



---

# NAVODILA ZA UPORABO INOVATIVNIH ORODIJ PRI ODKRIVANJU IN REMEDIACIJI ONESNAŽENJ PODZEMNE VODE

---

WP T1, Poročilo D.T1.4.3

December 2018

---



## NAMEN NAVODIL

Obravnavo in reševanje onesnaženj podzemne vode ponavadi spodbudijo in pričnejo prizadeti uporabniki ali pristojne službe. Prizadeti uporabniki so, v prvi vrsti, upravljavci naprav za oskrbo z vodo in imetniki vodnih pravic. Pristojne službe so predvsem inštitucije pristojne za varovanje okolja in upravljanje s podzemno vodo. Ta navodila so namenjena vsem njihovim strokovnjakom v pomoč pri izvajanju dejavnosti kot so:

- zaznavanje onesnaženja podzemne vode z določenim onesnaževalom ter obsega onesnaženja;
- odkrivanje izvora onesnaženja z določenim onesnaževalom in napredovanja onesnaževala;
- ocena stopnje antropogene onesnaženosti podzemne vode z istim onesnaževalom iz drugih virov;
- ocena zmožnosti naravne razgradnje ali naravnih zadrževalnih sposobnosti obravnavanega onesnaževala v vodonosniku,
- ocena učinkov dodatnih remediacijskih ukrepov za doseganje ciljnih vrednosti kakovosti podzemne vode;
- poročanje podatkov in informacij, ki pripomorejo v postopkih odločanja za vpeljavo načrta obvladovanja obravnavanega onesnaženja.

Kakovost vode glede primernosti za pitje je določena v Uredbi o pitni vodi, splošna kakovost podzemne vode pa v Uredbi o stanju podzemne vode. Obe temeljita na skupnih evropskih direktivah o pitni in podzemni vodi. V posameznih primerih lahko države članice, oziroma pristojne službe sprejmejo odstopanja od določenih ciljnih vrednosti, pri čemer pa upoštevajo načela sorazmernosti in enakosti.

Orodja, prikazana v tem poročilu, so inovativna in razvita še posebej za reševanje problemov pri doseganju ciljnih vrednosti kakovosti podzemne vode v primeru več-točkovnih, oziroma neznanih virov onesnaženja. Uporaba teh orodij zahteva posebno strokovno znanje naročnika in strokovnjakov, ki bodo pri tem sodelovali. Trg usposobljenih ponudnikov tovrstnih storitev, preiskav, vrednotenja in ocenjevanja rezultatov je zelo omejen. Zato je še bolj pomembno, da lahko naročnik dovolj natančno opredeli storitve in oceni ustreznost ter tehnično kakovost ponudb za izvedbo tovrstnih preiskav.

Ta navodila nudijo naročniku pregled inovativnih tehnoloških metod za raziskave virov in obsežnosti onesnaženja podzemne vode ter kvalificirano vrednotenje njihovih prednosti in omejitev. Poročilo nudi podlago za natančen opis potrebnih strokovnih storitev pri pripravi projektnih nalog, usposobljeni nadzor izvedbe ter oceno kakovosti doseženih rezultatov.



## Kazalo vsebine

<b>1. UVOD</b> .....	<b>4</b>
1.1. VRSTE VIROV ONESNAŽEVANJA .....	4
1.2. MERO OBMOČJA ONESNAŽENJA .....	4
1.3. PROBLEM FUNKCIONALNIH MESTNIH OBMOČIJ .....	4
1.4. POSEBNE NALOGE PROJEKTA AMIIGA .....	5
<b>2. ORODJA AMIIGA</b> .....	<b>6</b>
2.1. ZASNOVA ORODIJ AMIIGA .....	6
2.2. ODLOČANJE ZA IZBOR ORODIJ AMIIGA .....	7
<b>3. KATALOG NAPREDNIH ORODIJ »AMIIGA«</b> .....	<b>10</b>
3.1. RAZISKOVALNA ANALIZA PODATKOV .....	11
3.2. BMT - BIOLOŠKO MOLEKULARNO ORODJE .....	13
3.3. CSIA - ANALIZA SPECIFIČNEGA RAZMERJA IZOTOPOV V SPOJINI .....	15
3.4. OBRNjeni TRANSPORTNI MODEL .....	17
3.5. MULTIVARIATNA IN GEOSTATISTIČNA ANALIZA .....	19
3.6. WEBGIS .....	21
<b>4. POVZETEK</b> .....	<b>23</b>
<b>5. LITERATURA</b> .....	<b>25</b>

## Seznam kratic

BMT:	biološko molekularno orodje
BTEX:	benzen, toluen, etilbenzen in ksilen
CE:	klorirani eten
CHC:	kloriran ogljikovodik
cis-DCE:	cis-dikloretilen
CSIA:	analiza izotopov, specifičnih za spojino
SPO:	sistem za podporo pri odločanju
FMO:	funkcionalno mestno območje
GIS:	geografski informacijski sistem
PodV:	podzemna voda
VTV:	večtočkovni viri onesnaženja
NGS:	sekvenciranje naslednje generacije
RV:	razpršeni (netočkovni) viri onesnaženj
PCE:	perkloreten
PCR:	verižna reakcija polimeraze
TV:	točkovni viri onesnaženja
qPCR:	verižna reakcija polimeraze v dejanskem času
TCE:	trikloroeten
VC:	vinilklorid

## 1. Uvod

Stalni razvoj mest (vključujoč pozidane površine, predmestja, industrijske cone) je vedno povezan s prisotnostjo širših območij onesnaženj podzemne vode, kjer je težko prepoznati vire onesnaženja.

Orodja AMIIGA so razvita prav za **funkcionalna mestna območja** (FMO skladno z OECD, 2012<sup>1</sup>), sestavljena iz mestnega jedra in njegovega širšega zaledja, ki sta zaradi trga dela, urbanističnega razvoja in okoljskih vprašanj funkcionalno odvisna drug od drugega.

Pred nadaljevanjem je treba najprej opredeliti merilo območja onesnaženja podzemne vode ter glavne vrste virov onesnaževanja podzemne vode.

### 1.1. Vrste virov onesnaževanja

Obravnavamo tri vrste virov onesnaževanja podzemne vode:

- a) **točkovni vir** (TV), od koder se onesnaženje širi v podzemni vodi v obliki oblaka z visokimi koncentracijami onesnaževala;
- b) **večtočkovni vir** (VTV), od koder se onesnaženje širi iz več točkovnih virov, iz katerih se sproščajo manjše mase in nizke koncentracije onesnaževala in posamezne vire težko prepoznamo, povzročajo pa razpršeno onesnaženje, ki ga lahko zaznavamo tudi le kot antropogeno ozadje;
- c) **netočkovni vir** (NV); kjer onesnaženje izhaja razvoja človekovih dejavnosti na obsežnih območjih (na primer, pesticidi iz kmetijstva ali pa sulfat iz onesnaževanja zraka v preteklih desetletjih v času prevladujočega ogrevanja s premogom).

### 1.2. Merilo območja onesnaženja

Točkovni viri onesnaženja so pogosto onesnažena zemljišča sedanje ali opuščene industrijske naprave (npr., zaradi skladiščenja materiala ali izcejanja odpadnih vod, ipd.). Onesnaženje lahko vključuje le industrijsko cono v funkcionalnem mestnem območju, lahko pa se razširi še izven take cone na druge enote urejanja prostora oziroma dele funkcionalnega mestnega območja (= **lokalno merilo ali merilo onesnaženega območja**). Večtočkovni viri so navadno razporejeni na razmeroma širšem območju (npr., industrijsko območje), onesnaženje pa zadeva celotno funkcionalno mestno območje (= **srednje merilo ali merilo funkcionalnega mestnega območja**). In nazadnje, netočkovni viri vključujejo zelo velika območja, onesnaženje pa mora biti obravnavano na ravni vodnega telesa (= **merilo vodnega telesa**), ki je večje od funkcionalnega mestnega območja in le-tega tudi vključuje.

### 1.3. Problem funkcionalnih mestnih območij

Mrežo za monitoring in sanacijske ukrepe je treba načrtovati tako, da bomo lahko ugotovili, da smo izpolnili zahtevane ciljne vrednosti kakovosti vode iz Direktive EU o podzemni vodi iz leta 2006. Neuspešnost remediacije in njenega načrtovanja ima, zaradi omejitev glede funkcionalnosti, oziroma možnosti rabe zemljišč ter s tem povezanih stroškov upravljanja in ukrepov, velik vpliv na družbo.

Projekt AMIIGA se je osredotočil na onesnaženja v merilu funkcionalnega mestnega območja, saj moramo za onesnaženje podzemne vode iz večtočkovnih virov zahteva ukrepanje v srednjem merilu (merilu funkcionalnega mestnega območja), to pa je v obstoječi EU zakonodaji zapostavljeno in se nahaja v vrzeli

<sup>1</sup>OECD, 2012. Ponovna opredelitev izraza »urbano«: nov način merjenja metropolitanskih območij. Publikacija OECD, pp. 1-9  
<https://doi.org/10.1787/9789264174108-en>

med EU predpisi, ki se nanašajo na netočkovne vire onesnaženj ter nacionalne zakonodaje, ki urejajo točkovne vire onesnaženja.

Pogosta težava funkcionalnih mestnih območij je, da razpršenega onesnaženja ni možno sanirati z običajnimi remediacijskimi tehnikami, ki se uporabljajo na lokalnih onesnaženih območjih, večinoma iz dveh razlogov:

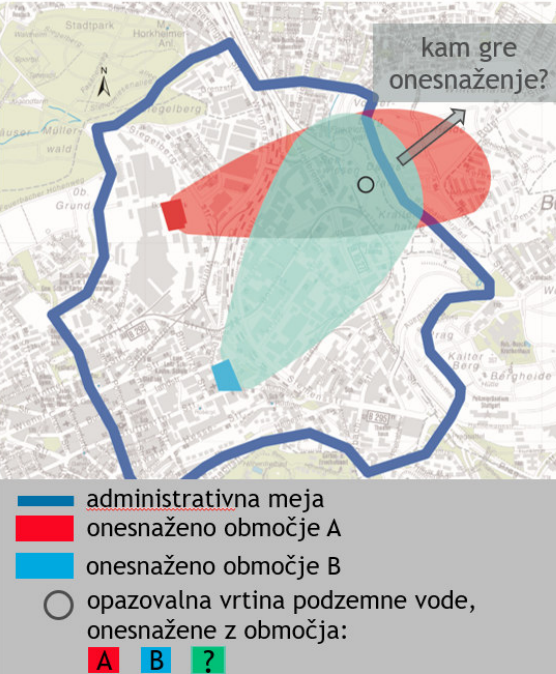
- a) težav pri prepoznavanju posamičnih točkovnih virov zaradi nizkih mas izpustov;
- b) obsežnosti onesnaženih območij.

Oba vidika zahtevata alternativne pristope, saj standardni remediacijski postopki za lokalne točkovne vire niso za razpršeno onesnaženje iz večtočkovnih virov niti učinkoviti, niti gospodarsko vzdržni.

Zgoraj opisane razmere so največkrat povezane z urbanim in zgodovinskim industrijskim razvojem območij, v katerih so točkovni ali večtočkovni viri onesnaženja pogosto zelo stari in so bili podvrženi velikim spremembam (to je spremembam v koncentraciji in masi izpustov, spremembam v razvoju dejavnosti, oziroma rabi zemljišč, izvedbi delnih sanacij, in podobno). Nenazadnje morajo pristojne javne inštitucije oceniti stopnjo onesnaženja iz večtočkovnih virov v funkcionalnem mestnem območju, da lahko določijo vzdržne ciljne vrednosti za lokalne sanacijske ukrepe (Slika 1).

STUTTGART

## ZAKAJ NAČRT UPRAVLJANJA?



- ⇒ večtočkovni viri | več kot eno onesnaženo območje
- ⇒ zapleteno stanje, jasen odgovor ni možen
- ⇒ pomanjkljivo konceptualno razumevanje sistema in stanja
- ⇒ prizadeta več kot ena administrativna enota
- ⇒ pomanjkanje zavesti / volje za ukrepanje
- ⇒ potrebno je združevanje interesov
- ⇒ financiranje je problematično

potreben je načrt delovanja  
(tehničnega in administrativnega)

Obvladovanje mešanega onesnaženja, ki na mestnem območju pogosto prihaja iz neznanega vira in potuje skozi zapleten sistem, je splošen izziv.

Slika 1. Značilni problemi onesnaženja podzemne vode v funkcionalnem mestnem območju (ref.: Sandra Vasin, Predstavitev na zaključni AMIIGA konferenci, Jaworzno, 24. 10. 2019)

## 1.4. Posebne naloge projekta AMIIGA

Projekt AMIIGA je nadgradnja predhodnega srednjeevropskega projekta FOKS (2008-2012). Glavni cilj projekta FOKS je bil sanacija ključnega vira onesnaženja na konkretnem onesnaženem zemljišču.



Posebni cilji projekta FOKS pa so bili:

- prikaz in uporaba inovativnih orodij za obvladovanje tveganja za podzemno vodo na onesnaženem zemljišču, npr., odlagališča industrijskih odpadkov ali opuščene industrijske naprave;
- razvrščanje omilitvenih ukrepov po prednostih za ključni vir onesnaženja podzemne vode in tal;
- izvedba pilotnih primerov in študij izvedljivosti za sanacijo vira onesnaženega zemljišča;
- prenos temeljnih usmeritev Direktive EU o podzemni vodi na lokalno raven, na posamezno onesnaženo območje.

Projekt FOKS je ponazoril uporabo inovativnega orodja za celostno upravljanje podzemne vode na degradiranem območju in se torej osredotočil na **lokalno raven**. Orodja, kot so: celostni pristop k preiskavi podzemne vode, pasivno vzorčenje, ugotavljanje »prstnih odtisov« posameznih virov onesnaženj, matematično modeliranje za povratno sledenje onesnaženja od prejemnika do izvora, pristop k ukrepanju na podlagi ocene tveganja in celostna obdelava podatkov, so bila predstavljena na različnih delavnicah za usposabljanje uporabnikov in tudi uspešno uporabljena na preizkusnih območjih projekta FOKS.

Za razliko od projekta FOKS se je projekt AMIIGA usmeril na večje merilo, to je na funkcionalno mestno območje (FMO), kjer onesnaženje podzemne vode presega pristojnosti lokalne skupnosti. Glavni cilj projekta AMIIGA je bil okrepitev usposobljenosti javnega sektorja za načrtovanje, upravljanje in odločanje v zadevah povezanih s podzemno vodo v funkcionalnih mestnih območjih. Orodja za podporo pri odločanju, ki so bila v projektu FOKS razvita za lokalna degradirana območja, so bila v projektu AMIIGA dodatno nadgrajena in prilagojena za obvladovanje onesnaženj na ravni funkcionalnih mestnih območij.

Posebne naloge projekta AMIIGA:

- 1) priskrbeti javnim upravam orodja in postopke za celovito in jasno opredelitev onesnaženja podzemne vode v funkcionalnem mestnem območju;
- 2) predstaviti javnim odločevalcem tudi inovativne biološke tehnologije za izboljšanje kakovosti podzemne vode v funkcionalnem mestnem območju;
- 3) uveljaviti »načrt upravljanja podzemne vode« kot strateško orodje za funkcionalna mestna območja.

## 2. Orodja AMIIGA

### 2.1. Zasnova orodij AMIIGA

Ta dokument predstavlja praktična navodila s pregledom orodij razvitih v projektu AMIIGA ter sinergijo z orodji iz projekta FOKS. S tem namenom je na sliki (*Slika 2*) predstavljena odločitvena shema razdeljena na funkcionalno mestno območje in na lokalno območje. S sledenjem shemi in z odgovori na vprašanja lahko uporabnik preveri razpoložljive podatke ter izbere orodja, s katerimi se poznavanje onesnaženja postopno nadgrajuje toliko, kot je potrebno za sprejetje učinkovitega načrta upravljanja.

Tako na ravni funkcionalnega mestnega območja kot na ravni lokalnega onesnaženja je prvi korak zbiranje vseh potrebnih informacij za zanesljivo oceno stanja onesnaženosti ter s tem povezanega tveganja. To so informacije o značilnosti mreže za monitoring, koncentraciji onesnaževal, gladini podzemne vode, značilnosti vodonosnikov, zgodovinskih podatkov o onesnaženih območjih nekdanje proizvodnje, itn.

V projektu FOKS je bilo že prikazano matematično **gnostično** orodje kot učinkovit način za izboljšanje analize podatkov na ravni onesnaženega območja. V projektu AMIIGA, na ravni celotnega funkcionalnega mestnega območja, se podatki praviloma zbirajo iz različnih monitoringov, od zasebnih, občinskih, regionalnih in državnih. Zbrani podatki večletnih meritev iz različnih vrst monitoringov imajo ključno vlogo pri prepoznavanju obsega in dinamike razvoja oblakov onesnaženja in naposled pri prepoznavanju

posameznih virov onesnaževanja. Zaradi tega so bile gnostičnemu orodju FOKS dodane običajne statistike, ki nam omogoča zaznavanje odstopanj, napak in manjkajočih vrednosti v raznolikih bazah podatkov. Na podlagi tega lahko strukturiramo skupno enotno zbirko podatkov ter tako ločimo merilna mesta, ki nam kažejo točkovne in več-točkovne vire onesnaženj (glejte poročilo D.T1.1.2).

Za **izboljšanje konceptualnega modela** onesnaženja podzemne vode je projekt AMIIGA razvil **biološko molekularno orodje (BMT)** za oceno sposobnosti naravno prisotnih mikrobioloških združb za razgradnjo določenih onesnaževal na samem mestu onesnaženja. To orodje zagotavlja tudi nadzor učinkov določenih sanacijskih metod pospešene razgradnje in njihovih učinkov na naravno prisotne mikroorganizme v različnih fazah sanacije (glejte poročilo D.T1.3.4).

Za odkrivanje povezav med dol vodnimi onesnaženji in izvornimi mesti je projekt AMIIGA vpeljal dve novi orodji:

**Analiza specifičnega razmerja izotopov v spojini (CSIA)** za razlikovanje različnih izvornih mest onesnaženja, ki nam lahko zelo koristi tudi pri prepoznavanju ali gre za onesnaženje na lokalni ali širši ravni, oziroma razkrije procese razgradnje onesnaževala na poti od izvornega do opazovanega mesta, kar je zelo pomembno za pristop k sanaciji (glejte poročilo D.T1.2.4).

**Obrnjeni matematični model** prenosa onesnaževal za določitev meje oblaka onesnaženja, za ločevanje med točkovnimi in več-točkovnimi onesnaženji ter za omejitvev območja z več-točkovnimi viri, ki povzročajo razpršeno onesnaženje (glejte poročilo D.T1.1.3).

Druga, a ne manj pomembna AMIIGA orodja za pomoč pri odločanju za izbiro ukrepov v načrtu upravljanja so **multivariatna analiza, geostatistična analiza** ter **WebGIS** (za več informacij o načrtu upravljanja glejte D.T3.3.7).

Multivariatna in geostatistična analiza omogočata določanje funkcionalnih mestnih območij, ki jih ogrožajo več-točkovni viri onesnaženja. S tema analizama lahko v prvi vrsti ocenimo vrednosti koncentracije onesnaževal v naravnem ozadju ali umetno povzročenem ozadju zaradi razpršenih onesnaženj (glejte poročilo D.T1.1.2).

WebGIS predstavlja inovativni pristop za izmenjavo podatkov in informacij med upravljaljskimi ustanovami in tehničnimi svetovalnimi podjetji, s čimer se izboljšujejo: notranja in zunanja komunikacija med različnimi strokovnjaki, razumevanje strokovnih podlag za odločitve o omilitvenih ukrepih, napredne večplastne analize podatkov in vsem razumljiva interpretacija konceptualnega modela z grafičnimi prikazi (glejte D.T1.1.1).

## 2.2. Odločanje za izbor orodij AMIIGA

V tem dokumentu predstavljamo analizo prednosti, priložnosti ter slabosti in nevarnosti pri uporabi orodja AMIIGA (analiza SWOT). Ta analiza je narejena za pomoč uporabnikom pri uporabi teh orodij, da lahko lažje ovrednotijo, kakšna bi bila dodana vrednost: a) naprednejše obdelave podatkov, b) podrobnejšega določanja obsega onesnaženja podzemne vode, c) natančnejšega pojasnjevanja povezanosti nastalega onesnaženja in njegovega izvora, d) nadaljnjega izboljševanja konceptualnega modela, e) natančnejše ocene koncentracij onesnaževal v naravnem in antropogenem ozadju, f) boljšega poznavanja procesov naravne razgradnje onesnaževala v podzemni vodi ter g) zahtevnejšega načrtovanja in izbire sanacijskih ukrepov ter aktivnosti.

Splošna vprašanja pri izbiri orodij AMIIGA:

- ❖ Ali je na funkcionalnem mestnem območju na voljo zelo velik fond podatkov?

**Raziskovalna analiza podatkov** lahko izboljša uporabnost velikega fonda podatkov, zajema pa čiščenje podatkovnega niza ter ločitev opazovalnih vrtin na tiste, ki so reprezentativne za točkovna onesnaženja in tiste, ki so reprezentativne za več-točkovna onesnaženja.



- ❖ Ali je potrebno naprednejše poznavanje procesov v podzemni vodi?

*Bio-molekularna analiza (BMT)* lahko izboljša konceptualno razumevanje procesov v podzemni vodi, s čemer izboljšamo konceptualni model vodonosnika in obravnavo razvoja onesnaženja v njem.

- ❖ Ali določeni viri onesnaženja še vedno niso znani?

*Analiza specifičnega razmerja izotopov v spojini (CSIA) in obrnjeni transportni numerični model* lahko pojasnita povezavo med izvornim mestom onesnaževala in zaznanim onesnaženjem ter izboljšata konceptualni model premikanja onesnaževala.

- ❖ Ali je potrebna boljša podpora odločevalnim postopkom?

*Multivariatna, geostatistična analiza in WebGIS* lahko olajšajo proces odločanja za izbiro ukrepov in pripravo načrta upravljanja.







### 3. Katalog naprednih orodij »AMIIGA«

V tem poglavju smo odgovorili na vodilna vprašanja iz analize prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti (SWOT) uporabe posameznega orodja AMIIGA. Na pilotnih območjih projekta AMIIGA pa so opisani tudi primeri uporabe, kot pomoč bralcu, da razume uporabnost orodja v različnih okvirih.

Vodilna vprašanja za analizo prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti pri uporabi posameznega orodja AMIIGA:

<b>PREDNOSTI</b>	<p>Katere so prednosti tega orodja ali orodja v kombinaciji z drugimi za doseganje izbranih ciljev?</p> <p>Katere vrste podatkov nudi orodje za posamezni cilj?</p> <p>Za katere vrste ciljev deluje boljše? Zakaj?</p> <p>Druge prednosti?</p>
<b>SLABOSTI</b>	<p>Katere so slabosti tega orodja?</p> <p>Katere so slabosti tega orodja v povezavi z izbranimi cilji?</p> <p>Kateri vidiki niso zajeti?</p> <p>Za katere vrste ciljev je to orodje manj primerno? Zakaj?</p> <p>Druge slabosti tega orodja?</p>
<b>PRILOŽNOSTI</b>	<p>Katere so dodatne prednosti za uporabnika pri uporabi tega orodja?</p> <p>Ali obstaja potencial za izboljšanje učinkovitosti tega orodja?</p>
<b>NEVARNOSTI</b>	<p>Katere so nevarnosti pri razvoju tega orodja v dobro in praktično orodje za izbrani cilj?</p> <p>Ali lahko pride do težav z učinkovitostjo tega orodja?</p> <p>Ali lahko pride do težav s sprejemljivostjo tega orodja?</p>

### 3.1. Raziskovalna analiza podatkov

RAZISKOVALNA ANALIZA PODATKOV (Poročilo D.T1.1.2)		
<p><b>Opis:</b> »Raziskovalna analiza podatkov« vključuje metode statistične analize za obdelavo obsežnih (časovnih in prostorskih) in več-parametrskih podatkovnih nizov opazovanj podzemne vode (npr., koncentracij, gladin, itn.) na ravni FMO. Obdelava podatkovnih nizov zajema čiščenje podatkov, obravnavo manjkajočih vrednosti, opisno analizo in razvrščanje parametrov v značilne skupine, oziroma vse dejavnosti, potrebne za zaznavanje odstopanj v podatkih, napak in manjkajočih vrednosti za prepoznavanje »kritičnih območij« (hot spot) onesnaženj ter ločevanje točkovnih virov (TV) od razpršenih onesnaženj.</p> <p><b>Uporabnost:</b> za zelo velike podatkovne nize na ravni FMO (npr., koncentracije različnih onesnaževal ali gladin podzemne vode na veliko mestih in daljših časovnih obdobjih) zbrane iz več različnih monitoringov (zasebnih, občinskih, regionalnih, državnih).</p> <p><b>Kombinacija z drugimi orodji:</b> že eno-parametrška analiza razvrščanja opazovanih vrtin (clusterska analiza) lahko razlikuje vrtine, ki kažejo točkovne vire (TV) ali razpršene vire (RV) onesnaženj, deterministični in obrnjeni transportni numerični model pa dajeta informacije o porazdelitvi oblaka onesnaževala na obravnavanem območju. S kombinacijo obeh metod lahko tako izboljšamo razumevanje konceptualnega modela transporta onesnaževal in s tem prostorske razporeditve onesnaženja. Na ta način lahko pomagamo v postopku odločanja za upravljanje podzemne vode, kar zadeva, na primer, izbiro merilnih mest za monitoring, oziroma oblikovanje opazovalne mreže.</p>		
<b>CILJI</b>	Analiza podatkov podzemne vode: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri	X
	Vključitev konceptualnega modela	
	Razmerja med izvornimi mesti in oblaki onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje s podzemno vodo	X
<b>PREDNOSTI</b>	<p>Raziskovanje podatkov deluje na ravni FMO; analizirajo se veliki in zapleteni podatkovni nizi ter podatki, zbrani v več letih.</p> <p>Metode raziskovanja podatkov odkrijejo odstopanja, napake v velikih podatkovnih nizih ter manjkajoče vrednosti.</p> <p>Grupiranje monoparametrov razporedi opazovanja v posamezne skupine (grupe), ki se medsebojno razlikujejo.</p> <p>Prepozna kritična območja in omogoča razlikovanje med opazovalnimi vrtinami, ki so onesnažene s točkovnimi viri (TV), od tistih, ki so onesnažene z razpršenim onesnaženjem, povezanim z različnimi točkovnimi viri (VTV).</p>	
<b>SLABOSTI</b>	<p>Zapleteno zbiranje podatkov in priprava podatkovnih nizov sta potrebna pred uporabo statističnih metod. Ta faza zahteva velike napore zaradi pomanjkanja homogenosti pri zbiranju podatkov iz različnih ustanov in potrebo po vključitvi ustanov za ustrezno posredovanje informacij.</p> <p>Različni postopki za čiščenje podatkov (zaznavanje napak, pregledi doslednosti in ravnanje z manjkajočimi vrednostmi) lahko povzročijo različne rezultate, zato moramo biti v postopku čiščenja zelo pozorni.</p> <p>Čiščenje podatkov mora biti čim manjše.</p> <p>Manjkajoče vrednosti (na primer: kadar v posameznem viru ni na voljo vrednost koncentracije za enega izmed upoštevanih parametrov) lahko močno vplivajo na rezultate določenih tehnik. Če so manjkajoče vrednosti več kot 30-odstotne, je to običajno težava, zaradi katere je treba sprejeti odločitev glede ravnanja z manjkajočo vrednostjo.</p>	



<b>PRILOŽNOSTI</b>	Orodje izpostavlja pomanjkljivosti omrežja monitoringa podzemne vode in lahko prepozna nova potencialna območja virov onesnaževal. To orodje lahko vključijo javni organi za izbiro omrežja monitoringa in analitičnega kompleta za izboljšanje robustnosti rezultatov ter optimizacijo učinkovitosti ukrepov.
<b>NEVARNOSTI</b>	Rezultati morajo biti skladni s konceptualnim modelom (hidrogeološka zgradba, pretok podzemne vode, posledice onesnaženja in transport). Nevarnost je ta, da se statistične metode uporabljajo brez upoštevanja značilnosti opazovalnih vrtin.

**PRIMER UPORABE V PROJEKTU AMIIGA**

Milansko pilotno območje (IT)

Raziskovalna analiza podatkov je bila uporabljena v FMO v Milanu, kjer sta bila upoštevana dva glavna vodonosnika (plitvi in globoki vodonosnik). Podatkovni niz je bil sestavljen iz omrežja monitoringa s približno 2.000 točkami z razpoložljivimi hidrokemijskimi podatki.

Grupiranje, uporabljeno za več kot 45.000 zapisov o vrednostih koncentracije PCE v podzemni vodi je omogočilo zaznavanje odstopanj ter ločevanje opazovalnih vrtin, ki so onesnažene s točkovnimi viri (TV) od tistih, ki so onesnažene z večtočkovnimi viri (VTV). Numerični transportni model je bil postavljen na podlagi prepoznanih kritičnih območij (TV) in večtočkovnih virov (VTV) v opazovalnih vrtinah.

Poleg tega so rezultati podprli proces odločanja za upravljanje s podzemno vodo, zlasti za poudarjanje pomanjkljivosti omrežja monitoringa in določitev lokacij, na katerih je smiselno postaviti nove opazovalne vrtine.

### 3.2. BMT - biološko molekularno orodje

#### BMT - biološko molekularno orodje (Poročilo D.T1.3.4)

**Opis:** BMT je biološko molekularno orodje, uporabljeno za karakterizacijo združb avtohtonih bakterij z naprednimi genetskimi metodami (PCR v dejanskem času in sekvenciranje naslednje generacije). Posebne bakterijske seve ali encime je bilo mogoče analizirati z uporabo PCR v dejanskem času, zapletene združbe bakterij pa je bilo mogoče opisati z uporabo NGS. Tipična naloga za BMT bi bila potrditev prisotnosti in kvantitativna opredelitev bakterijskih vrst ali skupin, ki so zmožne presnoviti specifična onesnaževala, prisotna v prsti ali podzemni vodi. Poleg tega je prek BMT mogoče prepoznati izrecne poti biodegradacije in jih povezati z biodegradacijskimi ali s stranskimi produkti. Kadar je biodegradacija izbrana kot ključna sanacijska metoda na kraju samem, je treba karakterizirati zmožnost prvobitnih kolonij bakterij za presnovo onesnaževal, posebnih bakterijskih sevov ali encimov z uporabo BMT.

**Uporabnost:** BMT se uporablja za diagnostiko trajajočih procesov biodegradacije v podzemni vodi in prsti v onesnaženem okolju. Na podlagi prisotnosti in količine posebnih bioloških označevalcev se lahko natančneje odločimo o natančni obdelavi oblakov onesnaževal. Na primer: če je število bakterij, ki so zmožne izvajati biodegradacijo, prenizko, ga lahko preprosto povečamo z dodajanjem primernega substrata; mogoče pa je v viru nastale kolonije za biodegradacijo prenesti v vire z nizko zmožnostjo biodegradacije. Prav tako je mogoče analizirati mikrobiološke kolonije, nastale na nosilcih biomase, potopljene v onesnaženi vodonosnik.

**Kombinacija z drugimi orodji:** analiza BMT, skupaj s kemično analizo, CSIA, fizikalnimi parametri in z geološkimi podatki, je močno orodje za vrednotenje zmožnosti naravnega razkroja in/ali izboljšanih biološkosanacijskih dejavnosti v onesnaženih območjih.

<b>CILJI</b>	Analiza podatkov podzemne vode: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri	
	Vključitev konceptualnega modela	X
	Razmerja med izvornimi mesti in oblaki onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje s podzemno vodo	X
<b>PREDNOSTI</b>	<p>BMT vključuje zelo natančno analizo širokega spektra bakterijskih vrst ali encimov v zapletenih okoljskih vzorcih. V kombinaciji z drugimi orodji (CSIA, kemična analiza) zagotavlja učinkovito metodo za opis lokalne onesnaženosti in ocenitev biološke dejavnosti.</p> <p>BMT omogoča relativne vrednosti na podlagi specifične količine bakterij za karakterizacijo podzemne vode. Tako je mogoče predvideti zmožnost presnove mikroflore v vzorcu in - kar je najpomembneje - zmožnost za razkroj onesnaževal na anaerobni/aerobni način. Mogoče je tudi predvideti, ali ima podtalno okolje primerne pogoje za biodegradacijo (na primer: prisotnost bakterij za zmanjšanje sulfatov ali denitrifikacijo).</p> <p>Analiza qPCR je ciljna, hitra in cenovno ugodna, medtem ko orodje NGS omogoča bolj zapleteno sliko mikrobne skupnosti na kraju samem. Kombinacija obeh metod omogoča najboljšo oceno stanja na lokaciji.</p>	
<b>SLABOSTI</b>	<p>Glavna slabost BMT so težave pri pridobivanju genskega materiala (DNK). Nekateri vzorci lahko vsebujejo visoke koncentracije kemičnih spojin, ki preprečujejo izolacijo DNK. To lahko vpliva na izkoristek in kakovost izolirane DNK in s tem na rezultate BMT. Meriti je mogoče le relativno raven označevalcev (specifični geni) znotraj obdobja vzorčenja in oceniti, kako postopek sanacije vpliva na avtohtone bakterije. Za interpretacijo rezultatov je potrebno strokovno znanje o lokalnih pogojih (CSIA in kemične analize).</p>	



	<p>Označevalci qPCR še niso bili razviti za biodegradacijo morebitnih onesnaževal v okolju. Še vedno obstaja veliko neznanih specifičnih bakterij ali encimov, ki bi bili lahko pomembni v postopkih biodegradacije.</p> <p>Natančna obdelava podatkov NGS je odvisna od skrbnega dela bioinformatika, kar je lahko težava, saj na splošno primanjkuje dobrih bioinformatikov.</p>
<b>PRILOŽNOSTI</b>	<p>Rezultati BMT nam omogočajo boljše razumevanje mikrobioloških dejavnosti na onesnaženem mestu. Podatki BMT kažejo potencial za biodegradacijo na saniranem kraju, lahko pa tudi predvidijo uporabnost izbranega postopka in pravilno število kemičnih obdelav. Obstaja tudi potencial za razširitev spektra specifičnih označevalcev, saj se znanje o bakterijski presnovi hitro širi.</p> <p>Učinkovitost BMT lahko izboljšamo s kombinacijo z drugimi metodami (CSIA, kemična in fizikalna analiza, geološki podatki).</p>
<b>NEVARNOSTI</b>	<p>Največji nevarnosti sta nizka kakovost DNK iz vzorca in prenizka raven preizkušenih označevalcev. Obe zadevi močno vplivata na rezultate BMT in ju je treba skrbno interpretirati.</p>

### PRIMER UPORABE V PROJEKTU AMIIGA

#### Parmsko pilotno območje (IT)

Analiza BMT je bila uporabljena v FMO Parma, kjer je onesnaženje podzemne vode (BTEX, CE) povzročeno zaradi nepravilnega obratovanja bencinske postaje. Dve kampanji vzorčenja sta bili izvedeni decembra 2017 in maja 2018.

Med kampanjo vzorčenja so izmerili fizikalne parametre (npr. pH, oksidacijsko-redukcijski potencial in prevodnost).

Rezultati BMT so pokazali povečan trend skupne bakterijske biomase pri drugem vzorčenju (tisočkrat večje ravni). To lahko razložimo z višjim nivojem podzemne vode in s sezonskostjo. Zaznali smo bakterije za denitrifikacijo (gen nirK) in zmanjšanje sulfatov (gen dsrA), ki potrjujejo pogoje zmanjšanja. Nizke ravni BTEX degradatorjev za anaerobne poti (gen bssA) z rahlo višjimi ravnimi za aerobne poti degradacije (gen DEF/G) pri obeh vzorčenjih so potrdile potek degradacije BTEX. Prisotnost organohalidnih bakterij (geni bvcA, vcrA, *Dehalococcoides* sp., *Desulfitobacterium* sp., *Dehalobacter* sp.) ni bila opažena (ne na encimih in ne na ravni gena bakterij). Ker so bile koncentracije CE nizke, je bilo zaznano verjetno rahlo aktivno organohalidno dihanje, vendar nismo našli VC reduktaz. Dokazna redukcijska dehalogenacija na tem mestu ni bila zaznana, zato lahko predvidevamo, da je do nje prišlo prek aerobnih in kometaboličnih poti, ki jih nismo mogli odkriti z uporabo svojih primerjev.

Spodnje preglednice prikazujejo šest virov v dveh krogih vzorčenja (december 2017 - levo, maj 2018 - desno) in specifično zaznavanje degradacije. Skupna bakterijska biomasa (U16SRT), vinilklordni encimi (bvcA, vcrA), *Dehalococcoides* sp. (DHC-RT), *Desulfitobacterium* sp. (Dsb), *Dehalobacter* sp. (Dre), bakterije za zmanjšanje sulfatov (dsrA), denitrifikacijske bakterije (nirK), degradator HCH (linA) in BTEX (DEF/G, bssA).

Primer	PM3	PM5	PZ3	PZ4	PZ5	PZ8	Primer	PM3	PM5	PZ3	PZ4	PZ5	PZ8
U16SRT							U16SRT						
<u>bvcA</u>							<u>bvcA</u>						
<u>vcrA</u>							<u>vcrA</u>						
DHC-RT							DHC-RT						
<u>Dsb</u>							<u>Dsb</u>						
Dre							Dre						
dsrA2							dsrA2						
<u>nirK</u>							<u>nirK</u>						
<u>linA</u>							<u>linA</u>						
DEF/G							DEF/G						
<u>bssA</u>							<u>bssA</u>						

V obstoječem primeru je prednost BMT zelo dober pregled lokacije. Te analize so namenjene kot dodatni nadzor, ki je pomagal pri kemični analizi in CSIA, da smo razumeli biološki proces na kraju. Na podlagi analize BMT smo pripravili priporočilo za naslednji korak sanacije. Za kraj v Parmi smo predlagali uporabo substrata za izboljšanje mikrobne skupnosti.

### 3.3. CSIA - Analiza specifičnega razmerja izotopov v spojini

CSIA - Analiza specifičnega razmerja izotopov v spojini (Poročilo D.T1.2.4)		
<p><b>Opis:</b> CSIA lahko uspešno uporabimo za razlikovanje med viri onesnaževal in za izboljšanje znanja o povezavi med izvorni in oblaki onesnaževal. To predstavlja dragocen pristop pri prepoznavanju onesnaženega mesta, ki je odgovorno za onesnaženje na ciljnem območju (FMO ali raven onesnaženega območja). Posledično je mogoče na podlagi rezultatov CSIA izboljšati konceptualni model transporta onesnaževal in pomagati pri razlikovanju med različnimi viri onesnaževanja, torej ločiti točkovne vire (TV) od večtočkovnih virov (VTV). Poleg tega CSIA omogoča ugotavljanje, ali se pojavljajo naravni procesi razkroja onesnaževal, kar je zelo pomembno za namene sanacije.</p> <p><b>Uporabnost:</b> Danes lahko s pomočjo CSIA izmerimo stopnjo stabilnih izotopov ogljika, klora in vodika veliko organskih onesnaževal. Potrebne so minimalne vrednosti koncentracije onesnaževal približno 5/100 µg/l, kar pa je odvisno od laboratorijskih pripomočkov, izbranih izotopov in analiziranih spojin.</p> <p><b>Kombinacija z drugimi orodji:</b> CSIA je mogoče uporabiti z drugimi orodji, na primer z biološkimi molekularnimi orodji (BMT), zlasti za uporabo pri nadzorovanem naravnem razkroju (MNA) ter za zasnovano in nadzor izboljšanih strategij za biološko sanacijo. Tako podpira proces odločanja glede upravljanja podzemne vode, ki na primer zadeva izbiro sanacijskih ukrepov, ki bodo prevzeti na FMO ali na ravni onesnaženega območja.</p>		
<b>CILJI</b>	Analiza podatkov podzemne vode: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri	
	Vključitev konceptualnega modela	
	Razmerja med izvornimi mesti in oblaki onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	X
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje s podzemno vodo	X
<b>PREDNOSTI</b>	<p>Spremembe v razmerju med stabilnimi izotopi (frakcioniranje izotopov) lahko jasno prikažejo prisotnost degradacije onesnaževal v podzemni vodi in nudijo informacije za količinsko opredelitev biodegradacije.</p> <p>Uporaba izotopskih orodij omogoča boljše razumevanje vedenja onesnaževal v podzemni vodi in pomembnost fizikalne (torej redčenje ali abiotični proces) in biološke transformacije.</p> <p>CSIA količinsko opredeli sestavo izotopov specifičnega onesnaževala in s tem nudi dodatna in pogosto edinstvena sredstva za razporeditev in razlikovanje virov organskih spojin. Poleg tega CSIA pomaga pri prepoznavanju transformacijskih reakcij in količinski opredelitvi mase degradiranih onesnaževal, kar omogoča napovedovanje prihodnjega razvoja onesnaženja.</p>	
<b>SLABOSTI</b>	<p>Postopek vzorčenja CSIA in ohranitev morata slediti najboljši praksi, da lahko preprečita biodegradacijo ali abiotično transformacijo onesnaževal. V nasprotnem primeru so lahko rezultati ogroženi.</p> <p>Potrebne so minimalne vrednosti koncentracije onesnaževal približno 5/100 µg/l, kar pa je odvisno od laboratorijskih pripomočkov, izbranih izotopov in analiziranih spojin.</p> <p>Analitična negotovost CSIA lahko predstavlja težavo, saj obstaja znatna variabilnost glede na notranje protokole in analitične metode, uporabljene v laboratorijih. Uporabnik je odgovoren za ugotavljanje, ali je negotovost pri posamezni uporabi sprejemljiva ali ne. Da bo to orodje učinkovitejše in rezultati med posameznimi laboratoriji primerljivejši, je treba razviti evropske analitične protokole.</p>	



	<p>Pri uporabi CSIA za vrednotenje biodegradacije obstaja nekaj omejitev, kot so negotovosti, povezane s prisotnostjo različnih virov, zapletena onesnažena območja, vendar tudi manjši učinki, kot je sorpcija/desorpcija.</p> <p>Pomembna omejitev je tudi pravilna meritev izotopskega razmerja v viru onesnaženja, saj so viri običajno že odstranjeni ali še niso prepoznani.</p>
<b>PRILOŽNOSTI</b>	<p>Z rutinsko uporabo CSIA za karakterizacijo onesnaženih območij in območij FMO bo na voljo več podatkov, kar bo omogočilo ustreznejše ocenjevanje naravnih procesov razkroja in/ali napredka sanacijskih ukrepov. Poleg tega bi bilo mogoče potrditi ali izboljšati konceptualni model onesnaženja, ki bo okreplil napovedi o časovnem razvoju onesnaženja.</p>
<b>NEVARNOSTI</b>	<p>Najboljša praksa je očiščenje vira pred vzorčenjem. Če vir ni očiščen pred vzorčenjem, črpna podzemna voda ne bo reprezentativna, zaradi česar bodo analitični rezultati napačno interpretirani.</p> <p>Priporočamo, da se zmanjša izguba hlapnih onesnaževal, tako da se omeji izpostavljenost vzorca podzemne vode kisiku v zraku. Kot je splošno znano, lahko kisik hitro pripelje do aerobne degradacije v raztopljenih organskih spojinah. Prav tako priporočamo stabilizacijo vzorca z dodajanjem baktericida, da se prepreči kakršna koli degradacija med konzerviranjem vzorca.</p> <p>Pri strategijah vzorčenja je obvezno potrebno obsežno in primerno razumevanje hidrogeološkega konceptualnega modela in omrežja monitoringa. To je večinoma potrebno zaradi pravilne izbire točk za jemanje vzorcev in pravilnega poznavanja globine, na kateri se zbira podzemna voda. Pogosto lahko uporaba opazovalnih vrtin z različnimi dolžinami filtrskega odseka ali različno globino povzroči slabo interpretacijo podatkov in mešanje podatkov iz različnih geoloških enot.</p>

#### **PRIMER UPORABE V PROJEKTU AMIIGA**

##### Milansko pilotno območje (IT)

CSIA so bili uporabljeni v milanskem pilotnem območju (IT) z namenom boljšega razlikovanja meja oblakov onesnaževal v povezavi z razpršenim onesnaženjem. Različne stabilne spojine izotopov za PCE (za ogljik [<sup>13</sup>C] in klor in/ali [<sup>37</sup>Cl]) so bile večinoma uporabljene za razlikovanje, ali je bil onesnaženi del specifični oblak onesnaževal ali pa je predstavljal razpršeno onesnaženje v ozadju. Podatki CSIA so bili uporabljeni za izdelavo natančnejših konceptualnih modelov glede na več območij znotraj pilotnega območja kot pomoč pri določanju lokacije, kjer je bilo mogoče, izvornih območij ali morebitne odgovornosti za onesnaženja.

Sekundarni cilj je bila ocena procesov biodegradacije in splošnega naravnega razkroja ciljnih onesnaževal, na primer PCE. Izotopski sestavi TCE in cis-DCE sta bili uporabljene za pridobitev vpogleda v poti degradacije in obseg PCE ter za razumevanje, kadar je bil TCE produkt degradacije ali primarno onesnaževalo na izbranih mestih.



### 3.4. Obrnjeni transportni model

#### OBRNJENI TRANSPORTNI MODEL (Poročilo D.T1.1.3)

**Opis:** Obrnjeni transportni model je mogoče uporabiti za vrednotenje vpliva negotovosti parametrov vodonosnikov na simulacijo transporta. Z upoštevanjem različne morebitne porazdelitve teh parametrov (npr. hidravlična prevodnost, poroznost itn.) je mogoče odkriti najverjetnejše poti, ki jim sledijo onesnaževalci. Tehniko je mogoče uporabiti z začetkom simulacije pri viru (če je znan) in slediti najverjetnejši smeri toka (imenovano sledenje naprej) ali pa z obrnjeno simulacijo nazaj od opazovalne vrtine vzdolž smeri toka (torej sledenje nazaj), da se odkrijejo najverjetnejši viri (če so neznani). Obrnjeno modeliranje transporta omogoča izboljšanje znanja o razmerjih med viri oblakov onesnaženja in nadgradnjo transportnega konceptualnega modela z ocenitvijo negotovosti. Gre za zmožljivo orodje, ki lahko pomaga odločevalcem pri nadziranju, preiskovanju in pri upravljalnih dejavnostih, povezanih z onesnaženjem podzemne vode.

**Uporabnost:** Pristop obrnjenega modeliranja, razvitega v AMIIGA, je treba uporabiti na ravneh srednje velikosti (FMO), kjer je lahko veliko virov odgovornih za odkrito onesnaženje v podzemni vodi. Tehnika obrnjenega modeliranja se lahko uporabi za lokalizacijo TV in VTV. Pri projektu AMIIGA se uporablja za nadgradnjo odkrivanja najverjetnejšega območja virov onesnaženja glede na opazovalne vrtine (za TV in VTV) ali za razmejitev advektivnega transporta onesnaževal dolvodno od nekaterih morebitnih virov (za TV). Pri AMIIGA so bila uporabljena numerična programska orodja MODFLOW za model pretoka, MODPATH za praktično sledenje in PEST za ustvarjanje polja K ter obrnjeno modeliranje, MT3DMS za advektivno-disperzijsko modeliranje. Metodologijo pa je vsekakor mogoče uporabiti s katerikoli drugo numerično metodo za simulacijo pretoka podzemne vode in modeliranje transporta. Za uporabo orodja je potreben klasični (torej deterministični) model umerjenega pretoka.

**Kombinacija z drugimi orodji:** Če se uporablja v kombinaciji s statističnimi orodji, izboljša zmožnost lokalizacije virov onesnaženja. Poleg tega v kombinaciji s polnim transportnim modelom (advekcija + disperzija) izboljša zmožnost za ocenjevanje morebitnih virov in raztezanje oblakov onesnaženja v verjetnostnem okviru, kar pomeni, da je mogoče oceniti verjetnost, da je oblak onesnaženja razširjen v določenem obsegu.

<b>CILJI</b>	Analiza podatkov podzemne vode: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri	
	Vključitev konceptualnega modela	
	Razmerja med izvornimi mesti in oblaki onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	X
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje s podzemno vodo	X
<b>PREDNOSTI</b>	<p>Prisotnost večtočkovnih virov (VTV), ki določajo razpršeno onesnaženje podzemne vode v območjih FMO, je treba obravnavati prek nekonvencionalnega upravljanja in sanacijskih dejavnosti. VTV so po opredelitvi neznani viri in klasični transportni modeli ne morejo prikazati razpršenega onesnaženja, odkritega na teh virih. Nasprotno pa lahko obrnjeni transportni modeli simulirajo takšno vrsto onesnaženja. Zaradi tega so pomembno orodje za ocenjevanje in napovedovanje razvoja onesnaženja ter učinkovito načrtovanje upravljanja.</p> <p>Poleg tega je mogoče obrnjeni transportni model uporabiti tudi za iskanje najverjetnejšega TV, odgovornega za enojni oblak onesnaževal, kar omogoča določanje najverjetnejših sledilnih območij onesnaženja z vključitvijo povratnega sledenja delcem. Za uporabo katerih koli kemikalij, ki se pojavijo v podzemni vodi, ni omejitev.</p>	
<b>SLABOSTI</b>	Za celovito raziskovanje negotovosti, povezane s hidrogeološkimi lastnostmi, bi bilo koristno, če bi upoštevali visoko število parametrov za vsak obrnjeni model. Na žalost morajo biti parametri trenutno v vrednostih od 1 do 4, da se prepreči nestabilnost modela ali neumerjene rezultate modela. Pričakujemo,	



	<p>da se bodo zmogljivosti obrnjenega modeliranja v prihodnje povečale vzporedno z zmogljivostjo računalnika.</p> <p>Izhodni podatki so pogosto veliki (torej število delcev, ki prehajajo skozi celico, v različnih plasteh za posamezno simulacijo) in jih je zelo težko analizirati z okoljem GIS (torej z doma narejeno programsko opremo lahko prednostno analiziramo pogostost in prostorsko verjetnost).</p> <p>Trenutno ima le nekaj izvajalcev modeliranja potrebne izkušnje za vključevanje obrnjenih modelov.</p>
<b>PRILOŽNOSTI</b>	<p>Analiza za predvidevanje negotovosti bo pomagala javnim organom pri optimiziranju javnih gospodarskih virov z načrtovanjem prednostnih preiskav v tistih območjih, ki so lahko odgovorna za razpršeno onesnaženje. Poleg tega rezultati obrnjenega transportnega modeliranja poudarjajo območja, v katerih je treba omrežje monitoringa FMO izboljšati zaradi boljšega pregleda posledic razpršenega onesnaženja. Prav tako je mogoče izboljšati upravljanje črpanja za javno uporabo, če upoštevamo prisotnost grup VTV.</p>
<b>NEVARNOSTI</b>	<p>Rezultate je treba skrbno analizirati in morajo biti skladni s konceptualnim modelom (hidrogeološka zgradba, pretok podzemne vode, posledice onesnaženja in transport). Obstaja nevarnost, da so rezultati obrnjenega modela odvisni od umerjenega numeričnega/determinističnega modela, ki je podlaga za njegovo uporabo, torej za začetne pogoje za obrnjeno iteracijo.</p>

**PRIMER UPORABE V PROJEKTU AMIIGA - Milansko pilotno območje (IT)**

Obrnjeno transportno modeliranje je bilo uporabljeno v sektorju FMO Milana, da bi prepoznali območja z največjo verjetnostjo za potencialne VTV. Na podlagi umerjenega (determinističnega) modela je bilo treba ustvariti 400 različnih porazdelitev vrednosti hidravlične prevodnosti (torej polj K). Med temi porazdelitvami jih je bilo 11 izključenih, saj model ni mogel pravilno prikazati piezometrije in torej ni ustrezal ciljnemu umerjanju.

Preostalih 389 umerjenih modelov je pokazalo majhne razlike v vrednostih K, vsi pa so lahko pravilno prikazali piezometrijo, ki se je štela kot enakovredno verjetna (torej enako resnična). Vsak model je bil uporabljen za povratno sledenje delcem od opazovalnih vrtin, ki so bile v fazi raziskovalne podatkovne analize opredeljene kot onesnažene zaradi razpršenega onesnaženja. Med vrtinami, ki izkazujejo razpršeno onesnaženost, so bile za fazo povratnega sledenja izbrane le tiste, ki predstavljajo srednjo vrednost PCE, večjo od 10 µg/l (meja PCE pod italijanskim standardom za pitno vodo je 10 µg/l). Ker je analiza povratnega sledenja delcem občutljiva na začetne globine delcev, je dodelitev njihovih začetnih lokacij temeljila na dejanskem položaju filtrskega odseka. Pri vsaki vrtini je bil delec dodan na sredini filtrskega odseka v posamezni plasti. Nato je bilo v vseh modelih izvedeno povratno sledenje delcem na podlagi simulirane piezometrije. Transport istega delca je bil simuliran po različnih poteh, s čimer smo dobili 389 različnih rezultatov simulacije, kot posledice različnih piezometrij zaradi različnih polj K, ustvarjenih po zgoraj opisanem postopku. Z izračunom števila delcev, ki prečkajo vsak model v vseh 389 simulacijah, je bilo mogoče izdelati karte pogostosti pojavljanja delca v posameznih plasteh vodonosnikov: v modelnih celicah, v katerih je število prehodov delcev največje, je verjetnost prisotnosti virov razpršenega onesnaženja večje kot v drugih celicah (torej VTV). Ta rezultat se šteje za reprezentativnega za območja FMO z največjo verjetnostjo za prisotnost VTV, odgovornih za razpršeno onesnaženje, kar je opaženo v opazovalnih vrtinah, uporabljenih za posamezne delce.

Poleg tega je bilo obrnjeno transportno modeliranje uporabljeno za prepoznavanje območij z največjo verjetnostjo prisotnosti morebitnih TV. Postopek ustvarjanja polj K in enako verjetnih modelov je bil enak, kot je opisano zgoraj. Vendar so bili v tem primeru dodani delci le pri virih z visoko koncentracijo PCE, ki ne spadajo k točkam, vključenim v razpršeno onesnaženje (posledica uporabe raziskovalnih podatkovne analize), torej z upoštevanjem samo točk, za katere se sumi, da jih je prizadel oblak onesnaževal.

Nato je bila uporabljena koda MODPATH za ustvarjanje advektivnih poti toka za povratno sledenje za vsak model, ustvarjen z uporabo enake realizacije polja prevodnosti. Tako smo ustvarili karte s prikazom števila povratno sledenih delcev, ki so prečkali celico modela v vsakem posameznem umerjenem modelu. Rezultat se šteje za reprezentativnega za območja FMO z največjo verjetnostjo za vsebnost TV, odgovornih za onesnaženje. Rezultate smo primerjali z determinističnim transportnim modelom (torej z oblaki onesnaževal v FMO) in s hidrokemičnimi rezultati, pridobljenimi v kampanjah vzorčenja AMIIGA.

### 3.5. Multivariatna in geostatistična analiza

#### MULTIVARIATNA IN GEOSTATISTIČNA ANALIZA (Poročilo D.T1.1.2)

**Opis:** Multivariatna analiza (analiza glavnih komponent, analiza dejavnikov, grupiranje z več parametri, analiza regresije) in geostatistična analiza sta statistični metodi, ki se razlikujeta od metod pri raziskovalni podatkovni analizi in ki podpirata analizo podatkov in proces odločanja za upravljanje podzemne vode (torej podpora prednostni obravnavi, izbiri ukrepov) na srednji ravni (raven FMO) za izračun naravnega ozadja onesnaženosti antropogenega izvora (VTV) in za razlikovanje med območji z različnimi razsežnostmi razpršenega onesnaženja v istem FMO. Zlasti:

*Multivariatna analiza:* za vrednotenje podatkovnih nizov glavnih komponent (na primer glavnih onesnaževal) vzorcev razpršenega onesnaženja, ki je lahko prisotno v FMO

*Geostatistična analiza:* za vrednotenje prostorske porazdelitve razpršenega onesnaženja.

**Uporabnost:** Multivariatna analiza je sestavljena iz zbirke statističnih metod, ki jih lahko uporabimo, kadar je na posameznih opazovalnih vrtinah izvedenih več meritev. Multivariatno analizo je mogoče uporabiti za različne vrste merjenja parametrov (npr. koncentracijo onesnaževal, značilnosti vode itn.) z upoštevanjem prostorske spremenljivke za vsako posamezno opazovalno vrtino. Indikativno je mogoče analizo uporabiti, če sta na voljo dve različni opazovalni vrtini vsakih 100 ha v FMO. Metode multivariatne analize je mogoče uporabiti pri vseh pogojih območja, na primer pri zaznavanju izpustov onesnaženja, karakterizaciji območja, sanaciji, nadzoru in zaprtju. Geostatistične metode je mogoče uporabiti v povezavi z rezultati multivariatne analize, da lahko obravnavamo okoljske podatke, ki so pogosto pristranski, grupirani in prostorsko povezani.

**Kombinacija z drugimi orodji:** Rezultati multivariatne in geostatistične analize v povezavi z rezultati determinističnih in obrnjenih numeričnih transportnih modelov pripomorejo k lažjemu ločevanju med območji TV in VTV, s čimer dajejo informacije o obsegu razpršenega onesnaženja. Te informacije podpirajo proces odločanja za upravljanje podzemne vode za izračun vrednosti koncentracije v ozadju razpršenega onesnaženja.

<b>CILJI</b>	Analiza podatkov podzemne vode: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri	
	Vključitev konceptualnega modela	
	Razmerja med izvornimi mesti in oblaki onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje s podzemno vodo	X
<b>PREDNOSTI</b>	<p>Običajno se v onesnaženih območjih sočasno meri več spremenljivk na vsaki opazovalni vrtini in so lahko povezane. Treba je razplesti prekrivajoče se podatke, ki jih omogočajo povezane spremenljivke, da odkrijemo osnovno zgradbo. Tako je cilj veliko multivariatnih pristopov poenostavitev, ki poskuša izraziti, kaj se dogaja v smislu zmanjšanih dimenzij (na primer za uvrščanje onesnaževal z enakim vzorcem v skupine).</p> <p>Metode multivariatne analize raziskujejo razvoj parametrov in razmerja med različnimi parametri.</p> <p>Multivariatna analiza omogoča vrednotenje podatkovnih nizov glavnih komponent (na primer glavnih onesnaževal) vzorcev razpršenega onesnaženja, ki je lahko prisotno v FMO, in oceni ravni razpršenih onesnaževal v ozadju velikih območij.</p> <p>Prostorska interpolacija (geostatistična analiza) oceni vrednosti neznanih podatkov na določenih mestih z uporabo vrednosti znanih podatkov za druge točke.</p> <p>Geostatistična analiza vrednoti prostorske porazdelitve razpršenega onesnaženja.</p> <p>Rezultati multivariatne in geostatistične analize podpirajo proces odločanja za upravljanje podzemne vode na srednji ravni (raven FMO).</p>	



<b>SLABOSTI</b>	<p>Ko so podatki zbrani, tudi če je bil raziskovalni projekt pravilno organiziran in izveden, je treba končni podatkovni niz pred nadaljevanjem analize preveriti, potrditi in pripraviti. Na voljo je več korakov, ki so potrebni za pripravo podatkov za analizo: urejanje in kodiranje podatkov (na primer preverjanje napak in izpuščanja) ter čiščenje podatkov (glejte orodje za raziskovalno podatkovno analizo).</p> <p>Homogena prostorska in časovna porazdelitev podatkov olajša analizo. Povečanje gostote prostorskih in časovnih podatkov izboljša veljavnost rezultatov.</p>
<b>PRILOŽNOSTI</b>	<p>Rezultate multivariatne in geostatistične analize je mogoče uporabiti za spremljanje razvoja onesnaženja, če so vedno uporabljeni v istih omrežjih monitoringa.</p>
<b>NEVARNOSTI</b>	<p>Rezultati morajo biti skladni s konceptualnim modelom (hidrogeološki vidiki, pretok podzemne vode, posledice onesnaženja in transport). Nevarnost je ta, da se statistične metode uporabljajo brez upoštevanja značilnosti opazovalnih vrtin (na primer globina in dolžina filtrskega odseka).</p> <p>Trenutno je pri geostatistični analizi težko izbrati najboljšo metodo za prostorsko interpolacijo za širok obseg georeferenciranih podatkov. Zato je izbira ustrezne metode z ustreznimi parametri ključnega pomena za določeno vrsto uporabe. Različne metode lahko ustvarijo različne prostorske prikaze in potrebno je »poglobljeno« znanje o pojavu, da lahko ocenimo, kateri je najbližje dejanskemu stanju. Uporaba neustrezne metode ali neustreznih parametrov lahko povzroči popačen model prostorske porazdelitve, kar lahko privede do napačnih odločitev na podlagi zavajajočih prostorskih podatkov.</p>

#### **PRIMER UPORABE V PROJEKTU AMIIGA**

##### Milansko pilotno območje (IT)

Multivariatna in geostatistična analiza sta bili uporabljeni v FMO v Milanu, kjer sta dva glavna vodonosnika (plitvi in globoki vodonosnik). Podatkovni niz je bil sestavljen iz omrežja monitoringa s približno 2.000 točkami z razpoložljivimi hidrokemičnimi podatki.

Grupiranje z več parametri je bilo mogoče povezati s profili koncentracije različnih onesnaževal. Pet grup smo prepoznali kot reprezentativne za razpršeno onesnaženje PCE; predstavljali so veliko skupino izmerjenih vrednosti v ozadju. Podrobneje smo preučili značilnosti in glavne časovne trende PCE petih grup, ki so predstavljali razpršeno onesnaženje.

Poleg tega je geostatistična metoda analizirala prostorsko porazdelitev petih grup v raziskovanem območju, najbolj reprezentativna grupa za vsako območje pa je bila prepoznana prek rezultatov multivariatne analize. Zato je bilo poudarjeno, da edinstvena vrednost razpršenega onesnaženja po vsem raziskovanem območju ni bila reprezentativna za nehomogenost dejanske porazdelitve razpršenega onesnaženja, vendar je bilo treba več kot eno vrednost koncentracije v ozadju dodeliti v FMO.

Statistična in geostatistična analiza v kombinaciji z rezultati numeričnega in obrnjenega transportnega modela pripomoreta k razlikovanju med območji TV in VTV, s čimer dajejo najbolj reprezentativne vrednosti koncentracije razpršene onesnaženosti v FMO Milano.

Rezultati so podprli proces odločanja za upravljanje podzemne vode, za načrtovanje ukrepov in prepoznavanje novih morebitnih območij z viri onesnaževal, ki bodo nadzorovana.

### 3.6. WebGIS

WebGIS (Poročilo D.T1.1.1)		
<b>KRATEK OPIS ORODJA</b>		
<p><b>Opis:</b> WebGIS je orodje, ki ga je mogoče uporabiti za prikaz in obdelavo podatkov na spletu. Nudi sredstva za dostop in deljenje informacij na spletu. Izboljšuje tudi učinkovitost analize podatkov in interpretacijo konceptualnega modela, omogoča deljenje podatkov in informacij med ustanovami in tehničnimi pisarnami. Glavni cilj je prikaz podatkov na zemljevidu za omogočanje razprave o projektnih podatkih/rezultatih in za podporo ter olajšanje procesa odločanja za upravljanje podzemne vode.</p> <p><b>Uporabnost:</b> Raven FMO. Razpoložljivost in zmogljivost internetne povezave mora biti učinkovita.</p> <p><b>Kombinacija z drugimi orodji:</b> Rezultate raziskovalne podatkovne analize, kemične analize, nivoja podzemne vode, BMT, CSIA, obrnjenege in determinističnega transportnega modela, multivariatne in geostatistične analize je mogoče prikazati sočasno ali v različnih kombinacijah, da se izboljša razumevanje konceptualnega modela raziskovanega območja.</p>		
<b>CILJI</b>	Analiza podatkov podzemne vode: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri	
	Vključitev konceptualnega modela	
	Razmerja med izvornimi mesti in oblaki onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje s podzemno vodo	X
<b>PREDNOSTI</b>	<p>WebGIS je orodje z odprtim dostopom za posvetovanje o podatkih.</p> <p>Do WebGIS je mogoče dostopati od vsepovsod iz različnih platform, pooblastilo pa določa raven dostopa (z uporabniškim imenom in geslom). To pomeni, da je mogoče nadzorovati dovoljenja za določene uporabnike ali skupine, da se jim omogoči dostop do specifičnih dodatnih kompletov podatkov ali zemljevidov.</p> <p>To je način za objavljanje in deljenje večplastnih značilnosti na enem spletnem zemljevidu.</p> <p>S tem se izboljša učinkovitost analize podatkov in interpretacije konceptualnega modela.</p> <p>To je dober način za deljenje podatkov in informacij med ustanovami in tehničnimi pisarnami, za izboljšanje notranje in zunanje komunikacije in navzkrižno sodelovanje ter za podporo in lajšanje odločitev.</p> <p>Periodično je mogoče posodobiti informacije, posledično pa lahko vsi uporabniki WebGIS sočasno in kadar koli dostopajo do najnovejših informacij.</p> <p>S tem postanejo organizacije učinkovitejše, produktivnejše in odzivnejše na prostorske podatke.</p> <p>Vključiti je mogoče veliko funkcij, kot so: načrtovanje, povečava, tiskanje, možnost nalaganja podatkov in prekrivanje z obstoječimi kartami, iskanje podatkov po naslovu in obdelava podatkov.</p> <p>To omogoča vsem (ne samo strokovnjakom), da preprosto in z manj napora dostopajo do geoprostorskih podatkov in jih razumejo. Uporabniki, tudi če niso strokovnjaki v geoinformatiki, lahko uporabljajo orodja GIS z usmerjanjem na podatke v specifični domeni.</p> <p>Za upravljanje podatkov ni potreben zelo zmogljiv računalnik.</p> <p>Ker so vsi podatki v oblaku, jih ni treba shraniti v računalnik.</p>	



<b>SLABOSTI</b>	<p>Razpoložljivost in zmogljivost internetne povezave je že težava, vendar bo v prihodnje verjetno izboljšana.</p> <p>Potrebni so strokovnjaki, ki so posebej predani razvoju in vzdrževanju okoljskih podatkovnih nizov in delovanju WebGIS, za vključitev orodja in posodabljanje podatkov.</p>
<b>PRILOŽNOSTI</b>	<p>Zaradi potenciala interneta in orodja bi morale biti vedno omogočeno izvajanje tudi zapletenih analiz ter obdelava vektorskih in rastrskih podatkov na spletu v sodelovanju z drugimi uporabniki.</p>
<b>NEVARNOSTI</b>	<p>Deljenje podatkov ni preprost proces.</p> <p>Uporabniki GIS radi sami razvijajo lastne podatkovne nize. To, na primer, nakazuje, da mogoče ne poznajo drugih obstoječih podatkovnih nizov in napak, ki so jih popravili drugi uporabniki. Na splošno je dostop do celotnih in zanesljivih podatkovnih nizov zapleten.</p> <p>Vsak uporabnik GIS ni navajen deliti podatkovnih nizov z drugimi sektorji in organizacijami. Nekatere težave glede deljenja podatkov povzročijo običajni sumi glede kakovosti podatkov tretjih oseb s predpostavko, da se lahko podatki uporabijo »za napačne namene«, če jih delimo s tretjimi osebami, in da lahko izgubimo lastništvo nad podatki ali pa se bojimo, da lahko drugi uporabniki z deljenjem odkrijejo slabo kakovost svojih podatkov.</p> <p>Strokovnjaki, posebej predani razvoju in vzdrževanju okoljskih podatkovnih nizov, niso vedno na voljo v sestavu delovnih ekip; okoljski analitiki pogosto tudi delajo v fazi priprave podatkovnih nizov za posebna opravila, s katerimi se spopadajo. To lahko nakazuje, da podatkovni nizi niso pripravljeni za deljenje za splošno uporabo.</p>

#### **PRIMER UPORABE V PROJEKTU AMIIGA**

AMIIGA WebGIS je na voljo na naslednji povezavi <http://131.175.56.100/lm/>. Izvedenih je bilo sedem projektov WebGIS, eden za vsako pilotno območje, in le partnerji AMIIGA lahko dostopajo do projektov z uporabo lastnega uporabniškega imena in gesla. WebGIS je dostopen prek preprostega spletnega brskalnika na kateri koli napravi.

Vsa programska oprema je nameščena na strežniku in deluje prek namestitve Ubuntu 14.04; vse komponente v arhitekturi so brezplačna in odprtokodna programska oprema (FOSS). Arhitektura se začne z glavno komponento, ki je QGIS in brezplačna ter odprtokodna programska oprema za geoprostor (FOSS4G). QGIS omogoča izvedbo obdelave podatkov in shranjevanje vseh slojev v lokalno zbirko podatkov. Izbrana zbirka podatkov je PostgreSQL z razširitvijo PostGIS, ki je specifična za ravnanje z geoprostorskimi podatki. Dodatna komponenta arhitekture je strežnik QGIS, komponenta, ki je namenjena slojem v projektu QGIS in s tem zbirkam podatkov prek spleta z uporabo standarda OGC, kot je Web Map Service (WMS). Arhitektura za prikaz vseh plasti v spletnem brskalniku vključuje dinamično komponento Lizmap, ki ustvarja WebGIS na podlagi potreb uporabnikov.

Vsi partnerji so bili vključeni v dejavnosti zbiranja podatkov (značilnosti omrežja monitoringa, vrednosti koncentracije, značilnosti vodonosnikov itn.). Podatki, prikazani v AMIIGA WebGIS, so: pilotno območje in razširitev FMO; značilnosti omrežja monitoringa; vrh in dno vodonosnika; območje pomembnih sprememb v hidrogeološki zasnovi; rezultati preizkusa hidravlične prevodnosti; glavni piezometrični načrti in glavni piezometrični točkovni podatki; koncentracije onesnaževal; industrijska in proizvodna območja; karte razpršenega onesnaženja.

Za vsakega partnerja AMIIGA je WebGIS izboljšal učinkovitost analize podatkov in interpretacije konceptualnega modela, poenostavi podatke ter deljenje informacij med ustanovami in tehničnimi pisarnami z glavnim ciljem podpiranja in olajšanja procesa odločanja za upravljanje podzemne vode.

## 4. Povzetek

Orodja AMIIGA je mogoče povzeti skladno s cilji projekta. Naslednje preglednice prikazujejo pregled orodij, opisanih v predhodnem poglavju.

### Cilji projekta AMIIGA in uporabljenih orodij

Preglednica prikazuje cilje posameznega orodja skladno z opisom v predhodnem poglavju.

		CILJI			
		Analiza podatkov o podzemni vodi: čiščenje niza podatkov in ločitev opazovalnih vrtnin za	Vključitev konceptualnega modela	Povezava med zaznamimi onesnaženji in viri onesnaževal, konceptualni model poti onesnaženj	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje
ORODJA PROJEKTA AMIIGA	RAZISKOVALNA ANALIZA PODATKOV	X			X
	BMT		X		X
	CSIA			X	X
	OBRNJENI TRANSPORTNI MODEL			X	X
	MULTIVARIATNA IN GEOSTATISTIČNA ANALIZA				X
	WebGIS				X

### Orodja AMIIGA v pilotnih območjih

Preglednica prikazuje pregled orodij AMIIGA, prevzetih v projektu, in doseženih ciljev v pilotnih območjih.

Pilotno območje (PA)		PA1 (HR)	PA2 (SL)	PA3 (IT)	PA4 (IT)	PA5 (CZ)	PA6 (PL)	PA7 (DE)
Velikost delovnega območja [ha]		6.500	7.000	15.740	600	3,1	2.475	530
Velikost FMO [ha]		26.000	25.100	52.100	58.594	3.750	20.190	4.810
Vrsta onesnaževal		bakterije, nitrati	Cr-VI, NO <sub>3</sub> , B, desetilatrazin, nova prihajajoča onesnaževala	PCE, TCE	PCE	CHC	pesticidi, organska topila	CHC
CII II	Analiza podatkov GW: čiščenje niza podatkov in določitev opazovalnih vrtin onesnaženih s TV/VTV viri			X	X		X	X
	Vključitev konceptualnega modela	X		X			X	X
	Povezava med oblaki onesnaževal in izvori onesnaževal ter konceptualni model transporta onesnaževal	X	X	X	X		X	X
	Izbira ukrepov in sestavljanje načrta za upravljanje	X	X	X	X	X	X	X
ORODJA AMIIGA	RAZISKOVALNA ANALIZA PODATKOV		X	X				
	BMT		X		X	X	X	X
	CSIA		X	X	X	X	X	X
	OBRNJENI TRANSPORTNI MODEL	X		X				
	MULTIVARIATNA IN GEOSTATISTIČNA ANALIZA	X		X				
	WebGIS	X	X	X	X	X	X	X





## 5. Literatura

- 2011 - *Priročnik FOKS za celostno preiskovanje podzemne vode - Orodja za prepoznavanje ključnih virov onesnaženja podzemne vode*
- D.T1.1.1, *Razvoj orodja WebGIS za upravljanje z zbirko podatkov podzemne vode in odprto posvetovanje*
- D.T1.1.2, *Smernice za statistične metode in geostatistično analizo za raziskave kakovosti GW na FMO*
- D.T1.1.3, *Modeliranje onesnaženja GW na FMO: Smernica »obrnjeno iterativno modeliranje« za vključitev in uporabo*
- D.T1.1.4, *Tehnični protokol za statistično analizo s transportnim modeliranjem za ocenitev onesnaženja GW*
- D.T1.2.4, *Končna različica tehničnega protokola CSIA za ocenitev onesnaženosti GW in vrednotenje sanacije*
- D.T1.3.4, *Končna različica tehničnega protokola BMT za vključitev sanacije in vrednotenje učinkovitosti*
- D.T3.3.7, *Strategija upravljanja z onesnaženjem podzemne vode v funkcionalnih urbanih območjih Srednje Evrope*