
SMJERNICE ZA KONTROLU KVALITETE PODZEMNIH VODA

WP T1, Deliverable D.T1.4.3

Izrađeno
12.2018

Sadržaj

1. SVRHA DOKUMENTA.....	4
2. UVOD	4
2. AMIIGA ALATI ZA ANALIZU PODZEMNIH VODA	9
4. ZAKLJUČAK	25

POPIS SKRAĆENICA

BMT:	molekularno-biološki alati (eng: Biological Molecular Tool)
BTEX:	benzen, toluen, etilbenzen i ksilen (eng: benzene, toluene, ethylbenzene and xylene)
CE:	klorirani eten (eng: Chlorinated ethane)
CHC:	klorirani ugljikovodik (eng: Chlorinated Hydrocarbon)
cis-DCE:	cis-dikloretilene (eng: cis-Dichloroethylene)
CSIA:	analiza izotopa specifičnih za spoj (eng: Compound Specific Isotope Analysis)
DSS:	sustav potpore odlucivanju (eng: decision support system)
FUA:	funkcionalno urbano područje (eng: Functional Urban Area)
GIS:	geografski informacijski sustav (eng: Geographical Information System)
GW:	podzemna voda (eng: groundwater)
MPS:	više izvora zagađenja (eng: Multiple Point Sources)
NGS:	sekvenciranje slijedeće generacije (eng: next-generation sequencing)
NPS:	raspršeni izvori zagađivala (eng: Non-Point Sources)
PCE:	tetrakloreten, perkloretilen, tetrakloretilen (eng: Perchloroethylene)
PCR:	lančana reakcija polimerazom (eng: polymerase chain reaction)
PS:	pojedinačni izvori zagađivala (eng: Point Sources)
qPCR:	lančana reakcija polimeraze u realnom vremenu (eng: real-time polymerase chain reaction)
TCE:	trikloreten , trikloretilen (eng: Trichloroethene)
VC:	vinil klorid (eng: vinyl chloride)

1. Svrha dokumenta

Upravljanje raspršenim (difuznim) onečišćenjem podzemnih voda koje se promatraju na širokom području pokreću nadležna državna tijela. Pod nadležnim tijelima se podrazumijevaju korisnici vodoopskrbnih objekata koji služe za zahvaćanje podzemne vode za potrebe vodoopskrbe ili vlasti zadužene za zaštitu okoliša i upravljanje podzemnim vodama.

Ovaj je dokument namijenjen stručnjacima spomenutih grupa dionika i pruža alate za kvalitetno podupiranje njihovih zadataka:

- Otkrivanje stupnja onečišćenja podzemne vode,
- Definiranje porijekla te širenja oblaka zagađivala,
- Procjena razine onečišćenja antropogenom pozadinom
- Kvantifikacija procesa prirodne degradacije ili prirodnog razrijeđenja u tijelu podzemne vode, uzimajući u obzir i dodatne mjere sanacije za postizanje zadanih ciljeva kvalitete podzemne vode
- Dijeljenje podataka i informacija koje podržavaju proces donošenja odluka za provedbu Plana upravljanja.

Kvaliteta vode u vodoopskrbi je u Hrvatskoj definirana sa dva pravilnika: *Pravilnik o parametrima suglasnosti, metodama analize, monitoring i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe*, NN 125/2017 od 23.12.2017 i *Zakon o izmjenama i dopunama zakona o vodi za ljudsku potrošnju*, NN 104/2017 od 02.11.2017. Sve granične vrijednosti za mikrobiološke i kemijske parametre su definirane u tim dokumentima.

Alati predstavljeni u ovom dokumentu su inovativni i prikladni za postizanje dobre kakvoće podzemnih voda u slučaju pojave raspršenog izvora zagađivala. Njihova provedba zahtijeva stručnost osoblja koje ih primjenjuje. Tržište kvalificiranih pružatelja usluga za istraživanje, provedbu i procjenu postignutih rezultata vrlo je ograničeno. Stoga je važno da korisnik može detaljno odrediti mjere sanacije i procijeniti tehničku kvalitetu odgovarajućih ponuda.

Ovaj dokument naručiocima nudi pregled inovativnih tehnoloških postupaka za praćenje difuznog zagađenja koje se može kretati velikim područjima i omogućuje kvalificiranu procjenu prednosti i ograničenja predstavljenih alata. Dokument pruža osnovu za precizan opis usluga stručnjaka, kompetentni nadzor nad provedbom i procjenu kvalitete postignutih rezultata.

2. Uvod

Kontinuirani razvoj urbanih područja (uključujući izgrađena područja, prigradska naselja i industrijske četvrti) ima sve učestaliju prisutnost zagađenja podzemnih voda, pri čemu je teško utvrditi izvore kontaminacije.

AMIIGA-ina alati pogodni su za funkcionalna urbana područja (FUA prema OECD-a, 2012) koja se sastoje od gradske jezgre i predgrađa u kojem je intenzivni urbani razvoj i industrija te je pitanje zaštite okoliša integrirano s gradom. Prije nastavka važno je definirati različite vrste kontaminacije i njihovu razmjenu.

Oblici kontaminacije

Općenito, uzroci onečišćenja podzemne vode mogu se grubo razvrstati u tri različita skupine: a) Pojedinačni izvori (PS), koji predstavljaju pojedinačne onečišćivače koji na određenoj lokaciji koncentrirano ispuštaju visoke koncentracije zagađivala; b) Više izvora zagađenja (MPS), gdje opterećenje kontaminantima dolazi iz niza izvora koji ispuštaju malu masu zagađivala i stoga ih je teško identificirati. Oni su odgovorni za difuzno onečišćenje podzemnih voda koje se mogu definirati i kao antropogena pozadina razina kontaminacije; i) Raspršeni izvori (NPS), gdje opterećenje zagađivalima dolazi iz razvoja antropogenih aktivnosti na velikim površinama (na primjer pesticidi iz poljoprivredne prakse).

Veličina (intenzitet) zagađenja

Pojedinačni izvori se često nalaze unutar onečišćenog područja mjesta koje je najčešće ili industrijsko ili napušteno industrijsko područje (eng: brownfield). Pri tome zagađenje može uključivati samo industrijsko područje ili se može proširiti izvan njegovih granica, uključujući neki sektor FUA-e. Više izvora se često nalazi na relativno većem području (npr. industrijska zona), a povezano onečišćenje ima dimenziju koja se odnosi na čitav FUA. Konačno, raspršeni izvori se nalaze na vrlo velikim područjima a i s njima povezano kontaminacija mora se promatrati na prostoru koja je veće od područja ljestvice FUA.

Mreža za praćenje i mjere sanacije moraju biti planirane tako da se zajamče ciljevi kakvoće vode propisani EU Direktivom o podzemnim vodama iz 2006. Neuspjeh u planiranju i sanaciji ima znatan utjecaj na društvo zbog velikih troškova upravljanja prirodnim resursima i s time povezanih sukoba oko korištenja tla. Projekt AMIGA fokusiran je na prostoru FUA-a, jer onečišćenje podzemne vode većim brojem zagađivača zahtijeva intervenciju na srednjoj skali (FUA-skala) što je zanemareno u postojećem zakonodavstvu i nalazi se u prostoru između EU propisa koji se odnosi na izvore koji nisu koncentrirani na jednoj lokaciji i nacionalnog zakonodavstva u vezi s pojedinačnim izvorima. Često je problem u FUA-ima taj što se mnogim područjima u kojima je raspršen izvor kontaminacije ne može upravljati uobičajenim tehnikama sanacije koje se koriste za mala kontaminirana mjesta (pojedine zagađivače), uglavnom iz dva razloga: a) poteškoća u identificiranju pojedinih manjih izvora zbog male ispuštene mase zagađivala i b) veličine onečišćenih područja. Oba aspekta zahtijevaju alternativne pristupe, jer standardni postupci sanacije nisu učinkoviti i ekonomski održivi za difuzno zagađenje.

Navedeni uvjeti uglavnom su povezani s urbanim i prijašnjim industrijskim područjima, gdje su mogući izvori kontaminacije često vrlo stari i podvrgnuti mnogim promjenama (prenamjena korištenja promatranog područja, djelomična sanacija itd.). I posljednje, ali ne najmanje bitno, javna tijela trebaju procijeniti stupanj onečišćenja u područjima u kojima ima više zagađivača u pojedinom FUA-u kako bi uveli održiva ograničenja za lokalne akcije sanacije.

Projekt AMIGA se nadograđuje na prethodni projekt Srednje Europe FOKS (2008-2012). Opći cilj projekta FOKS bio je usredotočiti napore sanacije na degradiranim područjima na ključne izvore kontaminacije.

Specifični ciljevi FOKS projekta su bili:

- prikazivanje i primjena inovativnih alata za integralno upravljanje rizikom od podzemnih voda na degradiranim područjima kao što su onečišćene lokacije i nekadašnji zagađivači
- mjere smanjenja unosa onečišćenja u podzemne vode i u tlo
- provođenje pilot akcija i studija izvodljivosti za aktivnosti sanacije izvora
- prilagođavanje Europske direktive o podzemnim vodama na skalu kontaminiranih lokacija i smeđih polja (brownfield area).

FOKS projekt je ukazao i primjenio inovativne alate za integralno upravljanje rizikom od zagađenja podzemnih voda na degradiranim područjima i uglavnom se fokusirao na lokalnu razinu. Alati kao što su: integralni pristup podzemnim vodama, pasivno uzorkovanje, traženje izvora zagađenja, modeliranje i modeliranje unatrag, pristup temeljen na analizi rizika i robustan tretman podataka demonstrirani su u nizu radionica i uspješno primijenjeni na FOKS testnim mjestima.

AMIIGA projekt djeluje u opsegu većem od FOKS-a, a fokusiran je na FUA-e, jer je onečišćenje podzemnih voda pitanje koje nadilazi administrativne granice lokalne vlasti. Glavni cilj AMIIGA-e je jačanje kapaciteta za planiranje, upravljanje i odlučivanje javnog sektora vezano za upravljanje podzemnim vodama u FUA-ima. AMIIGA je dodatno razvila alate i sustav potpore odlučivanju koji je FOKS pripremio i implementirao za urbana područja kako bi ih učinili prikladnima za FUA.

Stoga su posebni zadaci AMIIGA projekta:

- 1) pružanje javnim upravama alate i postupke za sveobuhvatnu karakterizaciju onečišćenja podzemnih voda u FUA-ima
- 2) pružanje javnim donositeljima odluka inovativnim biološkim tehnologijama za poboljšanje kvalitete podzemnih voda u FUA-ima
- 3) izrada *Plana upravljanja podzemnim vodama* kao strateškog alata za regionalna tijela podzemnih voda.

Ovaj dokument je namijenjen kao praktični priručnik koja sažima alate razvijene u projektu AMIIGA i razmatra sinergije s FOKS alatima, pomažući korisniku u odabiru najpovoljnijih alata za praćenje i sanaciju onečišćenja s kojim se korisnik mora suočiti. U tu svrhu ovdje je prikazano stablo odluka (slika 1), gdje se svi alati prikazuju ukratko, dijeleći ih na FUA i lokalno mjerilo. Prateći stablo i odgovarajući na pitanja, korisnik može provjeriti i odabrati alate korisne za povećavanje spoznaja o onečišćenju te na osnovu toga izraditi odgovarajući plan upravljanja.

I u slučaju kad se promatra zagađenje u FUA-a i kad se promatra na samoj lokaciji (odnosno u srednjem i lokalnom mjerilu) prvi korak je prikupljanje svih dostupnih informacija korisnih za procjenu stanja onečišćenja (npr. karakteristike mreže opažачkih bušotina, vrijednosti koncentracije pojedinih tvari u vodi, razine podzemne vode, karakteristike vodonosnika, povijesni podaci o onečišćenim mjestima itd.).

U okviru FOKS projekta su alati za diagnosticiranje bili naznačeni kao učinkovita metoda za poboljšanje analize podataka na lokalnoj skali tj. za pojedino zagađenje. U AMIIGA projektu, na FUA skali, podaci dolaze i iz privatnih, općinskih i regionalnih mreža, a skup podataka vrijednosti koncentracija vrlo je velik i složen za analizu.

Podaci prikupljeni i sistematizirani tijekom mnogih godina praćenja imaju ključnu ulogu za identifikaciju oblaka zagađivala i izvora onečišćenja. Iz tog razloga, uobičajene statistike dodane su gnostičkom alatu FOKS kako bi se detaljnije proučio veliki skup podataka prikupljen u FUA. Istraživačka analiza podataka može se primijeniti za postavljanje strukture baze podataka, otkrivanje otpada, pogrešaka i nedostajućih vrijednosti te za identifikaciju PS i MPS bušotina za nadzor (vidi D.T1.1.2).

Kako bi podržao implementaciju konceptualnog modela praćenja kvalitete podzemne vode, AMIIGA uvodi *biološki molekularni alat* (BMT) (vidi D.T1.3.4) za procjenu sposobnosti prirodnih (tj. autohtonih) mikrobnih zajednica za razgradnju određenih onečišćenja in situ. Nadalje, BMT pruža dokaze o napretku podržane biološke razgradnje ili opisuje utjecaj pojedinih metoda sanacije na autohtone mikroorganizme tijekom različitih faza sanacije.

Nadalje, kako bi razumio odnos između izvora zagađenja, odgovarajućeg oblaka i konceptualnog modela pronosa zagađivala, AMIIGA dodaje nove sljedeće alate:

Analiza izotopa specifičnih za spoj (eng: Compound Specific Isotope Analysis (CSIA) (vidi D.T1.2.4), kako bi se razlikovali izvori kontaminanta, predstavljajući dragocjen pristup u identificiranju pojedinih izvora onečišćenja na lokalnoj i srednjoj razini i / ili demonstriranja procesa razgradnje, budući da od velikog interesa za potrebe sanacije;

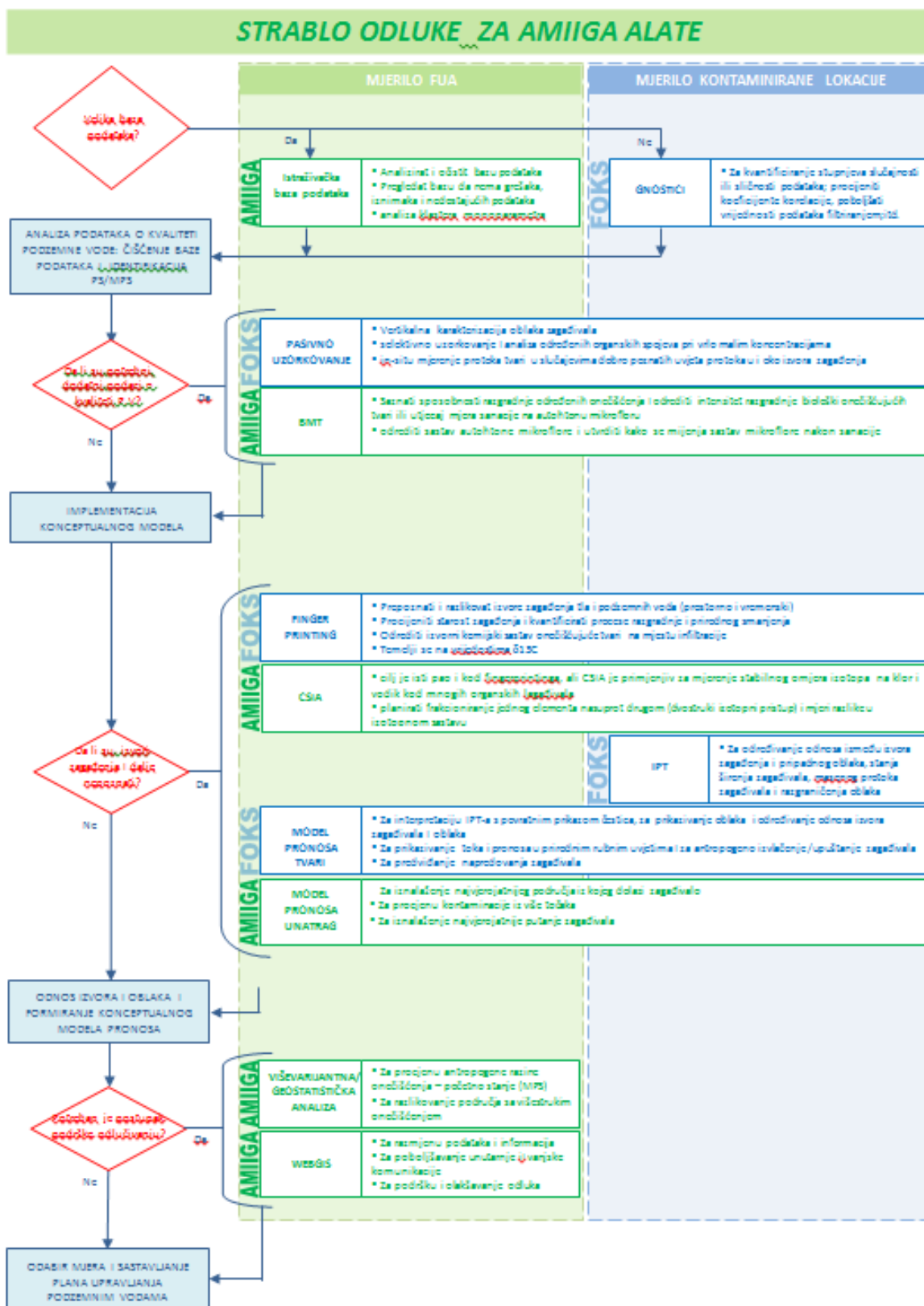
Model pronosa unatrag (vidi D.T1.1.3), za prostorno razgraničenje oblaka tvari, za odvajanje onečišćenja podzemne vode kao posljedica jednog ili više izvora zagađenja, za identificiranje područja za koje je najvjerojatnije pod utjecajem više izvora zagađenja koji je odgovoran za difuzno zagađenje.

I posljednje, ali ne najmanje bitno, multivarijantna i geostatistička analiza i WebGIS su AMIIGA-ina alati koji se primjenjuju s glavnim ciljem podržavanja odabira mjera i sastavljanja plana upravljanja, poboljšavajući postupak podrške odlučivanju (za više detalja o planu upravljanja vidi D.T3.3.7). Multivarijantna i geostatistička analiza omogućuju definiranje područja FUA zahvaćena zagađenjima iz više izvora i procjenu vrijednosti početne (osnovne) koncentracije difuzne kontaminacije na velikim površinama (vidjeti D.T1.1.2). WebGIS predstavlja inovativan pristup za razmjenu podataka i informacija među institucijama i tehničkim uredima, poboljšavajući unutarnju i vanjsku komunikaciju, podržavajući i olakšavajući odluke, unapređujući analizu podataka i tumačenje konceptualnog modela (vidi D.T1.1.1).

U ovom dokumentu se analiziraju prednosti, slabosti, mogućnosti i prijetnje (SWOT analiza) AMIIGA alata čime se omogućuje korisnicima procjena dodane vrijednosti za obradu podataka. Opisuje se metoda određivanja stupnja onečišćenja podzemnih voda, pojašnjava se određivanje podrijetla onečišćenja (odnosi izvor-oblak), poboljšava se izrada konceptualnog modela, procijenjuje se razina antropogene pozadine onečišćenja, procijenjuju se prirodni procesi razgradnje, planiranje i odabir mjera sanacije.

Općenita ključna pitanja koja pokreću odabir AMIIGA alata su:

- da li je li dostupan dovoljno veliki skup podataka na FUA skali? Analiza podataka istraživanja može poboljšati postojeću bazu podataka o podzemnim vodama FUA-e, što uključuje čišćenje skupova podataka i identifikaciju bušotina za nadzor pojedinačnih (PS) i mnogobrojnih (MPS) izvora zagađivala,
- da li su potrebni dodatni podaci o karakterizaciji podzemnih voda? BMT može pomoći kod izrade konceptualnog modela,
- postoje li još uvijek nepoznati izvori onečišćenja? CSIA i modeli pronosa unatrag mogu pojasniti odnose između mjesta unosa zagađivala i poboljšati znanje o konceptualnom modelu pronosa tvari,
- da li je potreban postupak podrške odlučivanju? Multivarijantna, geostatistička analiza i WebGIS mogu podržati postupak donošenja odluka za odabir mjera i sastavljanje plana upravljanja.



Slika 1: Stablo odluke za AMIIGA alate

2. AMIIGA alati za analizu podzemnih voda

U ovom su poglavlju su u donjoj tablici odgovori na vodeća pitanja za analizu prednosti, slabosti, mogućnosti i prijetnji (SWOT) svakog AMIIGA alata. Nadalje, opisani su primjeri aplikacija u pilot područjima projekta AMIIGA kako bi se čitatelju pomoglo da shvati primjenjivost alata u različitim okvirima.

PREDNOSTI	Koje su mogućnosti i prednosti ovog alata ili ovog alata u kombinaciji s drugima za postizanje odabranih ciljeva? Koje vrste podataka nudi alat za svaki cilj? Za koje vrste objekata djeluje bolje? Zašto? Ostale prednosti?
SLABOSTI	Koje su slabosti i nedostaci alata? Koje su slabosti u pogledu odabranih ciljeva? Koji aspekti nisu obuhvaćeni? Za koju je vrstu alata manje pogodan i zašto? Druge slabosti?
MOGUĆNOSTI	Koje su dodatne prednosti za korisnika u primjeni alata? Postoji li potencijal za poboljšanje učinkovitosti alata?
PRIJETNJE	Koje su prijetnje razvijanjem ovog alata u alat dobre prakse za odabrani cilj? Može li biti problema u učinkovitosti? Mogu li postojati problemi s prihvaćanjem?

ISTRAŽIVAČKA ANALIZA PODATAKA (D.T1.1.2)		
<p>Opis: Istraživačka analiza podataka uključuje metode statističke analize (čišćenje podataka, nestale vrijednosti, deskriptivna analiza, monoparametarska analiza klastera) korištene na FUA skali za analizu velikih (vremenskih i prostornih) i multiparametarskih skupova podataka podzemnih voda (na primjer praćenje podataka o koncentraciji vrijednosti onečišćenja). Uključuje sve aktivnosti potrebne za otkrivanje grubih pogrešaka i nedostajućih vrijednosti za prepoznavanje žarišta i odvajanje točkastih izvora (PS) od bušotina za praćenje zagađenja iz više izvora (MPS).</p> <p>Primjenjivost: kod velikog skupa podataka kao što su na primjer vrijednosti koncentracija kontaminanata ili razine podzemne vode prikupljene u FUA iz različitih mreža (privatne, općinske i regionalne).</p> <p>Kombiniranje s ostalim alatima: kombiniranjem s monoparametarskom analizom klastera se može razlučiti pojedinačne i difuzne opažачke bušotine, a deterministički modeli pronosa i modeli pronosa unatrag daju informacije o raspodjeli oblaka tvari na tom području. Kombinirajući zajedno sve ove informacije mogu poboljšati razumijevanje konceptualnog modela pronosa zagađivala i difuzno širenje onečišćenja. Time se poboljšava proces donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama, što se odnosi, na primjer, na koncipiranje mreže opažачkih bušotina.</p>		
CILJEVI	Analiza podataka o podzemnoj vodi: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor pojedinačnih i mnogobrojnih zagađivača	X
	implementacija konceptualnog modela	
	odnos izvor-oblak i konceptualni model transporta onečišćujućih tvari	
	odabir mjera i pisanje plana upravljanja GW-om	X

PREDNOSTI	<p>Istraživanje podataka se radi na FUA skali, analiziraju se veliki i složeni skupovi podataka kao i podatci prikupljeni kroz niz godina.</p> <p>Metode istraživanja podataka otkrivaju pogreške i nedostajuće vrijednosti velikih skupova podataka.</p> <p>Analiza monoparametarskog klastera grupira opažanja u klaster i svaki se klaster razlikuje jedan od drugog.</p> <p>Identificiraju se žarišta i omogućava razlikovanje opažачkih bušotina onečišćenih pojedinačnim izvorima (PS) od onih onečišćenih difuznom kontaminacijom povezanih s mnogobrojnim pojedinačnim izvorima (MPS).</p>
SLABOSTI	<p>Prije primjene statističkih metoda potrebno je složeno prikupljanje i priprema podataka. Ova faza zahtijeva velike napore i zbog nedostatka homogenosti podataka prikupljenih od različitih institucija i zbog potrebe da se same institucije uključe u odgovarajuće informacije.</p> <p>Različiti postupci čišćenja podataka (otkrivanje pogrešaka, provjera dosljednosti i postupanje s nedostajućim odgovorima) mogu dati različite rezultate, pa je potrebno posvetiti najveću pažnju tijekom procesa čišćenja podataka.</p> <p>Čišćenjem podataka treba otkloniti minimalni broj sumljivih podataka koliko je to moguće.</p> <p>Nedostajuće vrijednosti (na primjer kada u bušotini nije dostupna vrijednost koncentracije za jedan od razmatranih parametara) mogu snažno utjecati na rezultate određenih tehnika. Ako nedostaju više od 30% vrijednosti, to obično predstavlja problem i mora se donijeti odluka o postupanju s nedostajućim vrijednostima.</p>
MOGUĆNOSTI	<p>Alat naglašava nedostatak mreže piezometara za nadgledanje podzemnih voda i može identificirati nova potencijalna područja izvora onečišćenja. Ove alate mogu primijeniti javna tijela za odabir mreže praćenja i analitičkog skupa radi poboljšanja stabilnosti rezultata i optimizacije učinkovitosti predloženih mjera.</p>
PRIJETNJE	<p>Rezultati moraju biti u skladu s konceptualnim modelom (hidrogeološkom strukturom, modelom toka podzemnih voda, sudbinom zagađenja i njegovim pronosom). Prijetnja je da se primjenjuju statističke metode bez uzimanja u obzir karakteristika opažачkih bušotina.</p>

PRIMJER PROVEDEN U AMIIGA PROJEKTU

Pilot područje u Milanu (IT)

Istraživačka analiza podataka primijenjena je za područje Milana (Milano FUA) gdje su razmatrana dva glavna vodonosnika (plitki i duboki vodonosnik). Skup podataka sastavljen je od mreže koja ima oko 2.000 opažачkih bušotina s dostupnim hidrokemijskim podacima.

Klasterska analiza, primijenjena na više od 45 000 zapisa vrijednosti koncentracije PCE u podzemnoj vodi, omogućila je odvajanje opažачkih bušotina koje su onečišćene pojedinačnim izvorima od onih onečišćenih mnogobrojnim pojedinačnim izvorima. Primijenjen je numerički model pronosa zahvaljujući identificiranim pojedinim većim zagađenjima (vrućim točkama) i uzimajući u obzir piezometre koji identificiraju mnogobrojne pojedinačne izvore.

Osim toga, rezultati su podržali postupak donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama, posebice kako bi se istakli nedostaci u nadzornoj mreži i identificirala područja na kojima su potrebne nove bušotine za nadzor.

BMT - molekularno-biološki alat (D.T1.3.4)

Opis: BMT je molekularno-biološki alat koji se koristi za karakterizaciju autohtonih bakterijskih kolonija naprednim genetskim metodama (PCR u stvarnom vremenu i sekvenciranje sljedeće generacije). Specifični bakterijski sojevi ili enzimi mogu se analizirati pomoću PCR-a u realnom vremenu, dok se složeni bakterijski konzorciji mogu opisati uporabom NGS. Tipičan zadatak za BMT bio bi provjeriti prisutnost i procijeniti obilje bakterijskih vrsta ili skupina koje mogu metabolizirati određene kontaminante prisutne u tlu ili podzemnim vodama. Nadalje, putem BMT-a moguće je identificirati eksplicitne puteve biorazgradnje i povezati ih s proizvodima ili nusproizvodima biorazgradnje. Kad se biorazgradnja odabere kao ključna metoda sanacije in situ, tada je potrebno karakterizirati sposobnost autohtonih bakterijskih konzorcija da metaboliziraju kontaminante, specifične bakterijske sojeve ili enzime pomoću BMT-a.

Primjenjivost: BMT je primjenjiv za dijagnozu tekućih procesa razgradnje u podzemnim vodama i tlu iz kontaminiranog okoliša. Na temelju prisutnosti i obilja određenih bioloških markera, može se preciznije odlučiti o odgovarajućem saniranju onečišćenog oblaka tvari. Na primjer, ako je količina bakterija sposobnih za biorazgradnju premala, može se jednostavno povećati dodavanjem odgovarajućeg supstrata; ili se dobro uspostavljeni konzorciji za biorazgradnju mogu ubaciti u zdence sa slabom biorazgradnjom. Također je moguće analizirati mikrobne kolonije uspostavljene na nosačima biomase potopljenim u kontaminiranom vodonosniku.

Kombinacija s drugim alatima: BMT analiza zajedno s kemijskom analizom, CSIA, fizikalnim parametrima i geološkim podacima je snažno sredstvo za procjenu prirodnog prigušenja i / ili pojačanih aktivnosti bioremedijacije u kontaminiranim područjima.

CILJEVI	Analiza podataka o podzemnoj vodi: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor pojedinačnih i mnogobrojnih pojedinačnih izvora	
	implementacija konceptualnog modela	X
	odnos izvor-oblak i konceptualni model transporta onečišćujućih tvari	
	odabir mjera i pisanje plana upravljanja podzemnom vodom	X
PREDNOSTI	<p>BMT uključuje vrlo preciznu analizu širokog spektra bakterijskih vrsta ili enzima u složenim uzorcima okoliša. U kombinaciji s drugim alatima (CSIA, kemijska analiza) pruža snažan aparat za opis kontaminiranog lokaliteta i procjenu njegove biološke aktivnosti.</p> <p>BMT daje relativne vrijednosti na temelju specifičnog obilja bakterija za karakterizaciju podzemne vode. Tada je moguće predvidjeti metaboličku sposobnost mikroflore u uzorku, i što je najvažnije, sposobnost razgradnje onečišćenja na anaerobni / aerobni način. I posljednje, ali ne najmanje bitno, moguće je predvidjeti ima li podzemni okoliš uvjete pogodne za biorazgradnju (na primjer, prisutnost bakterija koje reduciraju sulfat ili denitrificiraju).</p> <p>qPCR analiza je ciljane, brza i isplativa, dok NGS alat daje složeniju sliku mikrobne zajednice in situ. Stoga bi kombinacija ove dvije metode dovela do najbolje dijagnoze lokaliteta.</p>	
SLABOSTI	Glavna slabost BMT-a je poteškoća u vađenju genetskog materijala (DNA). Neki uzorci mogu sadržavati visoku koncentraciju kemijskih spojeva koji ometaju izolaciju DNA. To može utjecati na prinos i kvalitetu izolirane DNK, a time i na BMT rezultate. Moguće je samo izmjeriti relativnu razinu markera (specifičnih gena) u razdoblju uzorkovanja i procijeniti kako postupak sanacije utječe na autohtone	

	<p>bakterije. Za tumačenje rezultata potrebno je stručno znanje o lokalnim uvjetima (CSIA i kemijske analize).</p> <p>qPCR markeri još nisu razvijeni za biorazgradnju svih mogućih zagađivača u okolišu. Još uvijek postoje mnoge nepoznate specifične bakterije ili enzimi, koji bi mogli biti važni u procesima biorazgradnje.</p> <p>Precizna obrada podataka NGS-a ovisi o pažljivom radu bioinformatičara, što može predstavljati problem, jer općenito nedostaje dobrih bioinformatičara.</p>
MOGUĆNOSTI	<p>Rezultati BMT-a omogućuju nam bolje razumijevanje mikrobnih aktivnosti na onečišćenom lokalitetu. Podaci BMT pokazuju potencijal biorazgradnje na istraživanom (saniranom) lokalitetu, on također može predvidjeti iskoristivost odabranog postupka kao i ispraviti broj primjena kemijskog tretmana. Tu je i potencijal za proširenje spektra određenih markera jer se znanje o metabolizmu bakterija brzo povećava.</p> <p>Učinkovitost BMT-a mogla bi se poboljšati kombinacijom s drugim metodama (CSIA, kemijska i fizikalna analiza, geološke informacije).</p>
PRIJETNJE	<p>Najveća prijetnja je niska kvaliteta DNA iz uzorka i preniska razina ispitivanih markera. Oboje snažno utječu na rezultate BMT-a i moraju ih se pažljivo tumačiti.</p>

PRIMJER PRIMJENE U AMIIGA PROJEKTU

Pilot područje Parma (IT)

BMT analiza primijenjena je u Parma FUA gdje je zagađenje podzemnih voda (BTEX, CE) uzrokovano nepravilnim radom benzinske postaje. Dvije kampanje uzorkovanja realizirane su u prosincu 2017. i svibnju 2018. godine.

Tijekom kampanje uzorkovanja izmjereni su fizikalni parametri (npr. PH, oksidacijsko-redukcijski potencijal i vodljivost).

Rezultati BMT-a pokazali su trend porasta ukupne bakterijske biomase u drugom uzorkovanju (tisućama puta višim razinama). To se može objasniti višom razinom podzemnih voda, ali i izmjenom sezona. Uspjeli smo zamijetiti denitrificirajuće (nirK gen) i sulfat reducirajuće (dsrA gen) bakterije koje potvrđuju smanjenje povoljnih uvjeta. Niske razine BTEX razgraditelja anaerobnim putem (bssA gen) s nešto povoljnijim uvjetima za procese aerobne degradacije (DEF / G gen) u oba kruga uzorkovanja potvrdile su trajnu degradaciju BTEX. Nije promatrana prisutnost bakterija koje vraćaju organohalide (bvca, vcrA geni, Dehalococcoides sp., Desulfitobacterium sp., Dehalobacter sp.) (niti na razini enzima niti na razini bakterijskog roda). Kako su koncentracije CE niske, vjerojatno je detektirano tek blago aktivno organohalidno disanje, ali nisu pronađene redukcije VC. Demonstrirajuća reduktivna dehalogenacija nije otkrivena na ovom lokalitetu, pa možemo nagađati da se ona dogodila aerobnim i kometaboličkim putovima koji se nisu mogli otkriti pomoću naših primera.

Donje tablice prikazuju šest bušotina u dva kruga uzorkovanja (prosinac 2017. - lijevo, svibanj 2018. - desno) i specifično otkrivanje razgradnje. Ukupna bakterijska biomasa (U16SRT), enzimi vinilklorida (bvca, vcrA), Dehalococcoides sp. (DHC-RT), Desulfitobacterium sp. (Dsb), Dehalobacter sp. (Dre), bakterije koje smanjuju sulfat (dsrA), denitrificirajuće bakterije (nirK), HCH degrader (linA) i 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						
<u>dsrA2</u>							<u>dsrA2</u>						
<u>nirK</u>							<u>nirK</u>						
<u>linA</u>							<u>linA</u>						
DEF/G							DEF/G						
<u>bssA</u>							<u>bssA</u>						

U ovom slučaju prednost BMT-a predstavlja najbolji pregled lokaliteta. Analize su zamišljene kao dodatno praćenje koje je pomoglo kemijskim analizama i CSIA-i razumjeti biološke procese na lokalitetu. Na temelju BMT analize, dana je preporuka za sljedeći korak sanacije. Za lokalitet Parma predložena je aplikacija supstrata za poboljšanje mikrobne zajednice.

CSIA - Specifična analiza izotopa (D.T1.2.4)

Opis: Uspješna primjena CSIA može se primijeniti za razlikovanje izvora kontaminanta i za poboljšanje znanja o odnosima izvora i oblaka štetnih tvari. Ona predstavlja dragocjen pristup u identifikiranju kontaminiranog mjesta odgovornog za onečišćenje na cilnom području. Stoga je zahvaljujući rezultatima CSIA moguće poboljšati konceptualni model pronosa onečišćujućih tvari i pomoći u razlikovanju pojedinačnog zagađivača od višestrukih pojedinačnih izvora zagađenja. Nadalje, CSIA omogućava utvrđivanje da li se odvijaju prirodni procesi slabljenja i mogu li razgraditi onečišćenja, što je od velike važnosti u svrhu sanacije.

Primjenjivost: Danas je pomoću CSIA moguće izmjeriti stabilan omjer izotopa na ugljiku, kloru i vodik mnogih organskih onečišćenja. Minimalna vrijednost koncentracije onečišćenja oko 5/100 µg / l potrebna je ovisno o laboratorijskim instrumentima, odabranim izotopima i spojevima koji se analiziraju.

Kombinacija s drugim alatima: CSIA se može primijeniti zajedno s drugim alatima kao što su biološki molekularni alati (BMT), posebno za nadzirane aplikacije prirodnog slabljenja (MNA) te za projektiranje i nadzor poboljšanih strategija biološke sanacije. Na taj način podržava se proces odlučivanja o upravljanju podzemnom vodom što se tiče, na primjer, odabira postupaka sanacije koji će se usvojiti na nivou FUA-e ili onečišćenih mjesta.

CILJEVI	Analiza podataka o podzemnoj vodi: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor pojedinačnih izvora zagađenja i mnogobrojnih izvora zagađenja (PS / MPS)	
	implementacija konceptualnog modela	
	odnos izvor-obak i konceptualni model pronosa onečišćujućih tvari	X
	odabir mjera i pisanje plana upravljanja GW-om	X
PREDNOSTI	<p>Promjene u odnosu između stabilnog izotopa (frakcioniranje izotopa) mogu nedvosmisleno pokazati prisutnost razgradnje onečišćenja u podzemnoj vodi i mogu pružiti informacije za kvantificiranje biorazgradnje.</p> <p>Upotreba alata za izotope omogućava bolje razumijevanje ponašanja zagađivala u podzemnoj vodi, kao i značaj fizičkih (tj. razrjeđivanja) i bioloških transformacija.</p> <p>CSIA kvantificira izotopski sastav određenog onečišćivača i stoga pruža dodatna i često jednoznačne odgovore o raspodjeli i razlikovanju izvora organskih spojeva. Nadalje, CSIA pomaže u identifikiranju reakcija transformacije i kvantificira masu degradiranog postotka onečišćenja omogućujući predviđanje budućeg razvoja onečišćenja.</p>	
SLABOSTI	<p>Postupak i očuvanje uzorka CSIA mora slijediti najbolju praksu kako bi se spriječilo biorazgradnju ili abiotsku transformaciju kontaminanta. U protivnom, rezultati mogu biti netočni.</p> <p>Minimalna vrijednost koncentracije onečišćenja oko 5/100 µg/l potrebna je ovisno o laboratorijskim instrumentima, odabranim izotopima i spojevima koji se analiziraju.</p> <p>Analitička nesigurnost CSIA može predstavljati problem jer postoji značajna</p>	

	<p>varijabilnost ovisno o internim protokolima i analitičkim metodama koje se primjenjuju u laboratorijima. Odgovornost je korisnika da utvrdi je li nesigurnost prihvatljiva ili nije za njihovu specifičnu primjenu. Kako bi ovaj alat bio učinkovitiji i rezultati usporedivi u različitim laboratorijima, potrebno je razviti europske analitičke protokole.</p> <p>Nekoliko ograničenja za procjenu biorazgradnje se primjenjuju na uporabu CSIA-e, poput, primjerice, nesigurnosti u vezi s prisustvom više izvora, složenih kontaminiranih mjesta, ali i manjih učinaka poput sorpcije/desorpcije.</p> <p>Drugo važno ograničenje predstavlja pravilno mjerenje izotopskog potpisa na izvoru, jer izvori mogu biti uklonjeni ili još uvijek nisu identificirani.</p>
<p>MOGUĆNOSTI</p>	<p>Rutinskom uporabom CSIA-e za kontaminirana mjesta i karakterizaciju FUA-a pružit će se više podataka koji omogućuju prikladniju procjenu procesa prirodnog prigušivanja i/ili napretka aktivnosti sanacije. Nadalje, bilo bi moguće potvrditi ili poboljšati konceptualni model onečišćenja, ojačavši prognozu o razvoju vremena onečišćenja.</p>
<p>PRIJETNJE</p>	<p>Najbolja praksa je pročišćavanje bušotine prije uzorkovanja. Ako zdenac nije očišćen prije uzorkovanja, ispumpana podzemna voda možda neće biti reprezentativna, što dovodi do pogrešne interpretacije rezultata analize.</p> <p>Preporučuje se minimizirati gubitak isparljivih onečišćenja ograničavanjem izloženosti uzorka podzemne vode atmosferskom kisiku. Kao što je općepoznato, kisik može lako dovesti do aerobne razgradnje u otopljenim organskim spojevima. Također se preporučuje stabilizirati uzorak dodavanjem baktericida kako bi se izbjeglo bilo kakvo propadanje tijekom čuvanja uzorka.</p> <p>U strategijama uzorkovanja obvezno je sveobuhvatno i primjereno razumijevanje hidrogeološkog konceptualnog modela i mreže opažačkih bušotina. To se uglavnom radi o ispravnom odabiru mjesta uzimanja uzoraka i ispravnom poznavanju dubine prikupljanja podzemnih voda. Često se pomoću nadzornih bušotina s različitim duljinama filtera ili različite dubine može dogoditi loša interpretacija podataka, miješanje podataka koji dolaze iz različitih geoloških sredina.</p>
<p>PRIMJER PRIMJENE U AMIIGA PROJEKTU</p> <p><u>Pilot područje Milana (IT)</u></p> <p>CSIA je primijenjena na pilot području Milano (IT) s ciljem boljeg razlikovanja granica sliva s obzirom na difuzno zagađenje. Različiti stabilni izotopni pripravci za PCE (i za ugljik [13C] i klor i/ili [37Cl]) uglavnom su korišteni za razlikovanje je li kontaminacija dio određenog koncentriranog upuštanja ili predstavlja difuznu pozadinsku kontaminaciju. Podaci CSIA-e korišteni su za razradu preciznijih konceptualnih modela s obzirom na nekoliko područja unutar pilot područja koja pomažu u pronalaženju, kad god je to moguće, izvornih područja ili potencijalno odgovornog za onečišćenja.</p> <p>Sekundarni cilj bio je procjena procesa biorazgradnje i, općenito, prirodnog prigušivanja pojedinih onečišćivača kao na primjer PCE. Izotopski sastav TCE i cis-DCE korišten je za dobivanje uvida u degradacijske puteve i opseg PCE i za razumijevanje kada je TCE bio produkt razgradnje ili primarno zagađivalo na odabranim mjestima.</p>	

MODEL PRONOSA UNATRAG (D.T1.1.3)

Opis: Model pronosa unatrag se može primijeniti za procjenu utjecaja nesigurnosti parametara vodonosnika na simulaciju pronosa. Uzimajući u obzir različitu moguću raspodjelu hidrogeoloških parametara (npr. hidraulička vodljivost, poroznost itd.) moguće je pronaći najvjerojatnije puteve koje su prošla zagađivala. Tehnika se može koristiti počevši od izvora zagađenja (ako je poznat) i slijedeći najvjerojatniji smjer tečenja ili počevši od nekih zagađenih bunara za praćenje i pomicanje unatrag, duž smjera toka (tj. praćenje unatrag) kako bi se pronašlo najviše vjerojatni izvori (ako su nepoznati). Modeliranje pronosa unatrag omogućava poboljšanje znanja o odnosima između izvorišta i oblaka procjenjujući njegove nesigurnosti. Konačno, model pronosa unatrag predstavlja moćan alat koji može pomoći donositeljima odluka u praćenju i upravljanju aktivnostima vezanim za onečišćenje podzemnih voda.

Primjenjivost: Pristup modeliranju unatrag razvijen u projektu AMIIGA-i treba primijeniti na područjima srednje veličine (FUA), gdje mnogi izvori mogu biti odgovorni za onečišćenje otkriveno u podzemnim vodama. Inverzna tehnika modeliranja može se primijeniti i za otkrivanje PS i MPS. U projektu AMIIGA se primjenjuje kako bi se pronašlo najvjerojatnije područje izvora onečišćenja u odnosu na točke praćenja (za PS i MPS) ili da bi se razgraničio advektivni transport onečišćenja nizvodno od nekih sumnjivih izvora (za PS). U projektu AMIIGA korišteni je program MODFLOW za model tečenja, MODPATH za praćenje čestica i PEST za generiranje polja K i inverzno modeliranje, MT3DMS za advektivno-disperzivno modeliranje. Ipak, metodologija se može primijeniti s bilo kojim drugim programima za modeliranje toka podzemne vode i pronosa. Za primjenu alata potreban je klasični (tj. deterministički) kalibrirani model toka.

Kombinacija s drugim alatima: Ako se primjenjuje u kombinaciji sa statističkim alatima, poboljšava sposobnost lociranja izvora onečišćenja. Štoviše, u kombinaciji s transportnim modelom (advekcija + disperzija) poboljšava sposobnost procjene sumnjivih izvora i proširenja oblaka u okviru vjerojatnosti, što znači da je moguće procijeniti vjerojatnost da oblak ima određeno proširenje.

CILJEVI	Analiza podataka o podzemnim vodama: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor PS / MPS	
	implementacija konceptualnog modela	
	odnos izvor-oblak i konceptualni model pronosa onečišćujućih tvari	X
	odabir mjera i pisanje plana upravljanja GW-om	X
PREDNOSTI	<p>Prisutnost višestrukih točkovnih izvora (MPS) koji određuju difuzno zagađenje podzemne vode u FUA-ima mora se riješiti nekonvencionalnim aktivnostima upravljanja i sanacije. MPS su po definiciji nepoznati izvori, a klasični modeli pronosa nisu u mogućnosti predstavljati difuznu kontaminaciju koju određuju ti izvori. Različiti modeli pronosa unatrag mogu simulirati ovu kontaminaciju. Iz tog su razloga oni osnovni alati za procjenu i predviđanje razvoja onečišćenja i učinkovito planiranje njegovog upravljanja.</p> <p>Nadalje, model model pronosa unatrag se također može primijeniti kako bi se utvrdio najvjerojatniji PS odgovoran za jedan oblak, omogućavajući određivanje najvjerojatnijeg područja izvora kontaminacije primjenom praćenja čestica unazad. Nema ograničenja u primjeni bilo kakvih kemikalija koje se javljaju u podzemnim vodama</p>	
SLABOSTI	Da bi se dobro istražila nesigurnost povezana s hidrogeološkim svojstvima promatrane sredine, bilo bi korisno uzeti u obzir veći broj parametara za svaki	

	<p>inverzni model. Nažalost, trenutno bi se parametri trebali kretati između 1 i 4, kako bi se izbjegla nestabilnost modela ili nekalibrirani rezultati modela. Očekuje se da će se mogućnosti modeliranja unatrag u budućnosti povećavati paralelno s povećanjem kapaciteta računala.</p> <p>Kao rezultat modeliranja se često dobiva velika količina izlaznih podataka (tj. broj čestica koje prolaze kroz ćeliju, u različitim slojevima za svaku simulaciju) i prilično su teške za analizu s GIS okruženjem (tj. preferira se domaći softver za analizu frekvencije i prostorne vjerojatnosti).</p> <p>Trenutno, samo nekoliko modelara ima potrebno iskustvo za primjenu obrnutih modela.</p>
<p>MOGUĆNOSTI</p>	<p>Analiza predviđanja nesigurnosti pomoći će javnim tijelima da optimiziraju javne ekonomske resurse planirajući istragu u onim područjima koja su vjerojatno odgovorna za difuznu kontaminaciju. Nadalje, rezultati modeliranja pronaći tvari unatrag ističu područja na kojima bi trebalo poboljšati mrežu praćenja FUA-e kako bi se bolje ispitala sudbina difuzne kontaminacije. Konačno, i upravljanje crpljenjem podzemne vode za javnu upotrebu također se može poboljšati ako se uzme u obzir razumno prisustvo MPS klastera.</p>
<p>PRIJETNJE</p>	<p>Rezultati trebaju biti pažljivo analizirani i trebaju biti u skladu s konceptualnim modelom (hidrogeološka struktura, tok podzemnih voda, sudbina zagađenja i pronos). Prijetnja je što rezultati modeliranja unatrag ovise o kalibriranom numeričkom / determinističkom modelu, što je osnova za njegovu primjenu, tj. početni uvjet za obrnutu iteraciju.</p>

PRIMJER PRIMJENE U AMIIGA PROJEKTU

Pilot područje Milana (IT)

Modeliranje pronosa unatrag primijenjeno je u sektoru Milano FUA kako bi se identificirala područja s najvećom vjerojatnošću da postoje potencijalni MPS. Polazeći od kalibriranog modela (determinističkog) bilo je potrebno generirati 400 različitih raspodjela vrijednosti hidrauličke vodljivosti (tj. K-polja). Među tim distribucijama je bilo 11 isključeno jer nisu mogli zadovoljiti ciljeve kalibracije, odnosno prihvatanjem ovih K-polja model nije bio u mogućnosti da pravilno predstavlja izmjerene vrijednosti u piezometrima.

Preostalih 389 kalibriranih modela su pokazali neznatne razlike u vrijednostima K i svi su mogli ispravno predstavljati izmjerene vrijednosti u piezometrima, tj. smatrali su se podjednako vjerojatnim. Zatim se svaki od njih koristio za pomicanje čestica iz opažачkih bušotina koje su zahvaljujući fazi istražnih podataka već prepoznate da su difuzno kontaminirane. U ovom slučaju, između onih bušotina koje pokazuju difuzno zagađenje, za fazu povratnog praćenja odabrane su samo točke sa srednjom PCE vrijednošću većom od 10 µg/l (granica PCE prema talijanskom standardu za pitku vodu je 10 µg/l). Kako je analiza praćenja čestica osjetljiva na početne dubine čestica, dodjela njihovih početnih lokacija temeljila se na stvarnom položaju filtra u piezometru. U svaki zdenac dodana je čestica u središtu filtarskog dijela za svaki zahvaćeni sloj. Potom su čestice praćene unatrag na temelju simulirane strujne slike. Nastale su različite putanje istih čestica za 389 slučajeva različitih strujnih slika zbog različitih K-polja. Računanjem broja čestica koje su prelazile svaku ćeliju u modelu u svih 389 simulacija, moguće je dobiti karte učestalosti pojavljivanja čestica koje putuju u svakom vodonosnom sloju: u ćelijama modela gdje je broj čestica prolazak najveći, vjerojatnost da su prisutni difuzni izvori kontaminacije veći su nego u

ostalim stanicama (tj. MPS). Taj se rezultat smatra reprezentativnim za područja FUA s najvećom vjerojatnošću da sadrže MPS odgovoran za difuznu kontaminaciju koja se opaža u piezometrima.

Nadalje, modeliranje pronosa unatrag korišteno je za identificiranje područja s najvećom vjerojatnošću da sadrže potencijalni PS. Postupak proizvodnje K-polja i jednako vjerojatni modeli bio je isti kao i gore opisan. No u ovom su slučaju čestice dodavane samo u one zdence koje pokazuju visoku koncentraciju PCE i ne pripadaju točkama koje su difuzno kontaminirane (rezultat aplikacije za istraživačke podatke), što znači da se sada razmatraju samo točke za koje se sumnja da ih je zahvatio oblak zagađivala.

Nakon toga, MODPATH kôd primijenjen je za generiranje povratnih putova čestica za svaki od modela izgrađenih korištenjem usvojenih polja vodopropusnosti. Tako su stvorene karte na kojima je prikazan broj povučениh čestica koje su prešle svaku ćeliju modela u svakom kalibriranom modelu. Smatralo se da su rezultati reprezentativni za područja FUA s najvećom vjerojatnošću da sadrže PS koji je odgovoran za kontaminaciju. Rezultati su uspoređeni s determiniranim transportnim modelom (tj. oblakom u FUA) i s hidrokemijskim rezultatima dobivenim u AMIIGA kampanjama uzorkovanja.

MULTIVARIJATNA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA (D.T1.1.2)

Opis: Multivarijantna analiza (analiza glavnih komponenti, faktorska analiza, multiparameterska analiza klastera, regresijska analiza) i geostatistička analiza statističke su metode, različite od onih koje se koriste za istraživačke analize podataka, koje podržavaju analizu podataka i postupak donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama (tj. potpora određivanju prioriteta, odabir mjera) na srednjoj skali (FUA skala) za procjenu antropogene razine onečišćenja (MPS) i razlikovanje područja različite jačine difuzne kontaminacije u istoj FUA. Posebno:

Multivarijantna analiza: služi za procjenu glavne komponente skupa podataka (to znači na primjer glavne onečišćivače) i obrasce difuzne kontaminacije koji mogu biti prisutni u FUA

Geostatistička analiza: služi za procjenu prostorne raspodjele difuzne kontaminacije.

Primjenjivost: Multivarijantna analiza sastoji se od zbirke statističkih metoda koje se mogu primijeniti kada se napravi nekoliko mjerenja na svakoj bušotini za praćenje. Multivarijantna analiza može se primijeniti na različite vrste mjerenja parametara (npr. koncentracije onečišćujućih tvari, karakteristika vode itd.) uzimajući u obzir prostornu varijablu svake bušotine za praćenje. Indikativno se analiza može primijeniti kada su u FUA dostupne 2 bušotine za praćenje svakih 100 ha. Metode multivarijantske analize mogu se primijeniti za analizu svih parametara na istraživanom području, kao što su otkrivanje lokacije ispuštanja onečišćenja, karakterizacija hidrogeološke sredine, sanacija, nadzor i zatvaranje sanacije. Geostatističke metode mogu se koristiti zajedno s rezultatima multivarijantne analize za bolje rješavanje podataka o okolišu koji su često pristrani, grupirani i prostorno povezani.

Kombinacija s drugim alatima: Rezultati multivarijantske i geostatističke analize u kombinaciji s modelima pronosa i modelima pronosa unatrag razlučuju područja PS i MPS, pružajući informacije o jačini difuzne kontaminacije. Te informacije podržavaju postupak donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama za procjenu pozadinskih koncentracija difuzne kontaminacije.

CILJEVI	Analiza podataka o podzemnoj void: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor PS / MPS	
	implementacija konceptualnog modela	
	odnos izvora i oblaka zagađivala te konceptualni model transporta onečišćujućih tvari	
	odabir mjera i pisanje plana upravljanja podzemnom vodom	X
PREDNOSTI	<p>U kontaminiranim područjima se istovremeno mjeri više od jednog parametra na svakoj opažačkoj bušotini. Cilj mnogih multivarijantnih pristupa je pojednostavljenje, pokušaj opisa onoga što se događa u smislu smanjenog niza dimenzija (to na primjer znači grupiranje onečišćivača koji imaju isti obrazac.</p> <p>Metode multivarijantne analize proučavaju vremensku promjenu parametara i odnose između različitih parametara.</p> <p>Multivarijantna analiza omogućuje procjenu glavnih komponenti skupa podataka (to znači na primjer glavne onečišćivače) i ponašanja difuzne kontaminacije koji bi mogli biti prisutni u FUA-u, procjenjujući pozadinsku razinu difuzne kontaminacije na velikim površinama.</p> <p>Prostorna interpolacija (geostatistička analiza) procjenjuje nepoznate vrijednosti podataka na određenim lokacijama koristeći poznate vrijednosti podataka na drugim</p>	

	<p>lokacijama.</p> <p>Geostatistička analiza procjenjuje prostornu raspodjelu difuzne kontaminacije.</p> <p>Rezultati multivarijantnih i geostatističkih analiza podržavaju proces donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama na srednjoj skali (FUA skala).</p>
SLABOSTI	<p>Nakon što se podaci prikupe, čak i kada je istraživački projekt pravilno organiziran i izveden, konačni skup podataka mora se provjeriti, potvrditi i pripremiti prije nego što se nastavi s analizom. Nekoliko je koraka potrebno za pripremu podataka za analizu: uređivanje i kodiranje podataka (npr. provjera pogrešaka ili propusta) i čišćenje podataka (vidi alat za analizu podataka istraživanja).</p> <p>Homogena prostorna i vremenska distribucija podataka olakšava analizu. Povećanje gustoće prostornih i vremenskih podataka poboljšava kvalitetu rezultata.</p>
MOGUĆNOSTI	<p>Rezultati multivarijantne i geostatističke analize mogu se primijeniti za praćenje razvoja onečišćenja, ako se primjenjuju uvijek na istim opažačkim mrežama.</p>
PRIJETNJE	<p>Rezultati moraju biti u skladu s konceptualnim modelom (hidrogeološki aspekti, tok podzemne vode, sudbina zagađenja i pronos). Prijetnja je da se primjenjuju statističke metode bez uzimanja u obzir karakteristika nadzornih bušotina (na primjer, dubina i duljina filtera).</p> <p>Trenutno je u geostatističkoj analizi teško odabrati najbolju metodu prostorne interpolacije za širok raspon georeferencijalnih podataka. Stoga je odabir odgovarajuće metode s odgovarajućim parametrima za određenu primjenu presudan. Različite metode mogu proizvesti sasvim različite prostorne prikaze i potrebno je "dubinsko" poznavanje fenomena da bi se procijenila koja je od njih najbliža stvarnosti. Upotreba neprimjerene metode ili neprikladnih parametara može rezultirati izobličnim modelom prostorne distribucije, što dovodi do potencijalno pogrešnih odluka temeljenih na pogrešnim prostornim informacijama.</p>
<p>PRIMJER KORIŠTENJA U AMIIGA PROJEKTU</p> <p><u>Pilot područje Milano (IT)</u></p> <p>Multivarijantna i geostatistička analiza primijenjena je u FUA Milano gdje postoje dva vodonosnika (plitki i duboki vodonosnik). Skup podataka je prikupljen od mreže opažačkih bušotina od oko 2.000 točaka s dostupnim hidrokemijskim podacima.</p> <p>Multiparametarska analiza klastera mogla bi povezati profile koncentracija različitih onečišćenja. Pet klastera identificirano je kao reprezentativno za PCE difuznu kontaminaciju, oni su predstavljali veliku skupinu mjerenja pozadinske vrijednosti. Detaljnije su proučavane karakteristike i srednji vremenski trendovi PCE za pet skupina, koji su predstavljali difuznu kontaminaciju.</p> <p>Štoviše, geostatistička metoda analizirala je prostornu raspodjelu pet klastera u istraživanom području, a najreprezentativniji klaster za svaku zonu identificiran je rezultatima multivarijantne analize. Stoga je istaknuto da jedinstvena vrijednost difuznog zagađenja na cijelom probnom području nije reprezentativna za nehomogenost stvarne distribucije difuzne kontaminacije, ali više od jedne vrijednosti pozadinske koncentracije mora biti dodijeljeno u FUA.</p> <p>Statistička i geostatistička analiza u kombinaciji s modelom pronosa i modelom pronosa unatrag razlikuju područja PS i MPS i daju najreprezentativnije vrijednosti koncentracije difuzne kontaminacije u Milanskoj FUA.</p>	

Rezultati su podržali postupak donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama, planiranje mjera i identificiranje novih potencijalnih područja izvora onečišćenja koja će se nadzirati.

WEBGIS (D.T1.1.1)		
KRATAK OPIS ALATA		
<p>Opis: WebGIS je alat koji se može koristiti za prikaz i obradu podataka na Internetu. Nudi način pristupa internetu i razmjenu informacija na mreži. Poboljšava učinkovitost analize podataka i tumačenje konceptualnog modela, omogućava razmjenu podataka i informacija između institucija i projektantskih ureda. Glavni je cilj prikazati podatke na karti, omogućiti raspravu o podacima / rezultatima projekta i podržati i olakšati postupak donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama.</p> <p>Primjenjivost: mjerilo FUA. Dostupnost i performanse internetskog pojasa moraju biti učinkovite.</p> <p>Kombinacija s drugim alatima: Rezultati analize prikupljenih podataka, kemijske analize, razine podzemnih voda, BMT, CSIA, inverzni i deterministički modeli pronosa, multivarijantna i geostatistička analiza mogu se predstaviti istovremeno ili u različitim kombinacijama radi poboljšanja razumijevanja konceptualnog modela područja proučavanja.</p>		
CILJEVI	Analiza podataka o podzemnoj vodi: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor PS / MPS	
	implementacija konceptualnog modela	
	odnos izvora i oblaka te konceptualni model pronosa onečišćujućih tvari	
	odabir mjera i pisanje plana upravljanja podzemnim vodama	X
PREDNOSTI	<p>WebGIS je alat otvorenog pristupa za analizu prikupljenih podataka.</p> <p>WebGIS-u se može pristupiti s bilo kojeg mjesta s različitih platformi, zadržavajući autorizaciju definiranu razinama pristupa (uz korisničko ime i lozinku). To znači da je moguće kontrolirati dopuštenja za određene korisnike ili određene grupe kako bi im se omogućio pristup određenom podskupinu podataka ili karata.</p> <p>To je način objavljivanja i dijeljenja višeslojnih značajki na jednoj web mapi.</p> <p>To je dobar način za razmjenu podataka i informacija između institucija i projektantskih ureda, za poboljšanje interne i vanjske komunikacije i međusobne suradnje, za podršku i olakšavanje odluka.</p> <p>Informacije se povremeno mogu ažurirati, prema tome, svi korisnici WebGIS-a istovremeno i u bilo koje vrijeme mogu pristupiti najnovijim informacijama.</p> <p>To omogućuje organizacijama da postanu učinkovitije, produktivnije i reaktivnije na svoje prostorne podatke.</p> <p>Prilikom korištenja se mogu koristiti mnoge značajke kao što su pomicanje, zumiranje, ispis, mogućnost prijenosa podataka i njihovo preklapanje na postojeću kartu, pretraživanje podataka po adresi, obrada podataka.</p> <p>Omogućuje svima a ne samo stručnjacima pristup i razumijevanje geoprostornih podataka jednostavno i sa manje napora. Korisnici, čak i ako nisu poznavaoi geoinformatike, mogu koristiti GIS alate usredotočene na podatke svoje specifične</p>	

	<p>struke.</p> <p>Za upravljanje podacima nisu potrebna vrlo jaka računala.</p> <p>Nema potrebe čuvati podatke na računalu jer su svi podaci pohranjeni u oblaku.</p>
SLABOSTI	<p>Dostupnost i performanse internetskog pristupa mogu biti problem, ali vjerojatno će se poboljšavati u budućnosti.</p> <p>Za implementaciju alata i ažuriranje podataka potrebni su stručnjaci koji su posebno posvećeni razvoju i održavanju skupova podataka o okolišu i funkcionalnosti WebGIS-a.</p>
MOGUĆNOSTI	<p>Zahvaljujući potencijalu Interneta i samog alata, trebalo bi biti moguće izvesti čak i složene analize i obrade vektorskih i rasterskih podataka na webu, surađujući s drugim korisnicima u bilo kojem trenutku.</p>
PRIJETNJE	<p>Dijeljenje podataka nije lak process.</p> <p>Korisnici GIS-a teže razvijaju vlastite skupove podataka. To na primjer znači, da oni možda ne znaju druge dostupne postojeće skupove podataka, pogreške koje su ispravili neki drugi korisnici. Pristup cjelovitim i pouzdanim skupovima podataka općenito je težak.</p> <p>Svaki GIS korisnik nije naviknut dijeliti skupove podataka s drugim sektorima i organizacijama. Neke poteškoće oko razmjene podataka uzrokovane su uobičajenom sumnjom u kvalitetu podataka trećih strana, pretpostavkom da se podaci mogu „pogrešno“ koristiti ako se dijele s trećom stranom, a njihovo vlasništvo može biti izgubljeno ili strahom da bi drugi korisnici mogli otkriti lošu kvalitetu svojih podataka.</p> <p>Stručnjaci koji su posebno posvećeni razvoju i održavanju skupova podataka o okolišu nisu uvijek dostupni u strukturi radnog tima; analitičari zaštite okoliša često rade i u fazi pripreme skupa podataka za određene zadatke kojima se bave. To može značiti da skupovi podataka nisu spremni za dijeljenje za opću upotrebu.</p>

PRIMJER PROVEDEN U AMIIGA PROJEKTU

AMIIGA WebGIS dostupan je na sljedećoj poveznici <http://131.175.56.100/lm/>. Izvedeno je sedam WebGIS projekata, po jedan za svako pilot područje, i samo AMIIGA partneri mogu pristupiti projektima pomoću osobne prijave i zaporke. WebGIS je dostupan s jednostavnog web preglednika na bilo kojem uređaju.

Sav softver instaliran je na poslužiteljskom računalu, a radi na Ubuntu 14.04 Instalaciji, a sve komponente u arhitekturi su Free and Open Source Software (FOSS). Arhitektura počinje od glavne komponente koja je QGIS, besplatni i otvoreni izvor Softver za geoprostor (FOSS4G). QGIS omogućuje obradu podataka i pohranjivanje svih slojeva u lokalnu bazu podataka. Odabrana baza podataka je PostgreSQL, s dodatkom PostGIS, specifično za rukovanje geoprostornim podacima. Druga komponenta arhitekture je QGIS Server, komponenta koja služi slojevima u QGIS projektu, dakle iz baze podataka, putem weba koristeći OGC standarde kao što su Web Map Service (WMS). Kako bi prikazala sve slojeve u web-pregledniku, arhitektura implementira dinamičnu komponentu nazvanu Lizmap koja generira WebGIS na temelju potreba korisnika.

Svi su partneri bili uključeni u aktivnosti prikupljanja podataka (praćenje karakteristika mreže, vrijednosti koncentracije, karakteristike vodonosnika itd.). Podaci prikazani u AMIIGA WebGIS su: pilot

područje i proširenje FUA; nadzor mrežnih karakteristika; krovina i podina vodonosnika; zona značajnih promjena hidrogeološkog karakteristika; rezultati ispitivanja hidrauličke provodljivosti; razine podzemne vode; koncentracije zagađivala; industrijska postrojenja; difuzne karte onečišćenja.

AMIIGA WebGIS za svakog partnera poboljšava učinkovitost analize podataka i interpretaciju konceptualnog modela, pojednostavljuje razmjenu podataka i informacija između institucija i tehničkih ureda s glavnim ciljem da se podrži i olakša proces donošenja odluka za upravljanje podzemnim vodama.

4. Zaključak

AMIIGA projektni alati mogu se sažeti u skladu s njihovim ciljevima. Sljedeće tablice pružaju pregled alata opisanog u prethodnom poglavlju.

Ciljevi AMIIGA alata

Tablica prikazuje ciljeve svakog alata, prema opisu u prethodnom poglavlju.

		CILJEVI			
		Analiza podataka kvalitete podzemne vode: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor PS / MPS	implementacija konceptualnog modela	odnos izvor-oblak i konceptualni model pronosa onečišćujućih tvari	odabir mjera sanacije i pisanje plana upravljanja
AMIIGA ALATI	ISTRAŽIVČKA ANALIZA PODATAKA	X			X
	BMT		X		X
	CSIA			X	X
	MODELIRANJE PRONOSA UNATRAG			X	X
	MULTIVARIJATNA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA				X
	WEBGIS				X

AMIIGA alati u pilot područjima

Tablica prikazuje pregled AMIIGA-ovih alata usvojenih u projektu i ciljeva postignutih u pilot područjima.

Pilot područje (PA)		PA1 (HR)	PA2 (SL)	PA3 (IT)	PA4 (IT)	PA5 (CZ)	PA6 (PL)	PA7 (DE)
Veličina pilot područja [ha]		6 500	7 000	15 740	600	3,1	2 475	530
Veličina FUA [ha]		26 000	25 100	52 100	58 594	3 750	20 190	4 810
Zrste zagađivača		Bakterije i nitrati	Cr VI, NO3, B, desetil- atrazin, novi zagađivač u nastajanju	PCE, TCE	PCE	CHC	Pesticidi, organska otapala	CHC
CILJEVI	Analiza podataka o kvaliteti podzemne vode: čišćenje baze podataka i identifikacija bušotina za nadzor PS / MPS			X	X		X	X
	Implementacija konceptualnog modela	X		X			X	X
	odnos izvora i oblaka te konceptualni model transporta zagađivala	X	X	X	X		X	X
	odabir mjera sanacije i pisanje plana upravljanja	X	X	X	X	X	X	X
AMIIGA ALATI	ISTRAŽIVAČKA ANALIZA PODATAKA		X	X				
	BMT		X		X	X	X	X
	CSIA		X	X	X	X	X	X
	MODELIRANJE PRONOSA UNATRAG	X		X				
	MULTIVARIJATNA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA	X		X				
	WEBGIS	X	X	X	X	X	X	X

POPIS LITERATURE

- 2011 - *FOKS Handbook for Integral Groundwater Investigation - Toolbox for the identification of key sources of groundwater contamination*
- D.T1.1.1, *WebGIS tool development for groundwater database management and open-access consultation*
- D.T1.1.2, *Guideline for statistical method and geostatistical analysis for GW quality studies at FUA*
- D.T1.1.3, *GW contamination modeling at FUA: “inverse iterative modeling” guideline for implementation and use*
- D.T1.1.4, *Technical protocol for statistical analysis coupled with transport modeling for GW pollution assessment*
- D.T1.2.4, *Final version of the CSIA technical protocol for GW pollution assessment and remedial evaluation*
- D.T1.3.4, *Final version of the BMTs technical protocol for remedial implementation and performance evaluation*
- D.T3.3.7 *Management Strategy on groundwater contamination in Functional Urban Areas of Central Europe*