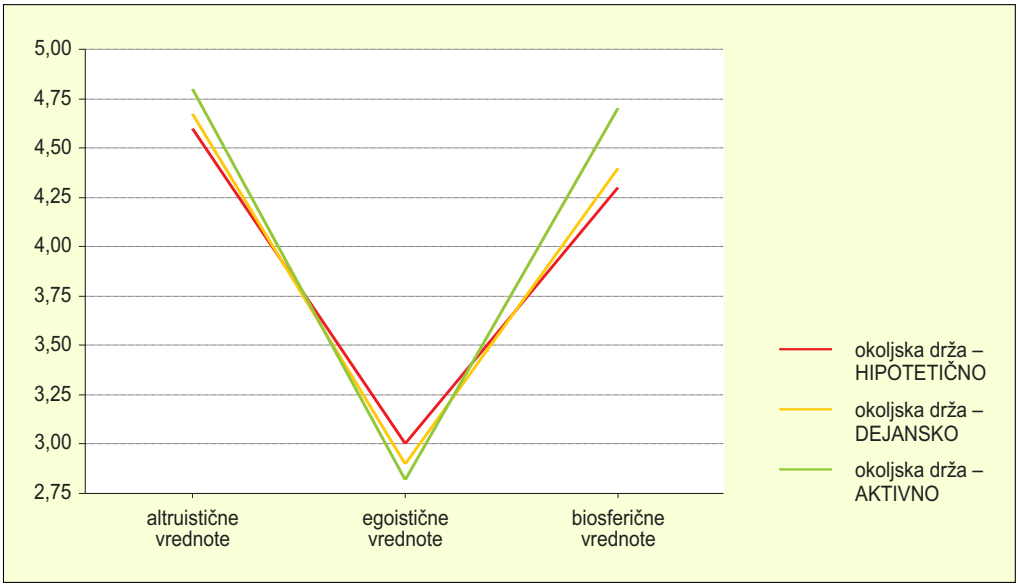
trditev	vrednote		
	egoistične	altruistične	biosferične
pripravljenost plačevanja Fundaciji z namenom varovanja pitne vode – AKTIVNO	–0,178**	0,150**	0,192**

10.3 SKLEPI

V pričujočem zapisu smo skušali razkriti, na kakšne načine vrednote vplivajo na človekov odnos do okolja ter njegovo okoljsko ozaveščenost in dejansko obnašanje. Vrednote so neke vrste cilji oziroma ideali, ki jih visoko cenimo in si za njih prizadevamo. So razmeroma jasne in trajne predstave o tem, kaj je za posameznika vredno in zaželeno. Usmerjajo naše vedenje, vplivajo na naša stališča, na odločitve in način življenja sploh. Urejene so po prednostnem načelu. To pomeni, da se v primeru medsebojnega tekmovanja vrednot aktivirajo tiste, ki so za posameznika najpomembnejše (Polajnar Horvat 2012). V okoljski literaturi so razdeljene na tri temeljne zvrsti vrednot: egoistične, altruistične ter biosferične (Stern in Dietz 1994; De Groot in Steg 2008, 2009 in 2010).

Osredotočili smo se na iskanje razlik med vrednotami tistih, ki so varovanju okolja naklonjeni le načelno, tistih, ki so dejansko pripravljeni narediti nekaj za okolje ter okoljsko aktivnih posameznikov. Sistem vrednot anketirancev, ki se na to, da lahko kaj naredijo za okolje, odzivajo zgolj na hipotetični ravni, se odraža v pozitivnem vrednotenju vseh treh preučevanih zvrsti vrednot, kar kaže na neskladja predvsem med tistimi, ki pozitivno ocenjujejo egoistične vrednote in obenem na hipotetični ravni izražajo pozitiven odnos do okolja. Razlog bi lahko bila okoliščina, da so stališča o naklonjenosti varovanju okolja v sodobni družbi čedalje bolj splošno zaželena (Malnar 2002). Zato se posamezniki pogosto odločijo za družbeno zaželen odgovor, četudi morda dejansko ne mislijo tako. Nasprotovanje bi jim namreč vzelo preveč energije, lahko pa bi zašli tudi v težave, povezane z njihovo družbeno vpetostjo.

Ko okoljske cilje postavimo v realističen kontekst pripravljenosti za okoljsko aktivno delovanje, je raven izkazane okoljske aktivnosti že nižja, hkrati pa se vrednote nagibajo h kolektivnemu ekocentričnemu pogledu na svet. Posamezniki v večji meri poudarjajo biosferične vrednote, egoistične pa so potisnjene v ozadje. »Zasuk« vrednot se še izraziteje pokaže pri izražanju aktivne pripravljenosti, torej plačevanju mesečnega prispevka za (izmišljeno) Fundacijo za zdravo pitno vodo. Okoljsko aktivni imajo namreč izrazito poudarjene biosferične vrednote, egoistične vrednote, ki izražajo individualizem, egoizem, potrošništvo ter podrejanje narave in človeštvo vodijo po enosmerno zasnovani razvojni poti, pa



Slika 56: Srednje vrednosti altruističnih, egoističnih in biosferičnih vrednot anketirancev, ki izražajo njihovo hipotetično, dejansko ali aktivno okoljsko držo (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408).

uvrščajo v spodnji del vrednotne lestvice. Poleg biosferičnih vrednot okoljsko aktivni v precejšnji meri poudarjajo altruistične vrednote.

Izsledki raziskave potrjujejo uvodna razmišljanja o pomenu vrednot pri okoljskem vedenju. Vrednote so se izkazale kot pomemben dejavnik pri razvoju odnosa do okolja, okoljske ozaveščenosti in tudi obnašanja samega. Z večanjem pripravljenosti aktivnega sodelovanja pri varovanju okolja je jasno izražen prehod od egocentričnih vrednot, ki odsevajo interes po moči, vplivu, bogastvu, ugledu in slavi, v biosferične, ki odsevajo skrb za sožitje z naravo, varovanje okolja in spoštovanje planeta. Če povzamemo, lahko torej rečemo, da vrednote pomembno vplivajo na odnos ljudi do okolja, njihovo okoljsko ozaveščenost in obnašanje.

Na žalost pa je antropocentrični pogled na svet, kjer je na prvem mestu zadovoljevanje potreb človeka in s tem nagnjenost k egoističnim vrednotam, še vedno zelo razširjena praksa. Poizvedovanje je namreč pokazalo, da je le petina (19,1 %) anketiranih dejansko pripravljenih aktivno delovati v prid varovanja okolja. Zato se v sklepnem delu sprašujemo, na kakšen način lahko spremenimo človekove še vedno pretirano antropocentrične vrednote in dosežemo, da se posameznik ne le zaveda okoljske problematike in izraža aktivno pripravljenost pri njenem obvladovanju, ampak se tudi resnično obnaša skladno z zahtevami kakovostnega okolja. Okolju prijazno delovanje je pogosto težavno zaradi zunanjih ovir, kot je na primer pomanjkanje infrastrukture, ter povezano z večjimi odrekanji in stroški. Zato pri posamezniku pogosto prevlada njegova egocentričnost nad motivacijo za okolju prijazno obnašanje, ki jo mora preseči. Ta preskok je možen z različnimi spodbudami, ki pri posamezniku povzročijo zasuk vrednot in ga motivirajo za okolju prijazno delovanje (Gardner in Stern 2002; Abrahamse 2005; Polajnar Horvat 2012). Svoje obnašanje so sposobni spremeniti le posamezniki, ki posedujejo primerne vrednote in se zavedajo resnosti stanja okolja, v katerem živimo. S tem lahko pomembno prispevajo k tlakovanju poti v družbo trajnostnega razvoja. Pozitivni premiki med ljudmi pa se dogajajo le z ustreznim informiranjem in izobraževanjem. Stanje okoljske ozaveščenosti prebivalcev Ljubljane lahko primerjamo s stanjem v Sloveniji in Evropi, saj ne zaznavamo bistvenih razlik (Special Eurobarometer 365 2011; Toš 2012).

11 SKLEP – ORODJE ZA TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE VODNIH VIROV

Skrb za vodne vire se kaže v usklajenem delovanju več stalnih procesov in opravil, ki so med seboj povezani z istim ciljem, to je ohranitvijo njihove kakovosti in količin. Čeprav je bilo o vodnih virih Ljubljane v preteklosti izvedeno mnogo raziskav (na primer Rejec Brancelj, Smrekar in Kladnik 2005), je, če želimo z vodnimi viri res gospodariti trajnostno, še vedno potrebno stalno raziskovalno delo, ki sledi sodobnim metodam v svetu, prinaša nova spoznanja in njihov prenos v prakso. Pogoj za to so informacije in znanja o fizikalnih, kemijskih, mikrobioloških in makrobioloških procesih vodnega kroga, katerega del so vodni viri. V naslednjem koraku so potrebni skrb za vzpostavitev trajnih, vzdrževanih, preglednih in dostopnih baz podatkov, prepoznavanje onesnaževalcev in nadzor nad obsegom širjenja onesnaževal, analiza in ocena nevarnosti, nevarnih dogodkov in tveganj, kratkoročno in dolgoročno načrtovanje ukrepov z analizo stroškov, pa tudi posredovanje razumljivih informacij javnosti in raziskovanje javnega mnenja. Strokovna in splošna javnost sta namreč postala nepogrešljiv deležnik pri upravljanju vodnih virov.

Monografija ima ambicijo predstaviti celosten pristop razreševanja problematike upravljanja ogroženih vodnih virov v urbanih okoljih. Z novimi hidrogeološkimi raziskavami smo dobili nova védenja o naravnih danostih ter lastnostih in delovanju vodonosnih sistemov. Te sisteme znamo simulirati z računalniškimi orodji, prav tako tudi morebitno onesnaženje v njih. Vzpostavljen register onesnaževalcev, sistem monitoringa in analiznih postopkov je pomemben korak tako k učinkovitejšemu odkrivanju onesnaženj podzemne vode kot tudi njihovemu preprečevanju ali ugotavljanju njihovih povzročiteljev, če so se onesnaženja že zgodila. Povezava obravnavanih postopkov in rezultatov v sistem upravljanja vodnih virov v Ljubljani je dosežek, ki lahko služi kot zgled številnim podobnim okoljem, ne le v Sloveniji, ampak tudi drugod po svetu.

11.1 POMEMBNI DELEŽNIKI PRI UPRAVLJANJU Z VODNIMI VIRI

Predstavljeni rezultati kažejo pot naprej in k skrbi za vodne vire nagovarjajo več udeležencev, ki imajo pomemben vpliv na upravljanje vodnih virov.

Kot najpomembnejše deležnike prepoznavamo ministrstvo, pristojno za prostor in okolje, ter lokalne skupnosti, katerih skrb je sprejemanje in uresničevanje prostorskih aktov, ki naj omogočajo trajnostno rabo vodnih virov. Potrebujemo namreč takšno prostorsko politiko, ki ji skrb za vodne vire ne bo pomenila zgolj omejitev rabe prostora, ampak sodoben izziv z novimi, inovativnimi rešitvami. Prostorsko načrtovanje na vodovarstvenih območjih mora enakovredno obravnavati razvojne in varstvene zahteve ter druge javne koristi, nikakor pa ne sme popuščati enostranskim interesom investitorjev nad potrebami varovanja vodnih virov kot okolja nasploh. Interesi varovanja vodovarstvenih območij se vedno prepletajo s splošnimi javnimi koristmi, kot so skrb za zdravo okolje, hrano in neonesnažen zrak. Varovanje okolja spada med sodobna načela prostorskega načrtovanja. Zelenim klinom, katerih del so tudi ožja vodovarstvena območja, je v viziji razvoja Ljubljane namenjen zelo velik pomen iz različnih okoljskih in urbanih vidikov, ki pa doslej niso bili predstavljeni celovito. Razvojni vidik je vse prepogosto razumljen kot tisti, ki pomeni gospodarsko korist v najkrajšem možnem času, varnostni pa se obravnava slejkoprej kot strošek, kar seveda ne drži. Dolgoročno varnostni vidik prav tako prinaša prihranke, kot so zdravje ljudi in manjše potrebe po sanacijskih ukrepih, razvojni pa nima vselej kratkoročnih ekonomskih učinkov (medmrežje 13).

Med vplivne deležnike pri upravljanju vodnih virov uvrščamo ministrstva, pristojna za kmetijstvo in ponovno tudi okolje, ter ponovno lokalne skupnosti, tokrat z vidika skrbi za neonesnaženo, zdravo in varno življenjsko okolje. Varnost oskrbe s pitno vodo je tesno povezana z varnostjo življenjskega okolja in preskrbo s hrano. Rezultati raziskave potrjujejo spoznanja, da upravljanje vodnih virov ne sme potekati ločeno od teh področij, po vzporednih poteh, ampak odprto in sočasno, če želimo na vseh področjih doseči dolgoročno vzdržne rešitve (medmrežje 14).

Pomemben deležnik pri upravljanju vodnih virov je seveda stroka, ki je nosilec priprave strokovnih podlag tudi za ukrepe, zapisane v pravnih aktih. Ne glede na ne dovolj upoštevana strokovna mnenja

NIKA SERDONER

Slika 57: Vodonosne plasti Ljubljanskega polja napaja tudi reka Sava.

pri okoljevarstveni problematiki mora stroka vztrajati na svojih stališčih in doseči tesnejše sodelovanje med ministrskimi resorji na odločevalski ravni, pa tudi med državnimi in lokalnimi ustanovami (medmrežje 13).

Kljub zgolj neformalnemu vplivu na upravljanje vodnih virov so zaradi pomena, ki ga imajo na njihovo delovanje, pomemben deležnik tudi upravljavci vodovodnih sistemov. Njihov interes za ohranitev kakovosti in zadostnih količin vodnih virov je velik, vendar so pri zagovarjanju svojih interesov premalo aktivni, rekli bi lahko celo neaktivni. Sprejemanje uredb o vodovarstvenih območjih na vladni ravni pogosto razumejo kot zagotovilo, da se bodo v okviru projektov državnih institucij izvajali tudi ukrepi za zagotavljanje primernih količin in kakovosti vodnih virov, kar vedno ne drži. Predstavljene ugotovitve upravljavce nagovarjajo k razumevanju, da se varstveni ukrepi izvajajo večinoma na lokalni ravni, kjer pa je komunikacija upravljavcev vodovodov z odločevalci vendarle lažja.

K skrbi za vodne vire nagovarjamo tudi uporabnike prostora, ki so zaradi zaščitnih ukrepov in posledičnih prepovedi omejeni pri svojih dejavnostih. Zato so pogosto nenaklonjeni okoljskim projektom, razlogi za nenaklonjenost pa so tudi neustrezni komunikacijski pristopi, pomanjkanje informacij in vključevanje drugih deležnikov v procese odločanja o rabi prostora, navadno takrat, ko je že prepozno. Rezultati raziskave nagovarjajo deležnike k tesnejši in pravočasni komunikaciji.

Nenazadnje rezultati raziskav nagovarjajo tudi uporabnike pitne vode, od katerih se pričakujeta primerna skrb za varovanje okolja in podpora pri okoljskih projektih. Uporabniki se čedalje bolj zavedajo pomena pitne vode za svoje zdravje in so načeloma okoljevarstveno občutljivi, vendar ne dovolj. Okoljevarstveno občutljivost je treba uporabnikom še privzgojiti, saj se sicer njihova skrb za okolje zaključi na vratih stanovanja ali mejah dvorišča. Zdravo življenjsko okolje je med Ljubljančani prepoznano kot pomembna vrednota, vendar še ne do mere, da bi bili uporabniki pripravljeni v zadostni meri aktivno sodelovati.

Soočenje različnih interesov, v ekonomskem smislu različnih virov stroškov, še prevečkrat prehitro preide na politično raven, še preden so do potankosti uporabljeni vsi razpoložljivi strokovni argumenti.

Dostikrat je razlog za to pomanjkanje časa, ki je največkrat posledica slabega načrtovanja. Zaradi tega so orodja za trajnostno upravljanje tako zelo pomembna. Z njimi je mogoče veliko bolje kvantitativno ovrednotiti tako posege v prostor kot učinke zaščitnih ukrepov. To pa bistveno olajša nadaljevanje pogajanj na strokovni ravni. Pomembno je, da s temi orodji pripravimo strokovne podlage dovolj zgodaj, vsaj dve leti pred sprejemanjem šestletnih sektorskih programov razvoja. Tako bi na primer za programe izvajanja politik za obdobje 2021–2027 morali pripraviti strokovne podlage z opredelitvijo ciljev in ukrepov najpozneje do konca leta 2019. Iz izkušenj vemo, da traja vsaj dve leti, da se lahko strokovne zasnove ukrepov in rešitev oblikujejo v medsektorsko sprejemljive operativne načrte. Če pa hočemo imeti še dejavno in inovativno vlogo v razvoju, je potreben še daljši čas. Zaradi tega je neizogibno potrebno dolgoročno načrtovanje, za kar so potrebna strokovna orodja, ki omogočajo zanesljive, pregledne in kvantitativne ocene.

V tekočem načrtu upravljanja z vodami sledimo ciljem in izvajamo ukrepe, ki smo jih postavili v preteklem obdobju. Hkrati moramo začeti pripravljati cilje in ukrepe za naslednje šestletno obdobje. Le na ta način lahko za to obdobje dejavno sodelujemo pri oblikovanju in uveljavljanju interesov v sektorskih politikah, v tekočem obdobju pa v ta namen natančno sledimo učinkovitosti izvajanih ukrepov, izboljšujemo ocene stanja in zanesljivost napovedi.

S stališča dinamike vira podzemne vode je šestletno obdobje razmeroma kratek čas, v katerem se dinamične zaloge podzemne vode Ljubljanskega polja nenehno obnavljajo, statične pa le z večletno zakasnitvijo. Zato lahko značilne učinke ukrepov zanesljivo opazimo in ovrednotimo šele v naslednjem obdobju. Zaradi tega je tudi v primeru virov podzemne vode zelo pomembno, da se ocene stanja in napovedi pripravljajo tudi za dolgoročna obdobja, to je za 30 let in več vnaprej. Pri tem je treba vključiti širšo javnost, ki pa mora imeti na razpolago kar najbolj strokovne in kvantitativno ovrednotene informacije. Z daljšim korakom napovedovanja in ocenjevanja razmer je lažje pridobiti tudi večjo in širšo politično podporo skrbi za vodo, kar je vse prej kot nepomemben vidik uporabnosti razvitih orodij za trajnostno upravljanje vodnih virov.

11.2 ORODJA ZA TRAJNOSTNO GOSPODARJENJE

V monografiji predstavljenih dosežkov je več, zato v nadaljevanju povzemamo le ključne med njimi.

Vzpostavili smo spletni pregledovalnik okoljskih podatkov, namenjen splošni in strokovni javnosti, ki na enem mestu združuje podatke, pomembne za upravljanje vodnih virov v Ljubljani. Aplikacija omogoča pregled registra onesnaževalcev, parametrov kakovosti in nihanj gladine podzemne vode ter geoloških podatkov. Dostop do podatkov je prost, za nadaljnjo uporabo pa je omogočen tudi njihov izvoz (medmrežje 15).

Razvili smo računalniški sistem za podporo odločitvam, ki nam, če pride do okoljske nesreče na vodovarstvenih območjih, zagotavlja ključne informacije za ukrepanje in podaja predloge, kaj je treba storiti, da preprečimo ali vsaj omilimo negativne posledice v okolju. Sistem omogoča tudi podporo dolgoročnim odločitvam o rabi kmetijskega prostora, z izračunom stroškov in oceno učinkov, ki bi jih povzročili izbrani ukrepi.

Rezultati hidrogeoloških raziskav omogočajo, da bolj kot kdajkoli prej razumemo hidrogeološke procese na Ljubljanskem polju in Ljubljanskem barju. Na podlagi tega smo posodobili matematični model podzemne vode, ki je temelj strokovnih podlag za pravni akt o varovanju vodnih virov, orodje za njihovo upravljanje in temelj odločitvenega sistema. Izdelali smo model okoljskih obremenitev in vplivov, ki omogoča projekcije obremenitev ob različnih ukrepih v kmetijstvu in/ali urbani rabi prostora. Z novimi opazovalnimi objekti podzemne vode na Ljubljanskem polju smo dopolnili opazovalno mrežo in s tem povečali možnost pravočasnega zaznavanja onesnaževal in ukrepanja, še preden bi onesnaževala dospela v črpališča pitne vode.

Cilj naših prizadevanj bo dosežen, ko bodo izsledki široko uporabljeni pri vsakdanjem razreševanju okoljskih problemov v Ljubljani in tudi širše. Med pomembnejše projekte, na katere bodo rezultati raziskav

NIKA SEDONER

Slika 58: Oznake, ki kažejo na skrb za vodne vire, najdemo tudi ob vsakodnevnih poteh.

vplivali neposredno, uvrščamo posodobitev strokovnih podlag za varovanje vodnih virov v Ljubljani. Matematični model podzemne vode, ki je utemeljen na najnovejših in najštevilčnejših podatkih doslej, bo prispeval k določitvi meja vodovarstvenih območij na način, da bo med odločevalci in drugimi deležniki, na primer med uporabniki prostora, ki jih pri njihovih dejavnostih omejujejo meje, kar najmanj dvomov o zanesljivosti določanja mej. To je pomembno tudi zato, ker so z omejitvami povezana nadomestila za izpad dohodka iz kmetijstva, vplivajo pa seveda tudi na drugo rabo prostora in na življenjsko pomembne odločitve lastnikov zemljišč. Zaupanja vredni rezultati matematičnega modeliranja preprečujejo pritiske na zmanjševanje vodovarstvenih območij, predvsem najožjih s strogim režimom varovanja. Verodostojni rezultati matematičnega modeliranja bodo temelj pomembnim odločitvam o rabi prostora, tudi pri projektih lokalnega in državnega pomena, kakršen je na primer načrtovana gradnja hidroelektrarn na srednji Savi. Dolgoročno ohranjanje vodovarstvenih območij namreč pomeni večjo možnost ohranjanja sedanjega, tradicionalnega načina oskrbe s pitno vodo brez tehničnih postopkov njene priprave. Kratkoročno pa ohranjanje vodovarstvenih območij, predvsem najožjih, omogoča oskrbo s pitno vodo tudi brez uporabe dezinfekcijskih sredstev na podlagi klorovih pripravkov.

Zagotavljanje varne oskrbe s pitno vodo je temeljna naloga izvajalca javne službe oskrbe s pitno vodo, rezultati projekta pa prispevajo tudi k varnejši oskrbi s pitno vodo v Ljubljani. Z izgradnjo novih opazovalnih objektov je vzpostavljena možnost dodatnega nadzora nad kakovostjo vodnega vira, še preden podzemna voda prispe do črpališč. V sistemu oskrbe s pitno vodo v Ljubljani namreč ni korakov v procesu, s katerimi bi bilo na podlagi trenutnih meritev fizikalnih, kemijskih ali mikrobioloških parametrov preprečeno, da neskladna in zdravstveno neustrezna pitna voda ne bi vstopila v sistem oskrbe. Zato je toliko pomembneje, da je vzpostavljen sistem, ki omogoča predhodno preverbo fizikalno-kemijskih parametrov vodnega vira, preden ta vstopi v sistem oskrbe kot pitna voda.

Uporabnost odločitvenega orodja za ukrepanje v izrednih razmerah oziroma ob okoljskih nesrečah na vodnih virih pa je mogoče razumeti šele, ko spoznamo ranljivost sistema oskrbe s pitno vodo, ki je tesno povezana z ranljivostjo vodnih virov. V teh primerih uporaba odločitvenega orodja omogoča hitre in strokovno podprte odločitve, kar je pogoj za preprečitev ali vsaj zmanjšanje negativnih vplivov na okolje, istočasno pa tudi za zmanjšanje finančnih posledic, ki ob okoljskih nesrečah niso nikoli zanemarljive.

Spletni pregledovalnik okoljskih podatkov, v katerem so podatki o onesnaževalcih, kakovosti podzemne vode in hidrogeoloških značilnostih vodonosnika, pa je mogoče nadgraditi z drugimi okoljskimi vsebinami, na primer s podatki o hrupu, kakovosti zraka in pitni vodi. Pregledovalnik lahko postane osrednji informacijski portal za seznanjanje Ljubljančanov in okoličanov o tem, v kakšnem okolju živijo in kako se spreminjajo parametri kakovosti njihovega okolja. Pregledovalnik lahko preraste tudi v prepoznavno in zanesljivo zbirko tistih podatkov o okolju, ki so pomembni za delo odločevalcev na lokalni in državni ravni, postane pa lahko tudi splošno uporaben sistem za pripravo različnih strokovnih dokumentov.

Pridobljena znanja, pristope in izdelana orodja je mogoče prenesti tudi v druga okolja v Sloveniji in širše, kjer je problematika varne oskrbe s pitno vodo trenutno še bolj pereča kot v Ljubljani. Ministrstvo, pristojno za okolje, in lokalne skupnosti potrebujejo sodobno podporo pri načrtovanju trajnostne rabe prostora in izvedbi ukrepov za izboljšanje ali ohranitev ustreznega kemijskega stanja podzemnih voda. Koncepta spletnega pregledovalnika okoljskih podatkov in računalniškega sistema za podporo odločitvam sta prenosljiva na druga vodovarstvena območja. Uporaba odločitvenih orodij na drugih vodovarstvenih območjih v izrednih razmerah ali ob odločitvah, povezanih z dolgoročnim načrtovanjem prostora, bo izboljšala varnost oskrbe s pitno vodo tudi drugod po Sloveniji. Orodja so temelj strokovnim odločitvam, brez katerih so te lahko napačne, finančne posledice neustreznih ukrepov pa nepredvidljive, a vsekakor velike.

11.3 SKLEPI

Prepričani smo, da so vzpostavljeni dovolj trdni temelji, na katerih bo mesto Ljubljana lahko vodilo okoljsko politiko do ohranjanja kakovostnih virov pitne vode na način, na katerega bomo čez desetletje

ali dve gledali kot na zmagovalno formulo. S pričujočo monografijo Ljubljana prejema izsledke, ki se bodo v okoljskem, posledično pa tudi v finančnem izkazu mesta pokazali kot ena od boljših okoljskih naložb. Evropska unija si je zastavila cilj, da izboljša kakovost svojih vodnih virov in jih ohrani za prihodnje generacije. Na območju Ljubljane, kjer so vodni viri še vedno dovolj kakovostni, a izredno ranljivi, imamo edinstveno priložnost, da ne gremo po poti onesnaženih evropskih mest, ampak se pravočasno zavemo pomena usmerjenega razvoja mesta in ga vodimo tako, da bodo vplivi na okolje, s tem pa tudi vodne vire z vidika zdravja Ljubljančanov še sprejemljivi.

Pomembno je, da rezultatov ter smiselnih in uresničljivih predlogov ne bomo zaprli v predal, saj spadajo v programe varstva okolja lokalnih skupnosti in strategije njihovega razvoja (medmrežje 16). Prvi postulat odgovornih za vodne vire naj se glasi: *Vodni viri v Ljubljani imajo neprecenljivo vrednost. Mesto Ljubljana je že dobro stoletje oskrbovano varno in z naravno pitno vodo, kar je ena izmed vrednot, ki bo omogočila kakovostno življenje tudi našim potomcem, vendar pod določenimi pogoji. Naravne danosti vodnih virov niso dovolj. Pri gospodarjenju z njimi potrebujemo trajne in strokovno pravilne odločitve, znanja in izkušnje ob upoštevanju zakonskih predpisov ter etičnih načel, ki smo jih sami zapisali tudi zato, da pred lastnimi neustreznimi ravnanji zavarujemo sami sebe.*

12 SEZNAM VIROV IN LITERATURE

Abrahamse, W. 2007: Energy conservation through behavioral change: Examining the effectiveness of a tailor-made approach. PhD thesis, Rijksuniversiteit Groningen. Groningen.

American Petroleum Institute 1995: Recommended Practice on the Rheology and Hydraulics of Oil-Well Drilling Fluids. Washington.

Anketa o rabi vode kot naravnega vira. Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Ljubljana, 2010.

Auersperger, P., Čenčur Curk, B., Jamnik, B., Janža, M., Kus, J., Prestor, J., Urbanc, J. 2005: Dinamika podzemne vode. Podtalnica Ljubljanskega polja, Geografija Slovenije 10. Ljubljana.

Bahor, M. 2009: Ekološka pismenost. Za manj negotovosti: aktivno državljanstvo, zdrav življenjski slog, varovanje okolja. Ljubljana.

Barett, M. E., Zuber, R. D., Collins, E. R., Malina, J. F., Charbeneau, R. J. ml., Ward, G. M. 1995: A Review and Evaluation of Literature Pertaining to the Quantity and Control of Pollution from Highway Runoff and Construction. Medmrežje: http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html (6. 6. 2011).

Barth, J. A. C., Slater, G., Schüth, C., Bill, M., Downey, A., Larkin, M., Kalin, R. M. 2002: Carbon Isotope Fractionation during Aerobic Biodegradation of Trichloroethylene (TCE) by Burkholderia Cepacia G4: A Tool to map Degradation Mechanisms. Applied and Environmental Microbiology 68.

Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A., Stevens, M. 2009: Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. World Health Organization. Ženeva.

Blessing, M., Schmidt, T. C., Dinkel, R., Haderlein, S. B. 2009: Delineation of multiple chlorinated ethene sources in an industrialized area – A forensic field study using compound-specific isotope analysis. Environmental Science and Technology 43.

Bole, D. 2004: Daily mobility of Workers in Slovenia = Dnevna mobilnost delavcev v Sloveniji. Acta geographica Slovenica 44-1. DOI: 10.3986/AGS44102

Bole, D., Gabrovec, M., Nared, J., Razpotnik Visković, N. 2012: Integrated planning of public passenger transport between the city and the region: the case of Ljubljana = Celostno načrtovanje javnega potniškega prometa med mestom in regijo na primeru Ljubljane. Acta geographica Slovenica 52-1. DOI: 10.3986/AGS52106

Bračič Železnik, B., Kladnik, D., Rejec Brancelj, I., Smrekar, A. 2004: Mestna raba tal. Podtalnica Ljubljanskega polja, Geografija Slovenije 10. Ljubljana.

Breg, M., Kladnik, D., Smrekar, A. 2007: Dumping sites in the Ljubljansko polje water protection area, the primary source of Ljubljana's drinking water = Odlagališča odpadkov na vodovarstvenem območju Ljubljanskega polja, glavnem viru oskrbe Ljubljane s pitno vodo. Acta geographica Slovenica 47-1. DOI: 10.3986/AGS47104

Breznik, M. 1978: Gospodarjenje s podtalnico Ljubljanskega polja s povečanjem njene zmogljivosti. RSS. Ljubljana.

Breznik, M. 1990: Ogroženost podtalnice. Ujma 4.

Brglez, A. 2011. RE: Pomoč pri projektu INCOME, INCOME_odv_voda_čistopis_190411.xlsx. Elektronska pošta za: Prestor, J. 19. 4. 2011. Osebna komunikacija.

Carle, S. F., Fogg, G. E. 1996: Transition probability-based indicator geostatistics. Mathematical Geology 28-4.

Carle, S. F., Fogg, G. E. 1997: Modeling Spatial Variability with One and Multidemensional Continuous-Lag Markov Chains. Mathematical Geology 29-7.

Collins, C. M., Steg, L., Koning, M. A. S. 2007: Customers values, beliefs on sustainable corporate performance, and buying behavior. Psychology and Marketing 24. DOI: 10.1002/mar.20173

Conner, M., Armitage, C. J. 1998: Extending the theory of planned behavior: A review and avenues for further research. Journal of Applied Social Psychology 28. DOI: 10.1111/j.1559-1816.1998.tb01685

Čižman, M. 2006: Ljubljana: Ulice, ceste in trgi po župnijah. Nadškofija Ljubljana. Ljubljana.
De Groot, J. I. M., Steg, L. 2007: Value orientations and environmental beliefs in five countries: Validity of an instrument to measure egoistic, altruistic and biospheric value orientations. Journal of Cross-Cultural Psychology 38-3.
De Groot, J. I. M., Steg, L. 2008: Value orientations to explain environmental attitudes and beliefs: How to measure egoistic, altruistic and biospheric value orientations. Environment and Behaviour 40-3. DOI: 10.1177/0013916506297831
De Groot, J. I. M., Steg, L. 2009: Morality and prosocial behaviour: the role of awareness, responsibility and norms in the norm activation model. Journal of Social Psychology 149. DOI: 10.3200/SOCP.149.4.
De Groot, J. I. M., Steg, L. 2010: Relationships between value orientations, self-determined motivational types and pro-environmental behavioural intentions. Journal of Environmental Psychology 30. DOI: 10.1016/j.jenvp.2010.04.002
Dietz, T., Fitzgerald, A., Shwom, R. 2005: Environmental values. Annual Review of Environment and Resources 30. DOI: 10.1146/30.050504.144444
DOF (digitalni ortofoto) 2006. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
Drev, D., Panjan, J. 2009: Analiza biofilma in samočistilni procesi v kanalizacijskih sistemih. Gradbeni vestnik 58.
EHIŠ (Evidenca hišnih številk) 2009. Kataster prostorskih enot, Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
Fraser, G. S., Davis, J. M. (ur.) 1998: Hydrogeologic models of sedimentary aquifers, SEPM Concepts in Hydrology and Environmental Geology 1. Society for Sedimentary Geology. Tulsa.
Gardner, G. T., Stern, P. C. 2002: Environmental problems and human behavior. Boston.
Geo-log 2010: Short progress report for action A 4.2: Direct push methods and backtracking (06-10). Geo-log. Braunschweig.
Graham, D. N., Butts, M. B. 2005: Flexible, integrated watershed, modelling with MIKE SHE. Watershed Models. Boca Raton.
Holmstrand, H., Andersson, P., Gustafsson, O. 2004: Chlorine isotope analysis of submicromole organochlorine samples by sealed tube combustion and thermal ionization mass spectrometry. Analitical Chemistry 76.
Hribernik, K., Šinigoj, J., Krivic, M., Podboj, M. 2012: INCOME – Establishment and maintenance of database system (project INCOME report). Geological Survey of Slovenia. Ljubljana.
Jacobs, K. 2002: Connecting Science, Policy, and Decision-making: A Handbook for Researchers and Science Agencies. Silver Spring.
Jamnik, B., Janža, M., Prestor, J., Smrekar, A., Vilhar, U., Bračič-Železnik, B., Breg Valjavec, M. 2012: Predlogi za izboljšanje razmer na področju upravljanja vodnih virov. Medmrežje: http://www.life-income.si/upload/doc/137_Predlogi_za_izboljsanje_razmer_na_podrocju_upravljanja_vodnih_virov.pdf (10. 10. 2013).
Jamnik, B., Smrekar, A., Vrščaj, B. 2009: Vrtičkarstvo v Ljubljani. Geografija Slovenije 21. Ljubljana.
Jamnik, B., Urbanc, J. 2000: Izvor in kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja. RMZ – Materials and geoenvironment 47.
Janža, M. 2009: Modeliranje heterogenosti vodonosnika Ljubljanskega polja z uporabo Markovih verig in geostatistike. Geologija 52-1.
Janža, M. 2014: A decision support system for emergency response to groundwater resource pollution in an urban area (Ljubljana, Slovenia). Environmental Earth Sciences. DOI: 10.1007/s12665-014-3662-2
Janža, M., Meglič P., Šram D. 2011: Numerical hydrological modelling (project INCOME action report). Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
Janža, M., Prestor, J., Urbanc, J., Jamnik, B. 2005: TCE contamination plume spreading in highly productive aquifer of Ljubljansko polje. Abstracts of the Contributions of the EGU General Assembly 2005: Dunaj, Geophysical Research Abstracts 7. Katlenburg-Lindau.

Jordan, F. 2009: Izvedbeni prostorski načrt Mestne občine Ljubljana, dopolnjeni osnutek. Grafični del, karte mxd, IS_CESTE_Shape. Ljubljanski urbanistični zavod d. d. Ljubljana.
JP VO-KA 2012: CTV video statistika, Savsko naselje (19. 5. 2008–2. 12. 2008), Nove Jarše (8. 9. 2010–22. 10. 2010) in Industrijska cona Moste (2. 6. 2009–3. 6. 2009). Vodovod-Kanalizacija d. o. o. Ljubljana.
Kaiser, F. G., Shimoda, T. A. 1999: Responsibility as a predictor of ecological behavior. Journal of Environmental Psychology 19. DOI: 10.1006/jevp.1998.9123
Kirn, A. 2004: Narava – družba – ekološka zavest. Ljubljana.
Kladnik, D., Rejec Brancelj, I., Smrekar, A. 2003: Dung Installations as Dangerous Point Sources Burdening the Groundwater of Ljubljansko polje = Gnojni objekti kot nevarni točkovni viri obremenjevanja podtalnice Ljubljanskega polja. Acta geographica Slovenica 43-2. DOI: 10.3986/AGS43204
Kollmuss, A., Agyeman, J. 2002: Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? Environmental education Research 8-3. DOI: 10.1080/13504620220145401
Kozina, J. 2010: Transport accessibility to regional centres in Slovenia = Prometna dostopnost do regionalnih središč c Sloveniji. Acta geographica Slovenica 50-2. DOI: 10.3986/AGS50203
Kristensen, M., Andersson, U. 1999: Water resources management model for Ljubljansko polje and Ljubljansko barje – model report. Danish Hydraulic Institute. Horsholm.
Kvamme, K., Oštir-Sedej, K., Stančič, S., Šumrada, R. 1997: Geografski informacijski sistemi. Ljubljana.
Malnar, B. 2002: Ekološke orientacije – trajne vrednote ali prehodni preplah? Družboslovne razprave 18.
Martin, H., Patterson, B. M., Davis, G. B., Grathwohl, P. 2003: Field Trial of Contaminant Groundwater Monitoring:? Comparing Time-Integrating Ceramic Dosimeters and Conventional Water Sampling. Environmental Science and Technology 37.
Medmrežje 1: http://www.life-income.si (5. 2. 2014).
Medmrežje 2: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/Saveshow.asp (26. 2. 2014).
Medmrežje 3: http://www.rumenestrani.com/ (1. 3. 2010).
Medmrežje 4: http://zemljevid.najdi.si/ (1. 3. 2010).
Medmrežje 5: http://www.petrol.si/ (1. 3. 2010).
Medmrežje 6: http://www.bizi.si/ (1. 3. 2010).
Medmrežje 7: http://www.pirs.si/ (1. 3. 2010).
Medmrežje 8: http://www.itis.si/ (1. 3. 2010).
Medmrežje 9: http://www.vmware.com/files/pdf/ESRI-DeploymentGuide-v1.0.pdf (28. 2. 2014).
Medmrežje 10: http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/isoig/res/funda.html (10. 3. 2014).
Medmrežje 11: U.S. Environmental Protection Agency 2005: Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies: http://www.clu-in.org/download/char/540r04005.pdf (27. 2. 2014).
Medmrežje 12: http://www.vo-ka.si/sites/default/files/vo_ka_si/stran/datoteke/tehnicna_navodila_za_kanalizacijo.pdf (28. 8. 2014).
Medmrežje 13: http://www.life-income.si/upload/doc/69_Zabelezka_4_delavnice_INCOME.pdf (15. 1. 2014).
Medmrežje 14: http://www.life-income.si/upload/fck/File/INCOME_delavnica2_zabelezkapdf1.pdf (15. 1. 2014).
Medmrežje 15: http://www.life-income.si (15. 1. 2014).
Medmrežje 16: http://www.ljubljana.si/si/mol/mestna-uprava/oddelki/varstvo-okolja/. Program varstva okolja Mestne občine Ljubljana 2014–2020 (1. 10. 2014).
Meglič, P., Janža, M., Šram, D., Prapertnik, M., Matoz, T. 2011: A.4.3. Direct Push Methods – Local Assistance. Final Report. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
Mencej, Z. 1988: Prodni zasipi pod sedimenti Ljubljanskega barja. Geologija 31.
Mihelič, R., Lobnik, F., Zupan, M., Vrščaj, B., Rupreht, J., Tič, I., Pačnik, T., Kastelec, D., Leskošek, M., Bergant, K. 2002: Strokovne podlage za operativni program varstva voda pred onesnaženjem z nitratom. Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. Izvajanje vodne direktive na Vodnem območju Donave, 2005. Poročilo št.: 355-01-05/2005. Ljubljana. Medmrežje: http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/okolje/pdf/vode/porocilo_donava.pdf (15. 3. 2014).

Nared, J. 2007: Prostorski vplivi slovenske regionalne politike. Geografija Slovenije 16. Ljubljana.

Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. 1970: River flow forecasting through conceptual models, part I – A discussion of principles. Journal of Hydrology 10-3.

Ninamedia 2012: Panel – kontinuirana javnomnenjska raziskava na stalnem vzorcu anketirancev. JHL. Ljubljana.

Občinski prostorski načrt MOL 2010. Ljubljana. Medmrežje: https://urbanizem.ljubljana.si/index3/ (28. 4. 2014).

Odlok o varstvenih pasovih vodnih virov v Ljubljani in ukrepih za zavarovanje voda. Uradni listi SRS 18/1977, 17/1981, 30/1981, 15/1983 in 15/1984. Ljubljana.

Odlok o varstvu virov pitne vode. Uradni listi SRS 13/1988, 23/1988, 19/1989 in 7/1993. Ljubljana.

Odlok o zaščitnem pasu. Uradni list SRS 3/1955. Ljubljana.

Organi in organizacije v občini. Uradni list SRS 3/1988. Ljubljana.

Orin, T. 2011: Windows Server 2008 R2 Secrets. United Kingdom.

Pak, M. 2000: Funkcijska zgradba. Ljubljana – Geografija mesta. Ljubljana.

Panjan, J. 2004: Količinske in kakovostne lastnosti voda. Študijsko gradivo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Peng, Z., Tsou, M. 2003: Internet GIS Distributet Geographic Information Services for Internet and Wireless Networks. United Kingdom.

Pintar, M., Burja, D., Anzeljc, D., Ajdič, M., Rebolj, D. 1997: Odtok atmosferskih vod z AC, kemizem vod in učinkovitost lovilcev olj in usedalnikov, Četrto fazno poročilo. Vodnogospodarski inštitut. Ljubljana.

Pintar, M., Sluga, G., Bremec, U. 2005: Bilanca dušika na kmetijskih površinah. Določitev obremenitev iz kmetijstva za izbrane prostorske enote. Inštitut za vode Republike Slovenije. Ljubljana.

Plump, R. H. ml. 1987: A comparison of ground water monitoring data from CERCLA and RCRA sites. Ground Water Monitoring. Review 7.

Polajnar Horvat, K. 2012: Oblikovanje modela razvoja okoljske ozaveščenosti in okolju prijaznega vedenja. Geografski vestnik 84-2.

Pouria, A. 2013: ArcGIS for Desktop Development Using .NET. United Kingdom.

Pravilnik o pitni vodi. Uradni list RS 19/2004. Ljubljana.

Prestor, J., Mali, N., Urbanc, J., Komac, M., Hribernik, K., Šinigoj, J., Janža, M., Meglič, P., Strojan, M., Brenčič, M., Lapanje, A., Rajver, D., Levičnik, L., Rikanovič., R., Bavec, M., Šajn, R., Rokavec, D., Bizjak, M. 2005: Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije (sklepno poročilo 3. faze). Hidrogeološke podlage za začetno opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije. Zvezek 1. Vodno območje Donave – porečje Save 2004. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.

Prestor, J., Pestotnik, S., Meglič, P., Janža, M. 2011: Model of environmental pressures and impacts. Action A.3.3 final report of INCOME project LIFE+ programme, JP Vodovod-Kanalizacija d. o. o. Ljubljana.

Prestor, J., Urbanc, J., Janža, M., Rikanovič, R., Bizjak, M., Medić, M., Strojan, M. 2002: Preverba in dopolnitev strokovnih podlag za dopolnitev strokovnih podlag za določitev varstvenih pasov vodnih virov centralnega sistema oskrbe s pitno vodo MOL – Ljubljansko polje. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.

Program varstva okolja MOL 2014–2020. Medmrežje: http://www.ljubljana.si/si/mol/mestna-uprava/oddelki/varstvo-okolja/ (1. 10. 2014).

Ravbar, M., Bole, D., Nared, J. 2005: A creative milieu and the role of geography in studying the competitiveness of cities: the case of Ljubljana = Ustvarjalno okolje in vloga geografije pri proučevanju konkurenčnosti mest: primer Ljubljane. Acta geographica Slovenica 45-2. DOI: 10.3986/AGS45201

Rayner, S., Lach, D., Ingram, H. 2005: Weather Forecasts are for Wimps: Why Water Resource Managers Do Not Use Climate Forecasts. Climatic Change 69.

Rejec Brancelj, I., Smrekar, A., Kladnik, D. 2005: Podtalnica Ljubljanskega polja, Geografija Slovenije 10. Ljubljana.

Rihtar, H., Berkopec, G. 1989: Stanje na varstvenih pasovih virov pitne vode na območju Ljubljane, iz katerih se oskrbuje nad 10.000 prebivalcev. Elaborat, Zavod za družbeno planiranje Ljubljana. Ljubljana.

Roš, M., Panjan, J. 2012: Gospodarjenje z odpadnimi vodami. Učbenik za modul Gospodarjenje z odpadnimi vodami v programu okoljevarstveni tehnik. Celje.

Sakaguchi-Söder, K., Jager, J., Grund, H., Matthäus, F., Schüth, C. 2007: Monitoring and evaluation of dechlorination processes using compound- specific chlorine isotope analysis. Rapid Communications in Mass Spectrometry 21.

Schmidt, T. C., Zwank, L., Elsner, M., Berg, M., Meckenstock, R. U., Haderlein, S. B. 2004: Compound-specific Stable Isotope Analysis of Organic Contaminants in Natural Environments – A Critical Review of State of the Art, Prospects and Future Challenges. Analytical and Bioanalitical Chemistry 378.

Schultz, P. W., Gouveia, V. V., Cameron, L. D., Tankha, G., Schmuck, P., Franek, M. 2005: Values and their relationship to environmental concern and conservation behavior. Journal of Cross-Cultural psychology 36.

Schuman, H., Presser, S. 1996: Questions and Answers in Attitude Surveys. London.

Schwartz, S. H. 1992: Universals in the content and structure of values: Theoretic advances and empirical tests in 20 countries. Advances in experimental social psychology 25. San Diego.

Sherwood Lollar, B., Slater, G. F., Ahad, J. M. E., Sleep, B. E., Spivack, J., Brennan, M., Mackenzie, P. 1999: Contrasting carbon isotope fractionation during biodegradation of trichloroethylene and toluene: implications for intrinsic bioremediation. Organic Geochemistry 30.

Smrekar, A. 2004: Reduced Permeation of Precipitation Water into Groundwater on Ljubljansko polje = Zmanjšano prenikanje padavinske vode v podtalnico na Ljubljanskem polju. Geografski zbornik/Acta Geographica Slovenica 44/2.

Smrekar, A. 2006: Zavest ljudi o pitni vodi. Geografija Slovenije 12. Ljubljana.

Smrekar, A. 2011: From environmental awareness in word to environmental awareness in deed: the case of Ljubljana = Od deklarativne do dejanske okoljske ozaveščenosti na primeru Ljubljane. Acta geografica Slovenica 51-2. DOI: 10.3986/AGS51203

Smrekar, A., Breg Valjavec, M., Slavec, P., Bračič Železnik, B., Jamnik, B. 2006: Odlagališča odpadkov na vodovarstvenem območju, pomembnem za oskrbo MOL s pitno vodo. Elaborat. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.

Smrekar, A., Bole, D., Breg Valjavec, M., Gabrovec, M., Gašperič, P., Ciglič, R., Pavšek, M., Topole, M. 2010: Poročilo akcije A.2.1., A.2.1. Register and evaluation of the active and the potential sources of pollution. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.

Smrekar, A., Kladnik, D. 2007: Zasebni vodnjaki in vrtine na območju Ljubljane. Georitem 4. Ljubljana.

Special Eurobarometer 365 2011: Attitudes of European citizens towards the environment. European Commision. Bruselj.

Steg, L., Dreijerink, L., Abrahamse, W. 2005: Factors influencing the acceptability of energy policies: A test of VBN theory. Journal of Environmental Psychology 25.

Steg, L., Perlaviciute, G., Van der Werff, E., Lurvink, J. 2012: The Significance of Hedonic Values for Environmentally Relevant Attitudes, Preferences and Actions. Environment and Behavior 10. DOI: 10.1177/0013916512454730

Steg, L., Vlek, C., Slotegraaf, G. 2001: Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car. Transportation Research Part F: Trafic Psychology and Behaviour 4-3. DOI: 10.1016/S1369-8478(01)00020-1

Steinman, F., Gosar, L., Krajnc, U., Brenčič, M., Prešeren, T., Kralj, P., Kozelj, D. in Rak, G. 2007: Predlog letnega programa obratovalnega monitoringa odvodnje padavinskih vod z javnih cest: končno poročilo. Inštitut Falkultete za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za ekološki inženiring. Ljubljana.

Stern, P. C. 2000: Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. Journal of Social Issues 56. DOI: 10.1111/0022-4537.00175

Stern, P. C., Dietz, T. 1994: The value basis of environmental concern. Journal of Social Issues 50. DOI: 10.1111/j.1540-4560.1994.tb02420.x

Stern, P., Dietz, T., Guagnano, G. A. 1998: A brief inventory of values. Educational and Psychological Measurement 58-6. DOI: 10.1177/0013164498058006008

Sturchio, N., Clausen, J., Heraty, L., Huang, L., Holz, B., Abrajano, B. 1998: Chlorine Isotope Investigation of Natural Attenuation of Trichloroethene in an Aerobic Aquifer. Environmental Science and Technology 32.

Šauperl, I., Eržen, Z. 1997: Preizkušanje tesnosti kanalizacijskih sistemov in objektov. Gradbeni vestnik 45.

Šinigoj, J., Kumelj, Š., Hribernik, K., Krivic, M., Jemec Auflič, M., Požar, M., Podboj, M., Kopitar, T., Mahne, M., Otrin, J. 2011: Geološki informacijski sistem: končno poročilo za leto 2011. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.

Špes, M., Lampič, B., Smrekar, A. 1995: The cultural and economic conditions of decision-making for sustainable city. Moravian Geographical Reports 3-1/2.

Špes, M., Lampič, B., Smrekar, A. 2001: Influence of physical and social factors on the quality of urban environment in Ljubljana. Moravian Geographical Reports 9-1.

Šram, D., Brenčič, M., Lapanje, A., Janža, M. 2012: Prostorski model visečih vodonosnikov na Ljubljanskem polju. Geologija 55-1.

Šušteršič, N. 2011: Parametri na dotoku CČN Ljubljana, Analiza ZZV MB, 23. 6. 2008 (lab. št. 4989-01) in 25. 11. 2008 (lab. št. 5954-01). Elektronska pošta za: Prestor, J. 26. 5. 2011. Osebna komunikacija.

Tedeschi, S. 1997: Zaštita voda. Zagreb.

Thøgersen, J., Ölander, F. 2002: Human values and the emergence of a sustainable consumption pattern: A panel study. Journal of Economic Psychology 23.

Toš, N. 2012: Vrednote v prehodu VI. Slovensko javno mnenje o okolju. Center za raziskovanje javnega mnenja. Fakulteta za družbene vede Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Urbanc, J., Jamnik, B. 1998: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. Geologija 41.

Urbanc, J., Jamnik, B. 2004: Nitrate isotope composition as a decision support in drinking water management, Ljubljana, Slovenia. Isotopes in the hydrological cycle and environment, UNESCO. Pariz.

Urbanc, M., Breg, M. 2005: Gravel plains in urban areas: gravel pits as an element of degraded landscapes = Prodna ravnina v mestnem prostoru: gramoznice kot prvina degradirane pokrajine. Acta geographica Slovenica 45-2. DOI: 10.3986/AGS45202

Uredba o načinu izplačevanja in merilih za izračun nadomestila za zmanjšanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima. Uradna lista RS 105/2011 in 64/2012. Ljubljana.

Uredba o načinu izvajanja obveznih državnih gospodarskih javnih služb na področju urejanja voda in o koncesijah teh javnih služb. Uradni list RS 109/2010. Ljubljana.

Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja. Uradni listi RS 120/2004, 7/2006, 1/2012 in 44/2012. Ljubljana.

Vintar, M. 1996: Informatika. Ljubljana.

Zabeležka 1. delavnice INCOME, Register onesnaževalcev – zadetek INCOME v polno ali slepa ulica?, 2010. Ljubljana. Medmrežje: http://www.life-income.si/upload/doc/43_Zabelezka_1delavnice_INCOME.pdf (5. 2. 2014).

Zakon o vodah. Uradni listi RS 67/2002, 2/2004 – ZZdrI-A, 41/2004 – ZVO -1, 57/2008, 57/2012 in 100/2013. Ljubljana.

Žlebnik, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Geologija 14.

13 SEZNAM SLIK

Slika 1: Skrb za pitno vodo spodbuja dialog deležnikov. Udeleženci 4. INCOME delavnice »Ali je trajnostna raba vodovarstvenega prostora uresničljiv cilj?«, ki je potekala 16. 6. 2011 v Ljubljani. 9
Slika 2: Na ogledu vodovarstvenih območij v Ljubljani leta 2009. 13
Sliki 3 in 4: Ključna naloga upravljavca javnega vodovodnega sistema je varna oskrba s pitno vodo. 14–15
Slika 5: Sestava registra in delitev onesnaževalcev glede na aktivnost, obseg vnosa onesnaženja in dejavnost. 19
Slika 6: Stereoskopska analiza arhivskih letalskih posnetkov. 20
Slika 7: Grafični prikaz v registru. 25
Slika 8: Arhitektura sistema okoljskih podatkov. 28
Slika 9: Relacijski model podatkovne baze merilnih mest. 30
Slika 10: Vnosne maske baze merilnih mest. 31
Slika 11: Razdelitev temeljnega okna pregledovalnika. 33
Slika 12: Prostorska razporeditev hidrogeoloških objektov z rezultati kemijskih analiz. 34
Slika 13: Izvoz podatkov v obliki grafa, preglednice in pdf dokumenta. 35
Slika 14: Vzorčna mesta podzemne vode na Ljubljanskem polju in Ljubljanskem barju. 38
Slika 15: Rezultati meritev električne prevodnosti podzemne vode na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 39
Slika 16: Povprečne koncentracije hidrogenkarbonata v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 40
Slika 17: Koncentracije kalcija ter magnezija v podzemni vodi. Zaradi preglednosti so na sliki prikazani vodnjaki vodarne Brest označeni samo z oznako »BR« in pripadajočo številko vodnjaka. 42
Slika 18: Molarno razmerje med kalcijem in magnezijem v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 44
Slika 19: Koncentracije nitratov v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 45
Slika 20: Koncentracije kloridov v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 46
Slika 21: Koncentracije sulfatov v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 48
Slika 22: Izotopska sestava kisika ($\delta^{18}O$) v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 49
Slika 23: Razmerje med izotopsko sestavo kisika ($\delta^{18}O$) ter koncentracijo hidrogenkarbonata (HCO_3^-) v podzemni vodi. 50
Slika 24: Vsebnost tritija v podzemni vodi na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. 52
Slika 25: Fotografija pasivnega vzorčevalnika s silikonsko cevko (levo) in grafikon sprejema PCE s pasivnim vzorčevalnikom v vodi s koncentracijo 10 µg/l v odvisnosti od časa (desno). 56
Slika 26: Pasivni vzorčevalniki, pripravljeni za dostavo v laboratorij, shranjeni v steklenih vialah z deionizirano vodo. 57
Slika 27: Rezultati analiz PCE (ion 166) vzorcev, vzetih iz vrtine Obrije 25. 10. 2010. Mase, izločene iz vzorčevalnikov, sorazmerne z relativno koncentracijo (levo) in razmerje izotopov klora (desno). 57

Slika 28: Rezultati analiz vzorcev, vzetih iz vrtine BRP 15. aprila 2011. Mase, izločene iz vzorčevalnikov, sorazmerne z relativno koncentracijo PCE (ion 166, zgoraj levo) in razmerje izotopov klora PCE (zgoraj desno), ter z relativno koncentracijo TCE (ion 132, spodaj levo) in razmerje izotopov klora TCE (spodaj desno). 58
Slika 29: Oprema tehnologije neposrednega vtiskanja (DPT). 60
Slika 30: Shematski prikaz izvedbe DPT (prirejeno po Geo-log 2010). 61
Slika 31: Primer meritve električne prevodnosti po globini (levo) in prikaz interpretacije meritev (desno). 62
Slika 32: Položaj opazovalnih objektov na Iškem vršaju, izdelanih s tehnologijo DPT, in potek prereza. 63
Slika 33: Prerez v smeri vzhod–zahod s krivuljami meritev naravnega sevanja gama (višje vrednosti pomenijo večjo vsebnost drobnozrnatega gradiva). 65
Slika 34: Gladina in smeri toka podzemne vode v Iškem vršaju, interpretirane na podlagi meritev septembra 2011. 66
Slika 35: Prostorski prikaz koncentracij atrazina v podzemni vodi Iškega vršaja. 67
Slika 36: Prostorski prikaz koncentracij desetilatrazina v podzemni vodi Iškega vršaja. 68
Slika 37: Prostorska porazdelitev koncentracij nitratov v podzemni vodi Iškega vršaja. 69
Slika 38: Koncentracije atrazina, desetilatrazina in nitratov na različnih globinah objektov INC-15S,D (levo) in INC-18S,M,D (desno). 70
Slika 39: Območje modeliranja. 72
Slika 40: Raztezanje slabše prepustnih plasti (debelina plasti je 5 m) v nezasičenem delu vodonosnika na različnih globinah: med 275 in 285 m nadmorske višine, med 286 in 295 m nadmorske višine ter med 296 in 305 m nadmorske višine (Šram s sodelavci 2012). 74
Slika 41: Izseka dveh realizacij geostatističnega hidrogeološkega modela (Janža 2009). 75
Slika 42: Primerjava opazovanih in simuliranih gladin podzemne vode ter vodostajev Save za desetletno obdobje 2000–2009 (Janža 2014). 76
Slika 43: Primerjava opazovanih in simuliranih koncentracij trikloroetena (TCE) v vrtinah BŠV-1 in PAC-6 med decembrom 2003 in decembrom 2004 (Janža 2014). 77
Slika 44: Primerjava porazdelitve koncentracije nitratov iz rezultatov monitoringa (v barvah) ter modela obremenitev in vplivov zaradi izgub dušika iz kanalizacije (v črno belih odtenkih); v ospredju je prikazano kanalizacijsko omrežje. 86
Slika 45: Prostorska analiza vplivov na podzemne vode – srednje koncentracije nitratov na merilnih mestih in interpolacija po metodi utežne inverzne razdalje. 87
Slika 46: Primerjava porazdelitve vsebnosti nitratov iz rezultatov monitoringa (v barvah) ter modela obremenitev in vplivov zaradi presežkov dušika s kmetijskih zemljišč (v črno-belih odtenkih). 88
Slika 47: Primerjava porazdelitve vsebnosti nitratov iz rezultatov monitoringa (v barvah) ter modela obremenitev in vplivov zaradi presežkov dušika s kmetijskih zemljišč in izgub iz kanalizacije (v črnobelih odtenkih). 89
Slika 48: Primerjava ocen okoljskih vplivov med rezultati monitoringa (interpolacija z metodo utežne inverzne razdalje) in modeliranih koncentracij kroma (VI) zaradi znanih izgub iz kanalizacije. 91
Slika 49: Priporočilo za opredelitev dolgoročnih ciljev glede vsebnosti nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja. 92
Slika 50: Podatkovna baza divjih odlagališč odpadkov. 94
Slika 51: Pogovorno okno modula za optimizacijo. 96

Slika 52: Pogovorna okna za: a) izbiro opazovalnega mesta, kjer je bilo odkrito onesnaženje; b) izbiro onesnaževala in določitev njegovih koncentracij; c) in d) prikaz poteka simulacije. V pogovornem oknu e) je seznam črpalnih vrtin s preseženimi mejnimi koncentracijami onesnaževala. 98
Slika 53: Strinjanje s trditvijo: »Za nekoga, kot sem jaz, je lahko, da kaj naredi za okolje« (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408). 102
Slika 54: Pripravljenost anketirancev za plačevanje višjih cen raznih artiklov z namenom varovanja pitne vode (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408). 103
Slika 55: Pripravljenost za okolju prijazno obnašanje na hipotetični, dejanski in aktivni ravni (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408). 105
Slika 56: Srednje vrednosti altruističnih, egoističnih in biosferičnih vrednot anketirancev, ki izražajo njihovo hipotetično, dejansko ali aktivno okoljsko držo (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408). 106
Slika 57: Vodonosne plasti Ljubljanskega polja napaja tudi reka Sava. 109
Slika 58: Oznake, ki kažejo na skrb za vodne vire, najdemo tudi ob vsakodnevnih poteh. 111

14 SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava registra aktivnih virov onesnaževanja podzemne vode in vsebina podatkovnih slojev. 22
Preglednica 2: Sestava in število objektov v registru onesnaževalcev. 22
Preglednica 3: Predstavitev podatkovnih slojev iz obeh vsebinskih delov registra. 24
Preglednica 4: Podatki o izdelanih opazovalnih objektih. 64
Preglednica 5: Vrednosti parametrov vrednotenja hidrološkega modela (Janža 2014). 77
Preglednica 6: Izbor podatkov o koncentracijah izbranih najpomembnejših parametrov v odpadnih vodah s prometnih in podobnih površin (BTX[1] – lahkohlapni aromatski ogljikovodiki, PAH[2] – policiklični aromatski ogljikovodiki, AOX[3] – adsorbljivi organski halogeni) 80
Preglednica 7: Razredi kanalizacijskih vodov po materialu, starosti vgradnje in dolžini ter način izračuna izgub. 82
Preglednica 8: Izmerjene in izračunane količine ter deleži izvorov glavnih onesnaževal v ljubljanskem kanalizacijskem omrežju. 84
Preglednica 9: Izračunani deleži virov pomembnejših onesnaževal z mestnih površin v dotoku iz kanalizacije v Centralno čistilno napravo Ljubljana (*izbrani parametri, ki so se v analizah na dotoku v CČN Ljubljana leta 2008 pojavljali nad mejo detekcije). 84
Preglednica 10: Končna ocena porazdelitve izgub iz ljubljanske kanalizacije glede na material in leto gradnje. 85
Preglednica 11: Izbrane vrednote oziroma »kazalniki kakovosti življenja« (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408). 101
Preglednica 12: Deskriptivna statistika preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408). 102
Preglednica 13: Medsebojna povezanost hipotetične okoljske drže in preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408) (*p < 0,05, **p < 0,001). 103
Preglednica 14: Medsebojna povezanost dejanske okoljske drže in preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408) (*p < 0,05, **p < 0,001). 104
Preglednica 15: Medsebojna povezanost aktivne okoljske drže in preučevanih vrednot (Anketa o rabi vode … 2010; N = 408) (*p < 0,05, **p < 0,001). 105

Publikacija je zasnovana na podlagi mednarodnega projekta *Improved management of contaminated aquifers by integration of source tracking, monitoring tools and decision strategies* (INCOME), sofinanciranega iz evropskega finančnega mehanizma LIFE+. Projekt sta finančno podrla tudi Mestna občina Ljubljana ter Ministrstvo za okolje in prostor.

Seznam knjig iz zbirke Geografija Slovenije

1 Milan Natek, Drago Perko: 50 let Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU
2 Jerneja Fridl: Metodologija tematske kartografije nacionalnega atlasa Slovenije
3 Drago Perko: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa
4 Uroš Horvat: Razvoj in učinki turizma v Rogaški Slatini
5 Mimi Urbanc: Kulturne pokrajine v Sloveniji
6 Miha Pavšek: Snežni plazovi v Sloveniji
7 Maja Topole: Geografija občine Moravče
8 Drago Kladnik, Marjan Ravbar: Členitev slovenskega podeželja
9 Damir Josipovič: Dejavniki rodnostnega obnašanja v Sloveniji
10 Irena Rejec Brancelj, Aleš Smrekar, Drago Kladnik: Podtalnica Ljubljanskega polja
11 Franci Petek: Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu
12 Aleš Smrekar: Zavest ljudi o pitni vodi
13 Blaž Komac: Dolec kot značilna oblika dolomitnega površja
14 Drago Kladnik: Podomačena tuja zemljepisna imena v slovenskih atlasih sveta
15 Blaž Komac, Matija Zorn: Pobočni procesi in človek
16 Janez Nared: Prostorski vplivi slovenske regionalne politike
17 Lučka Ažman Momirski, Drago Kladnik, Blaž Komac, Franci Petek, Peter Repolusk, Matija Zorn: Terasirana pokrajina Goriških brd
18 Matija Zorn: Erozijski procesi v slovenski Istri
19 David Bole: Ekonomska preobrazba slovenskih mest
20 Blaž Komac, Karel Natek, Matija Zorn: Geografski vidiki poplav v Sloveniji
21 Brigita Jamnik, Aleš Smrekar, Borut Vrščaj: Vrtičkarstvo v Ljubljani
22 Rožle Bratec Mrvar, Lukas Birsak, Jerneja Fridl, Drago Kladnik, Jurij Kunaver: Kocenov srednješolski atlas kot didaktična prelomnica
23 Bojan Erhartič: Geomorfološka dediščina v Dolini Triglavskih jezer
24 Drago Kladnik, Rok Ciglič, Mauro Hrvatin, Drago Perko, Peter Repolusk, Manca Volk: Slovenski eksonimi
25 Drago Kladnik, Drago Perko: Slovenska imena držav
26 Mateja Breg Valjavec: Nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah
27 Drago Kladnik, Primož Pipan, Primož Gašperič: Poimenovanja Piranskega zaliva
28 Rok Ciglič: Analiza naravnih pokrajinskih tipov Slovenije z GIS-om
29 Matjaž Geršič, Borut Batagelj, Herman Berčič, Ljudmila Bokal, Aleš Guček, Janez Kavar, Stane Kocutar, Blaž Komac, Zvezdan Marković, Peter Mikša, Blaž Torkar: Rudolf Badjura – življenje in delo
30 Matej Gabrovec, Mauro Hrvatin, Blaž Komac, Jaka Ortar, Miha Pavšek, Maja Topole, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn: Triglavski ledenik
31 Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar, Mateja Breg Valjavec, Sonja Cerar, Claudia Cosma, Katarina Hribernik, Matija Krivic, Petra Meglič, Simona Pestotnik, Matthias Piepenbrink, Martin Podboj, Katarina Polajnar Horvat, Joerg Prestor, Christoph Schüth, Jasna Šinigoj, Dejan Šram, Janko Urbanc, Gorazd Žibret: Skrb za pitno vodo

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
Naslov: Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: gi@zrc-sazu.si
Medmrežje: http://giam.zrc-sazu.si

Inštitut je leta 1946 ustanovila Slovenska akademija znanosti in umetnosti in ga leta 1976 poimenovala po akademiku dr. Antonu Meliku (1890–1966). Od leta 1981 je sestavni del Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Leta 2002 sta se inštitutu priključila Inštitut za geografijo, ki je bil ustanovljen leta 1962, in Zemljepisni muzej Slovenije, ustanovljen leta 1946. Ima oddelke za fizično geografijo, humano geografijo, regionalno geografijo, naravne nesreče, varstvo okolja, geografski informacijski sistem in tematsko kartografijo, zemljepisno knjižnico ter zemljepisni muzej. V njem je sedež Komisije za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije.
Njegovi raziskovalci se ukvarjajo predvsem z geografskimi raziskavami Slovenije in njenih pokrajin ter pripravo temeljnih geografskih knjig o Sloveniji. Sodelujejo pri številnih domačih in mednarodnih projektih, organizirajo znanstvena srečanja, izobražujejo mlade raziskovalce, izmenjujejo znanstvene obiske. Inštitut izdaja znanstveno revijo *Acta geographica Slovenica*/Geografski zbornik ter znanstveni knjižni zbirki Geografija Slovenije in Georitem. V sodih letih izdaja knjižno zbirko GIS v Sloveniji, v lihih letih knjižno zbirko Regionalni razvoj, vsako tretje leto pa knjižno zbirko Naravne nesreče

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 31

ISSN 1580-1594

20 €

9 789612 547387