



NÁVOD K POUŽITÍ AMIIGA NÁSTROJŮ PRO HODNOCENÍ ZNEČIŠTĚNÍ PODZEMNÍCH VOD VE FUNKČNÍCH MĚSTSKÝCH AGLOMERACÍCH

WP T1, Deliverable D.T1.4.3

Verze 2
10.2019



Obsah

1. ÚČEL DOKUMENTU	4
2. ÚVOD	5
3. NÁSTROJE AMIIGA	10
4. ZÁVĚR	26



SEZNAM ZKRATEK

BMT:	biologická molekulární metoda
BTEX:	benzen, toluen, ethylbenzen a xylen
CE:	chlorovaný ethen
CHC:	chlorovaný uhlovodík
cis-DCE:	cis-dichlorethylen
CSIA:	Izotopová analýza specifických sloučenin
DSS:	system pro podporu rozhodování
FUA:	funkční městská oblast
GIS:	geografický informační systém
GW:	podzemní voda/vody
MPS:	vícebodové zdroje
NGS:	metoda sekvenování nové generace
NPS:	nebodové zdroje
PCE:	perchlorethen
PCR:	metoda polymerázové řetězové reakce
PS:	bodové zdroje
qPCR:	metoda real-time polymerázová řetězová reakce
TCE:	trichlorethen
VC:	vinylchlorid



1. Účel dokumentu

Řešení znečištění podzemních vod (GW) v rozsáhlých oblastech iniciují buď dotčené orgány (Česká inspekce životního prostředí, Ministerstvo životního prostředí ČR) nebo správní úřady (vodoprávní úřad obcí z rozšířenou působností, krajské úřady apod.). Dotčené orgány mohou být provozovatelé zdrojů pitné či užitkové vody nebo orgány pověřené ochranou životního prostředí a správou GW. Tento dokument je určen odborníkům z výše zmíněných zúčastněných skupin a pro podporu jejich činnosti s cílem poskytnout jim následující kvalifikované nástroje a postupy pro:

- detekci rozsahu kontaminace GW
- objasnění původu a rozšíření kontaminace
- odhadnutí stupně antropogenního pozadí kontaminace
- kvantifikaci procesů přirozené degradace a atenuace (snižování kontaminace) v podzemních vodách, kdy bereme v úvahu doplňková remediační opatření pro dosažení cílové kvality GW.
- sdílení dat a informací podporujících rozhodovací proces pro implementaci managementu plánu GW.

V České republice je kvalita GW stanovena vyhláškou č.5/2011 o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, dle směrnice Evropského parlamentu o ochraně podzemních vod. V jednotlivých případech mohou příslušné úřady povolit výjimky, především s ohledem na principy proporcionality a přiměřenosti.

Nástroje prezentované v tomto dokumentu jsou inovativní a vhodné pro dosažení cílové kvality GW v případech difuzního znečištění. Jejich implementace vyžaduje určitou odbornou způsobilost jak na straně zúčastněných odborníků, tak uživatelů. Počet kvalifikovaných poskytovatelů služeb pro průzkum a vyhodnocení výsledků je velmi omezený. Je tedy důležité, aby byl uživatel schopen do detailu specifikovat rozsah služeb a posoudit technickou kvalitu návrhů řešení.

Tento dokument nabízí uživatelům přehled inovativních technologických perspektiv pro průzkumy difuzního znečištění GW a rozsáhlé kontaminace GW a umožňuje kvalifikované hodnocení výhod a omezení prezentovaných nástrojů. Poskytuje základ pro přesný popis odborných služeb, kompetentní dohled na implementaci a hodnocení kvality dosažených výsledků.

2. ÚVOD

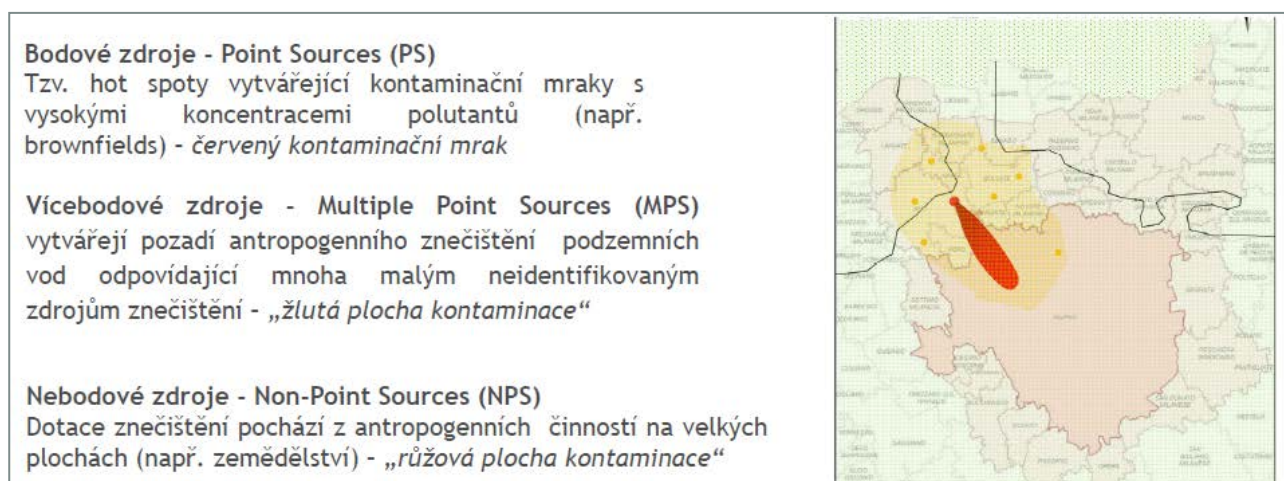
Neustálý vývoj městských aglomerací (včetně zastavěných ploch, předměstí a průmyslových zón) jde ruku v ruce s výskytem rozsáhlých oblastí se znečištěnou podzemní vodou, ve kterých je obtížné identifikovat zdroj kontaminace.

Nástroje AMIIGA jsou vhodné pro funkční městské oblasti (FUA dle OECD, 2012¹), které jsou složené z městského jádra a jeho sousedících zón, jejichž pracovní trh, rozvoj a environmentální problémy jsou úzce spojeny s městem.

V městských aglomeracích mohou existovat různé typy a rozsahy znečištění podzemních vod, které si dále budeme podrobněji definovat.

Typy znečištění podzemních vod

Obecně mohou být příčiny kontaminace podzemních vod rozděleny do tří skupin: a) **bodové zdroje (PS)**, tzv. "hot-spoty", které způsobují znečištění podzemních vod o vysokých koncentracích; b) **vícebodové zdroje (MPS)**, kde kontaminace pochází ze série bodových zdrojů, které uvolňují nižší množství kontaminantů - jsou tedy hůře identifikovatelné a jsou zodpovědné za difuzní kontaminaci podzemních vod, která může být definována též jako stupeň antropogenního pozadí kontaminace; c) **nebodové zdroje (NPS)**, kde kontaminanty pochází z rozvoje antropogenních aktivit na velkých územích (např. pesticidy ze zemědělské činnosti).



Obrázek 1: Typy zdrojů znečištění podzemní vody

Rozsah kontaminace

PS se obvykle vyskytují v kontaminovaných lokalitách, které reprezentují aktivně využívané či opuštěné průmyslové oblasti (např. tzv. brownfieldy). Kontaminace se může týkat buď pouze průmyslové oblasti, nebo se může šířit za její hranice do sektorů FUA (lokální rozsah znečištění, odpovídající rozsahem kontaminované lokality). MPS jsou často sdružené v poměrně velké oblasti (např. průmyslová zóna) a s nimi související kontaminace zasahuje celou FUA (střední rozsah znečištění odpovídající rozsahem funkční městské oblasti - FUA). NPS postihují rozsáhlé oblasti a související kontaminace musí být řešena na úrovni hydrogeologických rajonů, nebo vodních útvarů, která je větší než úroveň FUA, jež je její součástí.

¹OECD, 2012. Redefining "Urban": A New Way to Measure Metropolitan Areas. OECD Publ., pp. 1-9 <https://doi.org/10.1787/9789264174108-en>



Aby bylo možné garantovat kvalitu vody požadovanou např. vyhláškou č.5/2011 Sb., resp. směrnici Evropského parlamentu o ochraně podzemních vod (z roku 2006), je potřeba monitoring a remediační činnost plánovat. Opomenutí procesu plánování má obvykle výrazný ekonomický dopad (např. z důvodu nevhodného a omezeného rozsahu sanace, nedostatečné koordinace sanačních prací na jednotlivých lokalitách, rozšíření znečištění z neřešeného zdroje a následné znečištění již vyčištěné lokality apod.). Projekt AMIIGA se zaměřuje na typy znečištění rozsahem postihující území funkčních městských oblastí (FUA), protože kontaminace podzemních vod typu MPS vyžaduje intervenci na střední úrovni, která je současnou legislativou opomíjena; MPS se nachází v nedefinované zóně mezi nařízením EU pro nebodové zdroje a národní legislativou pro bodové zdroje. Ve FUA se často projevuje problém, že oblasti podléhající difúzní kontaminaci nemohou být obvykle řešeny běžnými sanačními technikami užívanými pro malé kontaminované lokality, a to zejména ze dvou důvodů: a) obtížná identifikace bodových zdrojů uvolňujících malé množství kontaminantů; b) velká rozloha kontaminovaných oblastí. Oba aspekty vyžadují alternativní přístupy, neboť standardní remediační postupy nejsou pro řešení difúzní kontaminace dostatečně efektivní a ekonomicky udržitelné. Výše uvedené okolnosti jsou úzce spjaté s městským a průmyslovým historickým vývojem v daných oblastech, kde jsou možné zdroje kontaminace (PS i MPS) často velmi staré a procházely mnoha změnami (např. vymístění průmyslu z městských center bez realizace nápravných opatření, nebo byla provedena pouze částečná sanace území atd.). V těchto případech je třeba, aby odpovědné orgány vyhodnotily úroveň kontaminace MPS ve FUA a byly schopny ji odlišit za účelem definování limitních hodnot pro realizaci lokální sanační činnosti, které jsou splnitelné.

Projekt AMIIGA staví na předešlém projektu Central Europe project FOKS (2008-2012). Hlavním cílem projektu FOKS bylo soustředit sanační úsilí především na klíčové zdroje kontaminace.

Konkrétní cíle projektu FOKS byly následující:

- demonstrace a aplikace inovativních nástrojů pro jednotné řízení rizik v oblasti podzemních vod v degradovaných oblastech, jako jsou kontaminované lokality a brownfieldy
- definování priorit opatření vedoucích ke snížení kontaminace v hlavních zdrojích kontaminace GW a půdy
- realizace pilotních aplikací a studií proveditelnosti sanačních postupů pro zdroje kontaminace
- rozpracování klíčových požadavků směrnice EU o ochraně podzemních vod pro rozsah území odpovídající kontaminovaným lokalitám a brownfieldům

Projekt FOKS zvládl ukázky a použití inovativních nástrojů pro jednotné řízení rizik způsobených znečištěnými podzemními vodami v degradovaných oblastech převážně lokálního rozsahu.

Nástroje pro jednotný přístup k řízení nápravy znečištěných podzemních vod, jako pasivní vzorkování, fingerprinting, modelování a backtracking, přístup založený na posuzování míry rizika a metody zpracovávání dat - byly demonstrovány během série výcvikových seminářů a úspěšně aplikovány na testovacích lokalitách projektu FOKS.

Projekt AMIIGA se zaměřil na větší znečištěná území než projekt FOKS - na tzv. funkční městské aglomerace (FUA), neboť kontaminace podzemních vod představuje problém, jenž přesahuje správní hranice místních orgánů veřejné moci. Hlavním cílem projektu AMIIGA je posílení plánovacích, řídicích a rozhodovacích kapacit veřejného sektoru ve vztahu ke správě GW ve FUA. Systém pro podporu rozhodování a nástroje připravené a implementované v rámci projektu FOKS na městské brownfieldy byly v projektu AMIIGA dále rozšířeny, aby vyhovovaly potřebám FUA.

Konkrétními úkoly projektu AMIIGA jsou tedy následující:

- 1) Poskytnout orgánům veřejné správy nástroje a postupy pro komplexní charakterizaci kontaminace podzemních vod ve FUA.
- 2) Poskytnout veřejným činitelům příklady použití inovativních sanačních biologických technologií pro zvýšení kvality podzemních vod ve FUA.



- 3) Zavedení Plánu řízení nápravy znečištěných GW (Management Plan) jako strategického nástroje pro regionální vodoprávní úřady.

Tento dokument si klade za cíl být praktickým průvodcem, který shrnuje využití nástrojů vyvinutých v projektu AMIIGA a FOKS, a pomáhá uživateli vybrat ty nejvhodnější pro konkrétní problém, jemuž musí čelit. Součástí tohoto cíle je Rozhodovací diagram (Schéma 1), kde jsou přehledně uvedeny všechny nástroje a jejich rozdělení pro úrovně FUA a kontaminované lokality. Zodpovězením následujících otázek a použitím Rozhodovacího diagramu může uživatel krok za krokem ověřit dostupné informace a vybrat užitečné nástroje, které povedou k bližšímu poznání charakteru kontaminace, což je nezbytné pro tvorbu vhodného Plánu řízení nápravy znečištěných podzemních vod (Management Plan).

Prvním krokem je na úrovni FUA i kontaminované lokality (resp. střední a lokální úrovni) sběr dat, který zahrnuje veškeré aktivity potřebné k získání všech dostupných informací užitečných pro hodnocení stavu kontaminace (např. charakteristika monitorovací sítě, hodnoty koncentrace, zvýšení podzemní vody, vlastnosti vodonosné vrstvy, historická data týkající se minulosti kontaminované lokality, atd.).

V rámci projektu FOKS se coby efektivní nástroj pro zlepšení datových analýz na úrovni kontaminované lokality osvědčil matematický nástroj pro zpracování a vyhodnocení dat - *gnostická analýza dat (FOKS gnostics)*. V rámci projektu AMIIGA, na úrovni FUA, pocházejí data ze soukromých, městských a regionálních zdrojů a datové soubory k analýze jsou velmi komplexní a objemné. Dlouhodobě sbíraná data hrají v monitoringu kontaminace klíčovou roli pro identifikaci zdroje a kontaminačního mraku. Z tohoto důvodu byly do nástroje FOKS *Gnostics* přidány běžné statistické nástroje, aby bylo možné do detailů studovat objemné datové soubory z FUA: pro uspořádání struktury databáze, detekci odlehlých hodnot, chyb a chybějících hodnot a identifikaci monitorovacích vrtů PS a MPS lze využít *explorační analýzu dat - exploratory data analysis* (viz D.T1.1.2).

Pro podporu **vytvoření koncepčního modelu** podzemních vod zavádí AMIIGA *Biologickou molekulární metodu (BMT)* - viz D.T1.3.4, k vyhodnocení schopnosti přirozených (tj. původních) mikrobiálních konsorcií degradovat určité kontaminanty *in situ*. BMT navíc poskytuje důkazy o průběhu podporované biologické degradace nebo popisuje dopad jednotlivých sanačních metod na původní mikroorganismy v různých fázích sanace.

Pro porozumění vztahům zdroj-kontaminační mrak a koncepčnímu modelu transportu kontaminantů přidává AMIIGA následující nástroje:

Izotopová analýza specifických sloučenin (CSIA) (viz D.T1.2.4) pro rozlišování zdrojů kontaminace, představující hodnotnou metodu identifikace PS zodpovědných za kontaminaci na lokální a střední úrovni a/nebo pro objasnění procesů degradace, což je předmětem zájmu sanačních záměrů;

Inverzní modelování transportu (Inverse transport model) (viz D.T1.1.3) pro prostorové vymezení hranic kontaminačního mraku, odlišení PS a MPS kontaminace podzemních vod, identifikaci oblasti s vysoce pravděpodobným výskytem MPS zodpovědných za difuzní kontaminaci a podporu implementace plánů správy zdrojů podzemních vod.

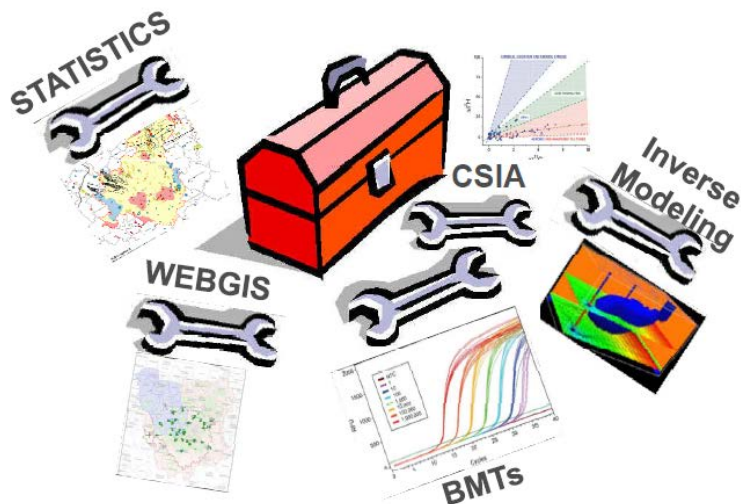
Multivariační a geostatistická analýza a WebGIS jsou nástroje AMIIGA vytvořené s cílem podpořit výběr opatření a sestavení Management Planu pomocí zlepšení procesu rozhodování (detailní informace viz D.T3.3.7). *Multivariační a geostatistická analýza umožňují specifikovat FUA zasažené MPS kontaminací a odhadnout hodnoty koncentrace difuzní kontaminace v rozsáhlých oblastech* (viz D.T1.1.2). *WebGIS představuje inovativní přístup ke sdílení dat a informací mezi institucemi a poskytovateli technických služeb, zlepšující vnitřní i vnější komunikaci, podporující a usnadňující rozhodování, napomáhající analýze dat a interpretaci koncepčního modelu* (viz D.T1.1.1).

Tento dokument obsahuje analýzu předností, slabín, možností a rizik (SWOT analýza - Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) nástrojů AMIIGA, která pomáhá uživatelům vyhodnotit přínos jednotlivých nástrojů pro zpracování dat, určit rozsah kontaminace podzemní vody, objasnit původ kontaminace (vztahy zdroj-kontaminační mrak), zdokonalit koncepční model, určit míru pozadí

antropogenního znečištění, vyhodnotit proces přirozené atenuace, plánovat a vybrat opatření a sanační činnosti.

Klíčové otázky pro výběr nástrojů AMIIGA:

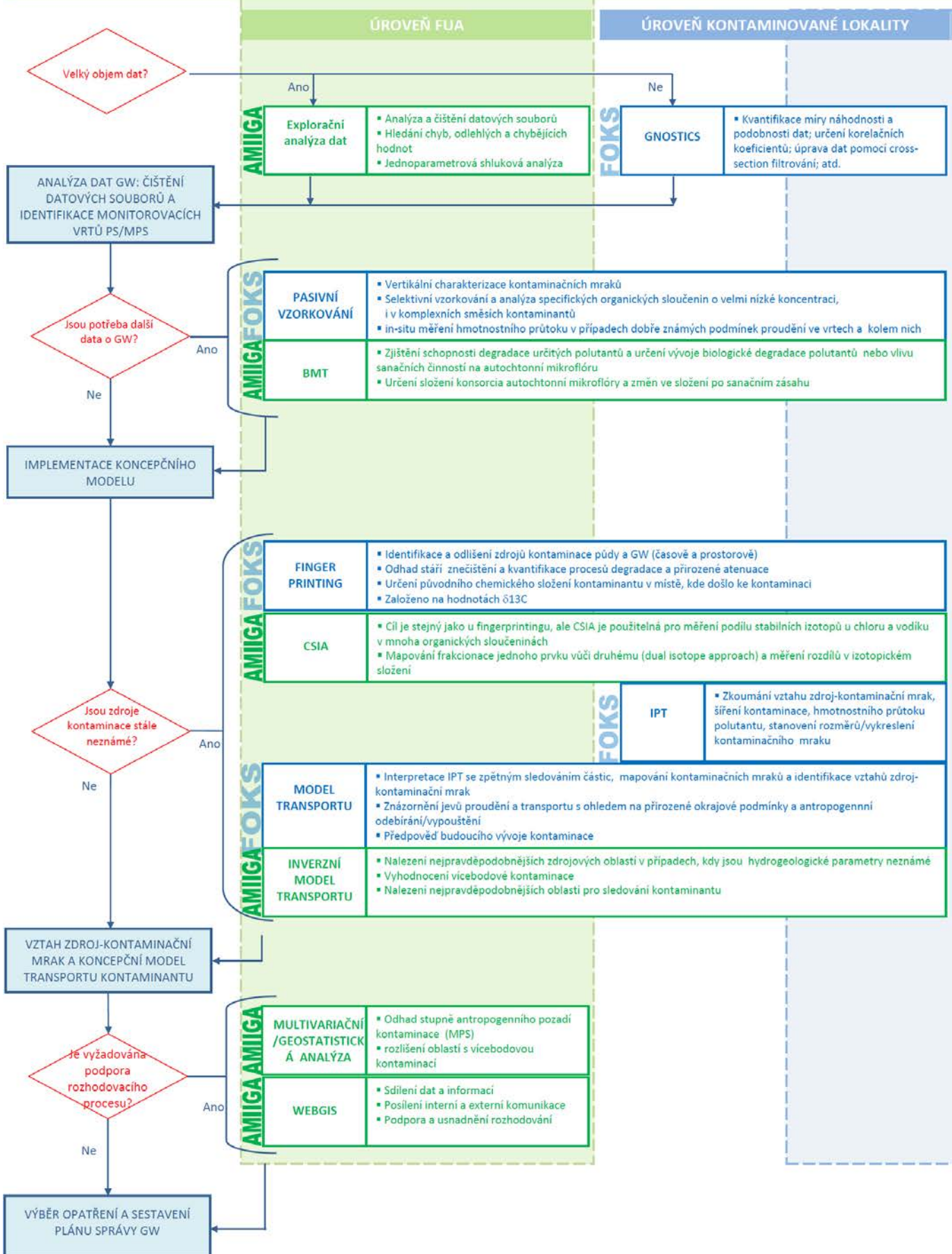
- ❖ Je na úrovni FUA k dispozici velký objem dat? Např. *Explorační analýza dat* může zlepšit analýzu dat o podzemních vodách FUA, včetně čištění dat a identifikace monitorovacích vrtů PS/MPS.
- ❖ Jsou zapotřebí další údaje o charakterizaci podzemních vod? Např. *BMT* může zlepšit návrh koncepčního modelu.
- ❖ Jsou zdroje kontaminace stále neznámé? Např. *CSIA* a *Inverzní modelování transportu* mohou objasnit vztahy zdroj-kontaminační mrak a zdokonalit koncepční model transportu kontaminantu.
- ❖ Je vyžadován proces podpory rozhodování? *Multivariační a geostatistická analýza a WebGIS* mohou podpořit rozhodovací proces výběru opatření a sestavení Management Planu.



Obrázek 2: Nástroje AMIIGA pro hodnocení znečištění GW ve funkčních městských aglomeracích



SCHÉMA č.1: ROZHODOVACÍ DIAGRAM NÁSTROJŮ AMIIGA





3. NÁSTROJE AMIIGA

Tato kapitola obsahuje analýzu silných a slabých stránek, možností a rizik (analýza SWOT) všech nástrojů AMIIGA, v rámci nichž byly zodpovězeny řídicí otázky uvedené níže v tabulce. Dále jsou zde uvedeny a popsány příklady použití z pilotních lokalit projektu AMIIGA, což čtenáři umožňuje pochopit použitelnost daného nástroje v různých souvislostech.

PŘEDNOSTI	<p>Jaké jsou výhody tohoto nástroje, případně výhody jeho kombinace s jinými nástroji, pro dosažení vybraných cílů?</p> <p>Jaký typ dat nástroj poskytuje pro každý cíl?</p> <p>Pro jaký druh cílů funguje lépe a proč?</p> <p>Jiné přednosti?</p>
SLABINY	<p>Jaké jsou slabiny a nevýhody tohoto nástroje?</p> <p>Jaké jsou jeho slabiny s ohledem na vybrané cíle?</p> <p>Které aspekty použití nejsou ošetřené?</p> <p>Pro které typy cílů je tento nástroj méně vhodný a proč?</p> <p>Jiné slabiny?</p>
MOŽNOSTI	<p>Jaké další výhody přináší uživateli využití tohoto nástroje?</p> <p>Je možné zvýšit efektivitu daného nástroje?</p>
RIZIKA	<p>Jaké nežádoucí situace mohou nastat v rámci přizpůsobování nástroje vybranému cíli?</p> <p>Může nastat problém s efektivitou?</p> <p>Může nastat problém s přijetím nástroje?</p>



EXPLORAČNÍ ANALÝZA DAT (D.T1.1.2)

Popis: Explorační analýza dat obsahuje statistické analytické metody (čištění datových sad, chybějící hodnoty, deskriptivní analýza, jednoparametrová shluková analýza) používané na úrovni FUA k analýze objemných (časově a prostorově) a víceparametrových datových souborů (např. hodnot koncentrace kontaminantů). Zahnuje veškeré činnosti potřebné k detekci odlehých hodnot, chyb a chybějících hodnot, aby bylo možné identifikovat "hot-spoty" a odlišit monitorovací vrty PS od vrtů difuzní kontaminace (MPS).

Použitelnost: Objemné datové soubory na úrovni FUA, např. hodnoty koncentrace kontaminantů či úroveň hladiny GW, pocházející z různých zdrojů (soukromých, městských a regionálních).

Kombinace s dalšími nástroji: Metoda jednoparametrové shlukové analýzy dokáže rozlišit monitorovací vrty "hot-spotů" (PS) od vrtů difuzní kontaminace (MPS), deterministický a inverzní modelování transportu pak poskytují informace o distribuci kontaminačního mraku v dané oblasti. Společně pak tyto nástroje mohou prohloubit pochopení koncepčního modelu transportu kontaminantu a prostorové distribuce difuzní kontaminace, což podpoří rozhodovací proces pro správu GW, např. v oblasti volby monitorovací sítě.

CÍLE	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS	X
	vytvoření koncepčního modelu	
	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	
	výběr opatření a sepsání management planu GW	X
PŘEDNOSTI	<p>Zkoumání dat probíhá na úrovni FUA, umožňuje analýzu objemných a komplexních datových souborů a dat sbíraných v průběhu mnoha let.</p> <p>Metody výzkumu dat detekují odlehlé hodnoty, chyby a chybějící hodnoty v objemných datových souborech.</p> <p>Jednoparametrová shluková analýza třídí výsledky pozorování do vzájemně odlišných nesouvisejících skupin.</p> <p>Identifikuje "hot-spoty" kontaminace a umožňuje odlišit monitorovací vrty bodových zdrojů (PS) od vrtů kontaminovaných difuzní kontaminací z vícebodových zdrojů (MPS).</p>	
SLABINY	<p>Před použitím statistických metod je nezbytné provést komplexní sběr dat a přípravu datových souborů. Tato fáze vyžaduje značné úsilí v případě nedostatečné homogenity dat z různých institucí a nutnosti zainteresovat instituce samotné, aby poskytovaly informace vhodným způsobem.</p> <p>Různé způsoby čištění datových souborů (detekce chyb, kontroly konzistence a řešení chybějících dat) mohou poskytovat různé výsledky, proto je nesmírně důležité věnovat procesu čištění dat velkou pozornost.</p> <p>Je-li to možné, čištění dat by mělo být omezeno na minimum.</p> <p>Chybějící hodnoty (např. není-li v rámci vrtu dostupná hodnota koncentrace pro některý ze sledovaných parametrů) mohou výrazně ovlivnit výsledky některých metod. Problém obvykle nastává, chybí-li více než 30 % hodnot, a v takových případech musí být přijato rozhodnutí, jak se s chybějícími hodnotami vypořádat.</p>	
MOŽNOSTI	<p>Tento nástroj upozorňuje na nedostatky v monitorovací síti GW a může identifikovat nové oblasti s potenciálními zdroji kontaminace. Státní orgány jej mohou implementovat za účelem výběru monitorovací sítě a analytické sady, zvýšení spolehlivosti výsledků a optimalizace efektivity vybraných opatření.</p>	



RIZIKA	Výsledky musejí být ve shodě s koncepčním modelem (hydrogeologická struktura, proudění GW, „osud“ a transport kontaminantu). Jinak hrozí, že dojde k použití statistických metod bez ohledu na vlastnosti monitorovacích bodů.
---------------	--

PŘÍKLAD APLIKACE V PROJEKTU AMIIGA

Pilotní oblast Milano (IT)

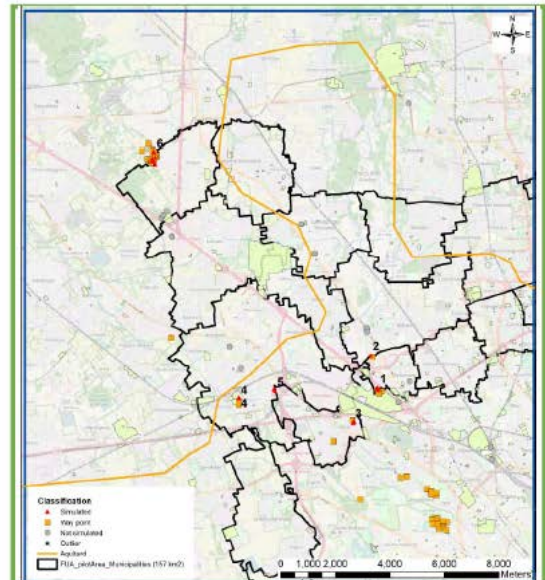
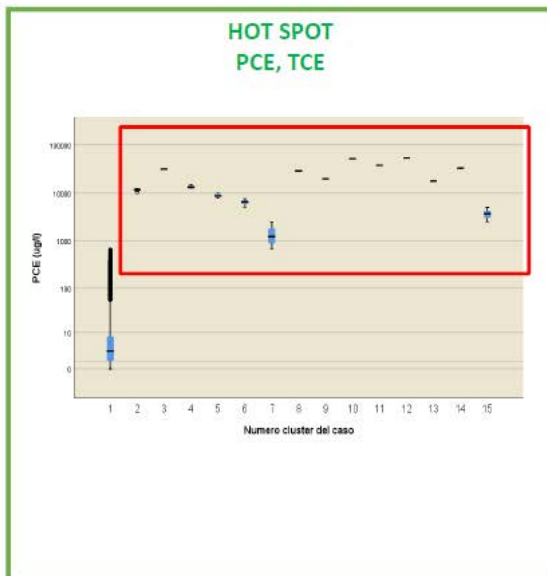
Explorační analýza dat byla použita ve FUA v Miláně, kde byly posuzovány dvě vodonosné vrstvy (mělká a hluboká). Datový soubor se skládal z hydrochemických dat dostupných z monitorovací sítě o cca 2000 vrtech.

Shluková analýza aplikovaná na více než 45000 záznamů hodnot koncentrace PCE v GW umožnila detekci odlehklých hodnot a odlišení monitorovacích vrtů kontaminovaných bodovými zdroji (PS) od vrtů kontaminovaných difúzní kontaminací z vícebodových zdrojů (MPS). Numerický model transportu zohlednil identifikaci „hot-spotů“ (monitorovacích vrtů PS) a identifikované monitorovací vrty kontaminace MPS.

Výsledky rovněž podpořily rozhodovací proces pro správu GW, konkrétně s cílem upozornit na nedostatky v monitorovací síti a identifikovat oblasti, v nichž je třeba zřídit nové monitorovací vrty.



MONOPARAMETER CLUSTER ANALYSIS



Obrázek 3: Použití metody clusterové analýzy pro identifikaci bodových zdrojů znečištění



BMT - Biologická Molekulární Metoda (D.T1.3.4)

Popis: BMT je bio-molekulární nástroj používaný pro charakterizaci autochtonních bakteriálních konsorcií pomocí pokročilých genetických metod (metoda real-time PCR a metoda sekvenování nové generace). Specifické bakteriální kmeny nebo enzymy mohou být analyzovány pomocí metody real-time PCR, zatímco komplexní bakteriální konsorcia mohou být popsána pomocí metody NGS. Typickým úkolem pro BMT je ověřit přítomnost bakteriálních druhů nebo skupin schopných metabolizovat specifické kontaminanty přítomné v půdě nebo v podzemních vodách, a odhadnout jejich množství. Kromě toho je prostřednictvím BMT možné identifikovat explicitní cesty biodegradace a propojit je s produkty biologického rozkladu nebo vedlejšími produkty. Pokud je jako klíčová metoda sanace *in situ* zvolena biologická degradace, je nezbytné charakterizovat pomocí BMT schopnost autochtonních bakteriálních konsorcií metabolizovat kontaminanty, tj. určit specifické bakteriální kmeny nebo enzymy.

Použitelnost: BMT je použitelná pro diagnostiku probíhajících procesů biologické degradace v podzemních vodách a v půdě na kontaminované lokalitě. Na základě přítomnosti a množství specifických biologických markerů lze přesněji rozhodnout o další remediaci kontaminačního mraku. Pokud je například množství bakterií schopných biodegradace příliš nízké, může být jednoduše zvýšeno přidáním vhodného substrátu; nebo konsorcia schopná biodegradace ve velkém množství mohou být přenesena do vrtů se špatným biodegradačním potenciálem. Je také možné analyzovat mikrobiální konsorcia ve formě biofilmu na nosičích biomasy ponořených v kontaminované vodonosné vrstvě.

Kombinace s jinými nástroji: analýza BMT v kombinaci s chemickou analýzou, CSIA, fyzikálními parametry a geologickými informacemi je silným nástrojem pro hodnocení přirozené atenuace anebo zvýšených bioremediačních aktivit v kontaminovaných oblastech.

CÍLE	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů PS/MPS	
	vytvoření koncepčního modelu	X
	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	
	výběr opatření a sepsání management planu GW	X
PŘEDNOSTI	<p>BMT zahrnuje velmi přesnou analýzu širokého spektra bakteriálních druhů nebo enzymů v komplexních environmentálních vzorcích. V kombinaci s dalšími nástroji (CSIA, chemická analýza) poskytuje silný nástroj pro popis kontaminované lokality a hodnocení její biologické aktivity.</p> <p>BMT poskytuje relativní hodnoty založené na specifickém množství bakterií pro charakterizaci podzemní vody. Na základě toho je možné předpovědět metabolickou schopnost mikroflóry ve vzorku a především schopnost degradovat kontaminanty za anaerobních/aerobních podmínek. V neposlední řadě je možné předpovědět, zda má podzemní voda podmínky vhodné pro biodegradaci (např. přítomnost sulfát-redukujících nebo denitrifikačních bakterií).</p> <p>Analýza qPCR je cílená, rychlá a nákladově efektivní, zatímco NGS analýza poskytuje komplexnější obraz o mikrobiální komunitě in situ. Kombinace těchto dvou metod proto vede k nejlepšímu hodnocení lokality.</p>	
SLABINY	<p>Hlavní slabinou BMT je obtížnost extrakce genetického materiálu (DNA). Některé vzorky mohou obsahovat vysokou koncentraci chemických sloučenin interferujících do izolace DNA. To může ovlivnit výtěžnost a kvalitu izolované DNA a tím i výsledky BMT. Je možné pouze měřit relativní úroveň markerů (specifických genů) v období odběru vzorků a vyhodnotit, jak remediační procedura ovlivňuje autochtonní bakterie. Pro interpretaci výsledků jsou nezbytné odborné znalosti místních podmínek (CSIA a chemické analýzy).</p> <p>Dosud nebyly vyvinuty qPCR markery pro detekci přítomnosti biodegradace širokého spektra kontaminantů v životním prostředí. Stále existuje velké množství neznámých specifických bakterií nebo enzymů, které by mohly být důležité v procesech biologické degradace.</p>	



	Přesné zpracování dat NGS je závislé na pečlivé práci bioinformatika, což může být problematické, protože kvalitních bioinformatiků je obecně nedostatek.
MOŽNOSTI	Výsledky BMT nám umožňují lépe pochopit mikrobiální aktivity na kontaminované lokalitě. Data BMT ukazují potenciál sanované lokality biodegradovat znečištění. Dále lze podle nich předpovědět aplikovatelnost zvolené procedury a korigovat počet aplikací chemického čištění. Spektrum specifických markerů se neustále zvětšuje díky probíhajícímu výzkumu metabolismu bakterií. Účinnost BMT by mohla být zvýšena kombinací s dalšími metodami (CSIA, chemická a fyzikální analýza, geologické informace).
RIZIKA	Největším rizikem je nízká kvalita DNA ze vzorku a příliš nízká úroveň testovaných markerů. Oba tyto faktory silně ovlivňují výsledky BMT a musí být interpretovány velmi pečlivě.

PŘÍKLAD APLIKACE V PROJEKTU AMIIGA

Pilotní oblast Parma (IT)

BMT analýza byla aplikována ve FUA Parma, kde znečištění podzemní vody (BTEX, CE) bylo způsobeno nesprávným provozem čerpací stanice pohonných hmot. V prosinci 2017 a květnu 2018 se ve FUA uskutečnily dvě vzorkovací kampaně pro metodu BMT.

Během odběru vzorků byly měřeny fyzikální parametry (např. pH, oxidačně-redukční potenciál a vodivost).

Výsledky BMT ukázaly vzrůstající trend celkové bakteriální biomasy ve 2. vzorkování (řádově až tisíckrát vyšší množství). To lze vysvětlit vyšší hladinou podzemní vody a také sezónností. Byli jsme schopni detekovat denitrifikační (*nirK* gen) a sulfát-redukující (*dsrA* gen) bakterie, které potvrzují redukční podmínky. Nízké hladiny bakterií degradující BTEX za anaerobních podmínek (gen *bssA*) s mírně vyšší hladinou bakterií degradující BTEX za aerobních podmínek (gen DEF/G) v obou cyklech vzorkování potvrdily probíhající degradaci BTEX. Přítomnost organohalidových respiračních bakterií (*bvcA*, *vcrA* geny, *Dehalococcoides* sp., *Desulfitobacterium* sp., *Dehalobacter* sp.) nebyla pozorována (na enzymové úrovni, ani na úrovni bakteriálního rodu). Protože koncentrace CE byly nízké, pravděpodobně byla detekována pouze mírně aktivní organohalidová respirace, ale nebyly nalezeny žádné VC reduktázy. Na této lokalitě nebyla detekována prokazatelná reduktivní dehalogenace, takže můžeme spekulovat, že k ní došlo prostřednictvím aerobních a kometabolických drah, které nemohly být detekovány pomocí našich primerů.

Níže uvedené tabulky ukazují šest vrtů ve dvou kolech vzorkování (prosinec 2017 - vlevo, květen 2018 - vpravo) a specifickou detekci biodegradace. Celková bakteriální biomasa (U16SRT), vinylchlorid reduktázy (*bvcA*, *vcrA*), *Dehalococcoides* sp. (DHC-RT), *Desulfitobacterium* sp. (Dsb), *Dehalobacter* sp. (Dre), sulfát-redukující bakterie (*dsrA*), denitrifikační bakterie (*nirK*), bakterie degradující HCH (*linA*) a BTEX (DEF/G, *bssA*).

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

Výhodou BMT v tomto příkladu je nejlepší přehled o lokalitě. Tyto analýzy byly považovány za další monitoring, který pomohl společně s chemickými analýzami a CSIA porozumět biologickým procesům na lokalitě. Na základě analýzy BMT bylo navrženo doporučení pro další krok sanace. Pro lokalitu Parma byla navržena substrátová aplikace pro zlepšení mikrobiální komunity (metoda biologicky podpořená dehalogenace).



CSIA - Izotopová analýza specifických environmentálních polutantů (D.T1.2.4)

Popis: CSIA může být aplikována za účelem rozlišení zdrojů kontaminace a rozšíření znalostí o vztazích zdroj-kontaminační mrak. Představuje tedy hodnotný nástroj pro identifikaci kontaminovaných lokalit zodpovědných za znečištění v cílové oblasti (úroveň FUA nebo úroveň kontaminované lokality). Díky výsledkům CSIA je možné zpřesnit koncepční model transportu kontaminantu a odlišit kontaminační mraky (PS) od difuzní kontaminace (MPS). CSIA dále umožňuje určit, zda probíhají procesy přirozené atenuace a zda jsou schopné degradovat dané kontaminanty, což je předmětem zájmu sanačních záměrů.

Použitelnost: Prostřednictvím CSIA je v dnešní době možné stanovit podíl stabilních izotopů uhlíku, chloru a kyslíku u mnoha organických kontaminantů. V závislosti na laboratorních přístrojích, vybraných izotopech a zkoumaných sloučeninách lze stanovit minimální hodnoty koncentrace kontaminantu přibližně 5 až 100 µg/l.

Kombinace s ostatními nástroji: CSIA může být aplikována společně s dalšími nástroji jako např. BMT, zvláště pro aplikace monitorované přirozené atenuace (MNA) a pro návrh a sledování strategií podporované bioremediace. Tímto způsobem usnadňuje rozhodovací proces pro řízení nápravy znečištění GW, co se týče např. výběru sanačních činností, které budou schválené pro použití na úrovni FUA nebo úrovni kontaminované lokality.

CÍLE	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS	
	vytvoření koncepčního modelu	
	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	X
	výběr opatření a sepsání management planu GW	X
PŘEDNOSTI	<p>Změny v poměru stabilních izotopů (izotopová frakcionace) mohou jednoznačně dokázat přítomnost degradace kontaminantů v GW a poskytnout informace pro kvantifikaci biodegradace.</p> <p>Použití těchto nástrojů umožňuje lépe pochopit chování kontaminantů v GW, jakožto i význam biologické a fyzikální transformace (např. abiotické procesy, rozpustnost).</p> <p>CSIA kvantifikuje izotopické složení specifických kontaminantů, čímž poskytuje doplňující a často unikátní prostředky k vymezení a odlišení zdrojů organických sloučenin. CSIA dále napomáhá identifikovat transformační reakce a kvantifikovat množství degradovaného kontaminantu, což umožňuje předpovídat budoucí vývoj kontaminace.</p>	
SLABINY	<p>Při odběru a uchovávání vzorků pro CSIA je nezbytné dodržovat osvědčené postupy, aby nedošlo k biodegradaci či abiotické transformaci kontaminantů. V opačném případě může být ohrožena správnost výsledků.</p> <p>V závislosti na laboratorních přístrojích, vybraných izotopech a zkoumaných sloučeninách je pro stanovení třeba minimální hodnoty koncentrace kontaminantu přibližně 5 až 100 µg/l.</p> <p>Problém použití může představovat též analytická nejistota CSIA, neboť mezi analytickými metodami používaných v různých laboratořích mohou být výrazné odlišnosti. Je na zodpovědnosti uživatele, aby vyhodnotil, zda je pro danou aplikaci míra nejistoty přijatelná. Za účelem zefektivnění tohoto nástroje a umožnění porovnání výsledků mezi různými laboratořemi by měly být vytvořeny Evropské analytické předpisy.</p> <p>Další omezení se týkají použití CSIA pro vyhodnocení biodegradace, jako např. nejistoty spojené s přítomností více zdrojů znečištění, souboru více kontaminantů v lokalitě, ale také méně významných jevů jako např. sorpce/desorpce.</p>	

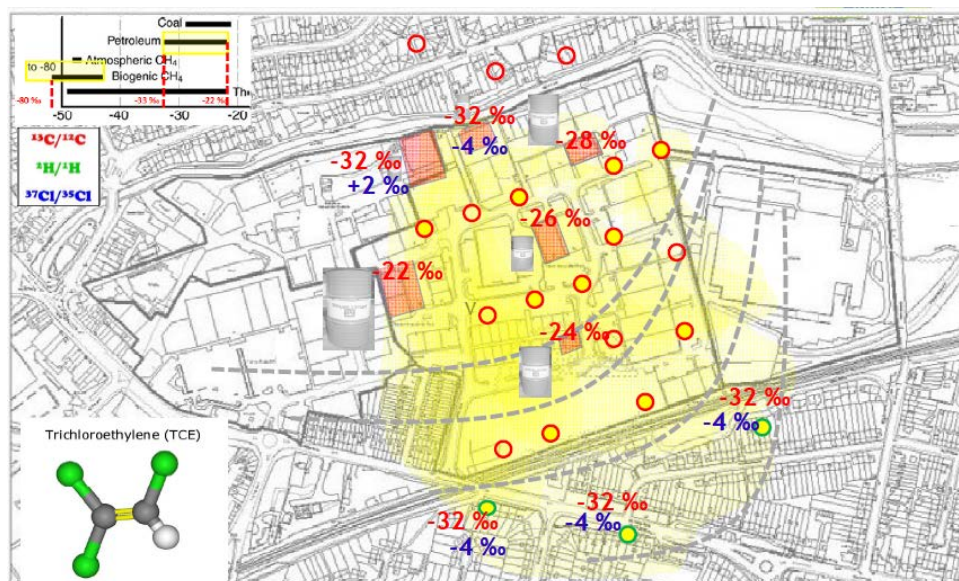
	Důležitou otázkou představuje též správné stanovení isotopového otisku zdroje, protože již mohlo dojít k odstranění zdroje, nebo zatím nebyl identifikován.
MOŽNOSTI	Rutinní používání CSIA pro charakterizaci kontaminovaných lokalit a FUA poskytnete data potřebná k patřičnému vyhodnocení procesů přirozené atenuace či postupů sanačních činností. Dále umožní potvrzení či zdokonalení koncepčního modelu kontaminace, což podpoří předpovídání vývoje kontaminace v čase.
RIZIKA	<p>Osvědčeným postupem před odběrem vzorků GW je čištění (purging) vrtů. Není-li vrt před odběrem vyčištěn, načerpaná GW nemusí představovat reprezentativní vzorek, což vede k nesprávným výsledkům.</p> <p>Doporučuje se minimalizovat ztrátu těžkých kontaminantů omezením vystavení vzorku GW vlivu atmosférického kyslíku. Jak známo, kyslík může snadno degradovat rozpuštěné organické látky. Dále se doporučuje stabilizace vzorku přidáním baktericidů, aby nedošlo k degradaci během uchování vzorku.</p> <p>Pro strategie vzorkování je nutné zevrubně chápat hydrogeologický koncepční model a znát síť monitorovacích vrtů, a to především proto, aby byla správně vybrána místa odběru a známa hloubka odběru GW. Používání monitorovacích vrtů s odlišnou délkou perforací nebo v různých hloubkách často vede k chybné interpretaci dat, neboť dochází ke kombinování dat pocházejících z různých geologických jednotek.</p>

PŘÍKLAD APLIKACE V PROJEKTU AMIIGA

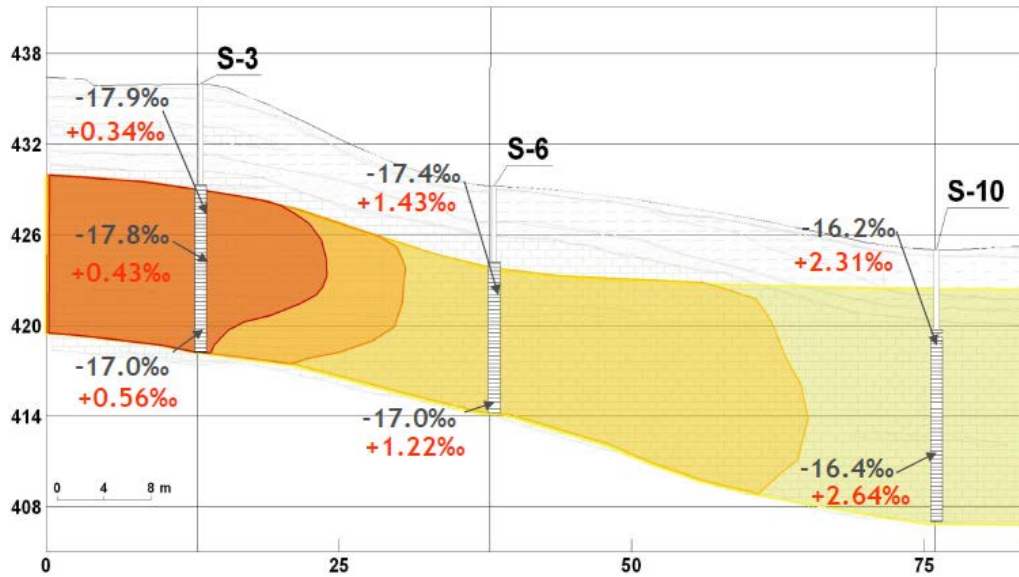
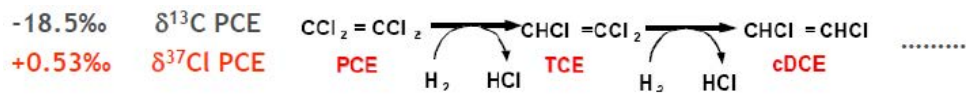
Pilotní oblast Milano (IT)

Nástroje CSIA byly aplikovány v pilotní oblasti Milano (IT) s cílem přesnějšího odlišení hranic kontaminačního mraku vůči difuzní kontaminaci. Byla použita různá složení stabilních izotopů PCE (uhlíku [^{13}C] a chlóru [^{37}Cl]), aby bylo možné rozeznat, zda byla kontaminace součástí určitého kontaminačního mraku nebo šlo o difuzní kontaminaci. Data CSIA byla využita k vypracování přesnějších koncepčních modelů několika lokalit v pilotní oblasti, a kdykoli to bylo možné, pomohla odhalit zdrojové zóny či zóny potenciálně zodpovědné za kontaminaci.

Druhotným cílem bylo vyhodnocení procesů biodegradace, a obecněji pak přirozené atenuace cílových kontaminantů jako např. PCE. Izotopová složení TCE a cis-DCE byla použita nejen pro zjištění množství PCE a odhalení jeho degradačních drah, ale také ke zkoumání, zda je na vybraných lokalitách TCE produktem degradace či primárním kontaminantem.



Obrázek 4: Použití metody CSIA pro zjištění zdroje znečištění v monitorovacím vrtu



Obrázek 5: Použití metody CSIA při prokázování biodegradace znečištění



INVERZNÍ MODEL TRANSPORTU - INVERSE TRANSPORT MODEL (D.T1.1.3)

Popis: Inverzní model transportu může být aplikován za účelem vyhodnocení vlivu parametrů nejistoty charakterizace hydraulických vlastností vodonosné vrstvy na simulaci transportu. Uvážíme-li různé možné distribuce těchto parametrů (např. hydraulická vodivost, porozita atd.), je možné určit ty nejpravděpodobnější z nich a následně pak nejpravděpodobnější dráhy kontaminantů. Tato technika může být využita jak pro sledování kontaminace od zdroje (je-li znám) v nejpravděpodobnějším směru toku (tzv. forward tracking), tak pro zpětné sledování, kdy se začíná u kontaminovaných monitorovacích vrtů a pokračuje zpět proti směru toku (tzv. backward tracking), aby byly nalezeny nejpravděpodobnější zdroje (nejsou-li známy). Inverzní modelování transportu umožňuje prohlubování znalostí o vztahu kontaminační mrak-zdroj a díky vyhodnocení nejistot posiluje koncepční model transportu. Představuje silný nástroj pro podporu rozhodování o monitorovacích, výzkumných a plánovacích činnostech ve vztahu ke kontaminaci GW.

Použití: Přístup inverzního modelování transportu vyvinutý v projektu AMIIGA by měl být používán pro oblasti středního rozsahu (FUA), kde se může vyskytovat mnoho zdrojů zodpovědných za kontaminaci GW. Může být rovněž využit pro lokalizaci PS i MPS. V projektu AMIIGA je používán pro vyhledání nejpravděpodobnější oblasti zdroje kontaminace proti směru proudění GW vůči monitorovacím bodům (pro PS a MPS) nebo pro vymezení advekčního transportu kontaminantu ve směru proudění od potenciálních zdrojů (PS). Pro model proudění byl v projektu AMIIGA použit softwarový program MODFLOW, pro sledování částic program MODPATH, pro vygenerování polí program K a pro inverzní modelování program PEST a pro modelování advekce a disperze pak program MT3DMS. Mohou být ovšem využity jakékoli jiné numerické kódy pro proudění GW a modelování transportu. Klasický (tj. deterministický) kalibrovaný model proudění je pro použití tohoto nástroje nezbytný.

Kombinace s ostatními nástroji: Je-li aplikován v kombinaci se statistickými nástroji, zvyšuje schopnost lokalizace zdrojů kontaminace. V kombinaci s modelem transportu (advekce a disperze) zvyšuje způsobilost pro hodnocení pravděpodobnosti výskytu potenciálních zdrojů a dosahu kontaminačních mraků.

CÍLE	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS	
	vytvoření koncepčního modelu	
	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	X
	výběr opatření a sepsání management planu GW	X
PŘEDNOSTI	<p>Přítomnost zdrojů vícebodové kontaminace (MPS), které způsobují difuzní kontaminaci GW ve FUA, musí být řešena pomocí nekonvenčních sanačních zásahů. MPS jsou ze své podstaty neznámé zdroje a klasické modely transportu nejsou schopné postihnout difuzní kontaminaci jimi způsobenou. Inverzní model však tento typ kontaminace simulovat dokáže. Z tohoto důvodu je nepostradatelným nástrojem pro vyhodnocování a předpovídání vývoje kontaminace a efektivní plánování jejího řešení.</p> <p>Inverzní modelování může být dále použito ke zjištění nejpravděpodobnějších PS zodpovědných za jednotlivé kontaminační mraky, neboť pomocí zpětného sledování (backward tracking) umožňuje určit nejpravděpodobnější oblasti kontaminace.</p> <p>Použití není nikterak omezeno, nástroj lze aplikovat na jakékoli chemikálie přítomné v GW.</p>	
SLABINY	<p>Aby bylo možné podrobně zkoumat nejistotu spojenou s hydrogeologickými vlastnostmi, bylo by užitečné pro každý inverzní model uvažovat více parametrů. V současné době však lze pracovat pouze s jedním až čtyřmi parametry, abychom se vyvarovali potíží s nestabilitou modelu nebo výsledků nekalibrovaného modelu. Předpokládá se, že kapacita inverzního modelování poroste souběžně s výkonem výpočetní techniky.</p> <p>Výstupní data jsou často objemná (tzv. bigdata - např. počet částic procházejících elementem výpočetní sítě, v různých vrstvách pro každou simulaci) a jejich analýza</p>	



	<p>je v prostředí GIS poměrně složitá (tzn. pro pravděpodobnostní analýzu četnosti a analýzu prostorové pravděpodobnosti je vhodné použít vlastní jednoúčelový software).</p> <p>Momentálně není dostatek IT specialistů se zkušenostmi požadovanými pro implementaci inverzních modelů.</p>
MOŽNOSTI	<p>Prediktivní analýza nejistot pomůže státním orgánům optimalizovat veřejné ekonomické zdroje tím, že budou upřednostněny oblasti, které jsou pravděpodobně zodpovědné za difuzní kontaminaci. Výsledky inverzního modelu transportu též upozorní na oblasti, v nichž by měla být vylepšena monitorovací síť, aby bylo možné lépe zkoumat „osud“ difuzní kontaminace. Řízení jímání zdrojů GW pro veřejné využití může být rovněž vylepšeno, pokud bude zohledňovat přítomnost shluků MPS proti směru gradientu.</p>
RIZIKA	<p>Výsledky by měly být pečlivě analyzovány a musí být v souladu s koncepčním modelem lokality (hydrogeologická struktura, proudění GW, „osud“ a transport polutantu). Potenciálním rizikem je, že výsledky inverzního modelu závisí na kalibrovaném numerickém/deterministickém modelu, který je základem jeho aplikace, tj. počáteční podmínkou pro inverzní iteraci.</p>

PŘÍKLAD APLIKACE V PROJEKTU AMIIGA

Pilotní oblast Milano (IT)

Inverzní model transportu byl použit v části FUA Milán za účelem identifikace oblastí s vysokou pravděpodobností výskytu potenciálních MPS. Na základě kalibrovaného deterministického modelu bylo nezbytné vygenerovat 400 různých distribucí hodnot hydraulické vodivosti (dále pole K). Z těchto distribucí bylo 11 vyloučeno, protože nevyhovovaly cílům kalibrace, a za použití těchto polí K model nemohl správně vystihnout rozložení piezometrických výšek.

Zbývající kalibrované modely (389) vykazovaly drobné rozdíly v hodnotách K, a vzhledem k tomu, že všechny správně vystihovaly rozložení piezometrických výšek, byly všechny uváženy coby stejně pravděpodobné (tj. stejně správné). Každý z nich byl pak použit pro zpětné sledování částic z monitorovacích vrtů, o nichž již bylo díky provedené Explorační analýze dat známo, že byly kontaminované difuzní kontaminací. Z těchto vrtů byly pro fázi zpětného sledování vybrány ty, jejichž průměr hodnot PCE byl vyšší než 10 µg/l (dle standardů pro pitnou vodu je limit 10 µg/l). Protože je zpětné sledování částic citlivé na počáteční hloubku, určení jejich počáteční lokace se odvíjelo od pozice perforace. Pro každý vrt byla částice umístěna do střední hloubky každé vrstvy protnuté sledovaným úsekem. V každém modelu pak byly částice zpětně sledovány na základě simulované piezometrické výšky. Různé cesty následované stejnou částicí ve 389 simulacích vedly kvůli různým polím K generovaným ve výše zmíněném procesu k různému rozložení piezometrických výšek. Určením počtu částic, které prošly každým elementem výpočetní sítě ve všech 389 simulacích, bylo možné získat mapy četnosti výskytu částice v každé úrovni zvodnělé vrstvy: v elementech výpočetní sítě s nejvyšším výskytem částic je vyšší pravděpodobnost výskytu zdroje difuzní kontaminace (tj. MPS). Tento výsledek je považován za reprezentativní ve FUA s nejvyšší pravděpodobností výskytu MPS zodpovědných za difuzní kontaminaci pozorovanou v monitorovacích vrtech.

Inverzní modelování transportu bylo použito též k identifikaci oblastí s nejvyšší pravděpodobností výskytu potenciálních PS. Postup generování K-polí a stejně pravděpodobných modelů byl shodný s výše popsaným. V tomto případě byly však částice přidávány jen do vrtů, které vykazovaly vysoké koncentrace PCE a nespádaly mezi vrty zahrnuté do difuzní kontaminace (Explorační analýzy dat), tedy pouze body, které mohly být zasažené kontaminačním mrakem.

Dále byl aplikován softwarový program MODPATH pro vygenerování zpětně sledovaných advekčních drah proudění pro modely sestavené na základě polí K. Poté byly vytvořeny mapy zobrazující počet zpětně sledovaných částic, které prošly každým elementem v každém kalibrovaném modelu. Tento výsledek je považován za reprezentativní ve FUA s nejvyšší pravděpodobností výskytu PS zodpovědných za kontaminaci. Výsledky byly porovnány s deterministickým modelem transportu (tj. kontaminační mrak ve FUA) a hydrochemickými výsledky získanými během vzorkování v rámci projektu AMIIGA.



MULTIVARIAČNÍ A GEOSTATISTICKÁ ANALÝZA (MULTIVARIATE AND GEOSTATISTICAL ANALYSIS) (D.T1.1.2)

Popis: Multivariační analýza (analýza hlavních komponent, faktorová analýza, víceparametrová shluková analýza, regresní analýza) a geostatistická analýza jsou statistické metody odlišné od metod Explorační analýzy dat, které podporují analýzu dat a rozhodovací proces pro správu GW (tj. podpora určování priorit, výběr opatření) na střední úrovni (FUA) za účelem odhadnout stupeň antropogenní kontaminace (MPS) a rozlišit podoblasti s různou mírou difuzní kontaminace v rámci jedné FUA.

Multivariační analýza: hodnocení hlavních komponent datových souborů (např. hlavní kontaminanty) a modelů difuzní kontaminace

Geostatistická analysis: hodnocení prostorové distribuce difuzní kontaminace

Použití: Multivariační analýza je tvořena souborem statistických metod, které mohou být použity, je-li na každém monitorovacím vrtu provedeno několik měření nebo analýz. Multivariační analýza může být použita na různé druhy měřených parametrů (např. koncentrace polutantů, vlastnosti vody atd.) s ohledem na jejich prostorové rozložení v rámci každého monitorovacího vrtu.

Tuto analýzu lze použít, jsou-li ve FUA dostupné 2 monitorovací vrty pro každých 100 ha. Metody multivariační analýzy mohou být aplikovány pro jakékoli situace na lokalitě, jako např. detekce šíření kontaminace, charakterizace lokality, monitoring sanace a její ukončení. Geostatistické metody mohou být použity v kombinaci s výsledky multivariační analýzy, aby lépe reflektovaly environmentální data, která jsou často zkreslená, shluklá a prostorově provázaná.

Kombinace s ostatními nástroji: Za pomoci výsledků multivariační a geostatistické analýzy v kombinaci s výsledky deterministického a inverzního numerického modelu transportu lze rozlišit oblasti PS od MPS a získat informace o míře difuzní kontaminace. Tyto informace podporují rozhodovací proces pro správu GW s cílem stanovení požadovaných hodnot koncentrace difuzní kontaminace.

CÍLE	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS	
	vytvoření koncepčního modelu	
	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	
	výběr opatření a sepsání management planu GW	X
PŘEDNOSTI	<p>Obvykle je v kontaminovaných oblastech v každém vrtu souběžně měřeno více proměnných, které mohou vzájemně korelovat. Je třeba odhalit překrývající se informace, aby bylo možné pochopit základní souvislosti. Cílem mnoha přístupů multivariační analýzy je tedy zjednodušení, snaha vyjádřit, co se děje v rámci zredukované množiny (např. skupina kontaminantů, které se chovají podle stejného modelu).</p> <p>Metody multivariační analýzy studují časový vývoj parametrů a vztahů mezi různými parametry.</p> <p>Multivariační analýza umožňuje hodnocení hlavních komponent datových souborů (např. hlavních kontaminantů) a vzorců difuzní kontaminace, která se může vyskytovat ve FUA, a stanovení požadovaných hodnot koncentrace difuzní kontaminace.</p> <p>Prostorová interpolace (geostatistická analýza) odhaduje neznámé hodnoty na specifických místech za použití hodnot známých pro jiné body.</p> <p>Geostatistická analýza pomáhá vyhodnotit prostorovou distribuci difuzní kontaminace.</p> <p>Výsledky multivariační a geostatistické analýzy podporují rozhodovací proces pro správu GW na střední úrovni (FUA).</p>	
SLABINY	Jakmile je dokončen sběr dat, finální datový soubor je třeba před analýzou zkontrolovat, validovat a připravit, i když byl výzkumný projekt správně zorganizován a proveden. Pro přípravu dat je vyžadováno několik kroků: úprava a kódování dat (např. kontrola chyb či chybějících dat) a čištění dat (viz nástroj Explorační analýza	



	dat). Homogenní prostorová a časová distribuce dat analýzu usnadňuje. Zvýšení hustoty prostorových a časových dat posiluje spolehlivost výsledků.
MOŽNOSTI	Jsou-li aplikovány pokaždé na stejnou monitorovací síť, výsledky multivariační a geostatistické analýzy mohou být použity k monitorování vývoje kontaminace.
RIZIKA	Výsledky musí být v souladu s koncepčním modelem (hydrogeologická struktura, proudění GW, „osud“ a transport polutantu). Potenciální riziko představuje použití statistických metod bez uvážení vlastností monitorovacích vrtů (např. hloubky a délky perforace). V současné době je v geostatistické analýze složité vybrat nejlepší metodu prostorové interpolace pro široký rozsah georeferenčních dat. Výběr adekvátní metody s parametry vhodnými pro danou aplikaci je tedy zásadní. Různé metody mohou poskytnout poměrně odlišná prostorová znázornění; je zapotřebí důkladné znalosti těchto jevů, aby bylo možné vyhodnotit, co se nejvíce blíží realitě. Použití nevhodných metod či nevhodných parametrů může vyústit ve zkreslený model prostorové distribuce, což dále může vést k chybným rozhodnutím.

PŘÍKLAD APLIKACE V PROJEKTU AMIIGA

Pilotní oblast Milano (IT)

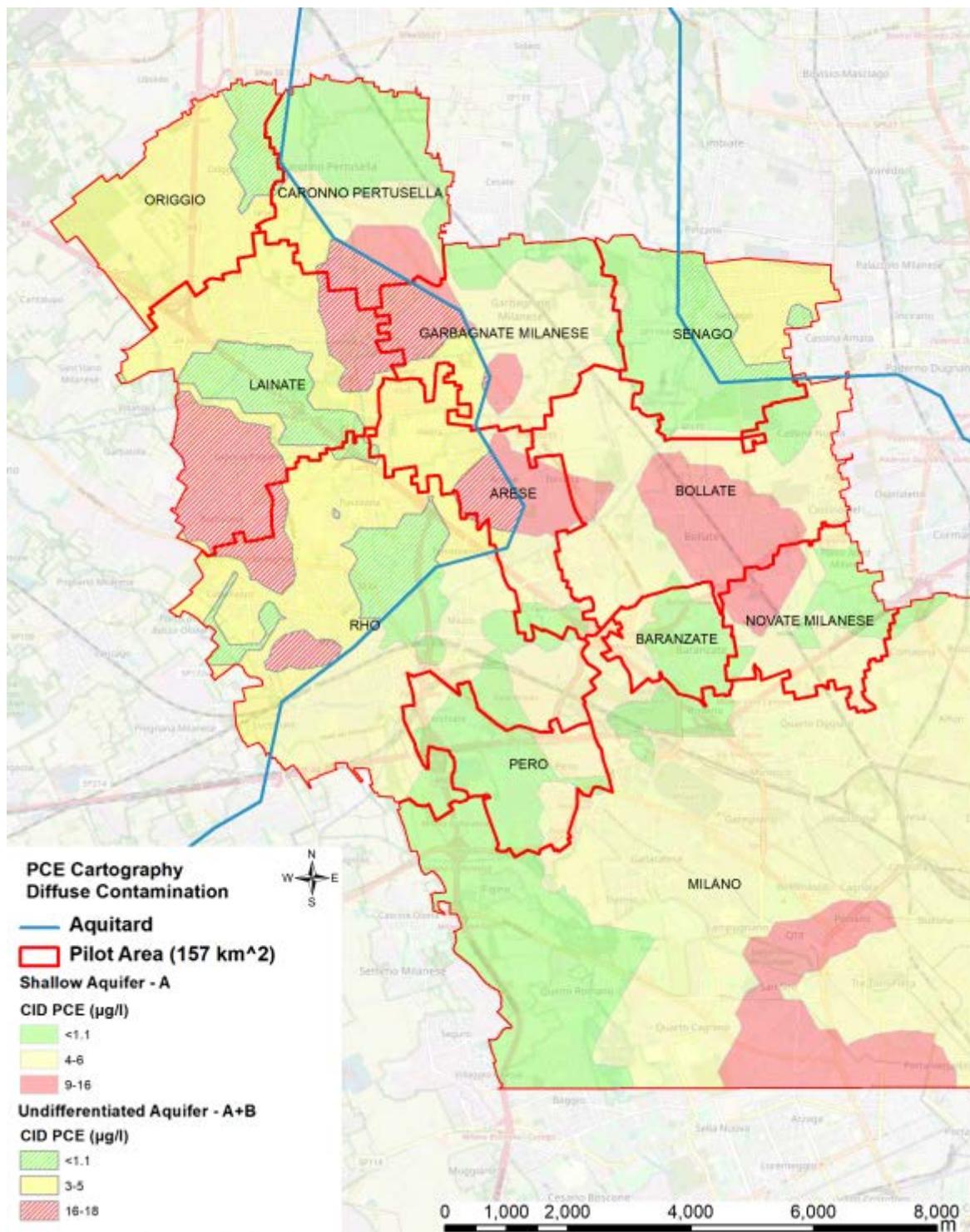
Multivariační a geostatistická analýza byly použity ve FUA Milan, kde byly posuzovány dvě vodonosné vrstvy (mělká a hluboká). Datový soubor se skládal z hydrochemických dat dostupných z monitorovací sítě o cca 2000 bodech.

Pomocí víceparametrové shlukové analýzy byly porovnávány vztahy mezi koncentračními profily různých kontaminantů. Coby zástupce difuzní kontaminace PCE bylo identifikováno 5 shluků (skupin), které představovaly velkou skupinu měření pozadových hodnot. Vlastnosti a průměrný časový vývoj PCE těchto 5 shluků byly detailně studovány.

S využitím geostatistické analýzy pak byla zkoumána prostorová distribuce těchto 5 shluků a nejreprezentativnější shluk z každé zóny byl identifikován pomocí multivariační analýzy. Takto bylo možné zdůraznit, že ojedinělá hodnota difuzní kontaminace v rámci studované oblasti nepředstavovala nehomogenitu distribuce difuzní kontaminace, ale více hodnot pozadové koncentrace již musí být v rámci FUA zohledněno.

Statistická a geostatistická analýza v kombinaci s výsledky numerického a inverzního modelu transportu umožňuje rozlišit oblasti PS a MPS a zajistila nejreprezentativnější hodnoty koncentrace difuzní kontaminace ve FUA Milano.

Výsledky podpořily rozhodovací proces pro správu GW, aby bylo možné naplánovat opatření a identifikovat nové oblasti s potenciálními zdroji kontaminace, které budou sledovány.



Obrázek 6: Stanovení limitů pro odlišení vícebodového difuzivního (MPS) znečištění od bodových zdrojů (PS)



WEBGIS (D.T1.1.1)									
<p>Popis: WebGIS je nástroj, který může být použit pro zobrazení a zpracování dat na internetu. Nabízí prostředek pro přístup k informacím a jejich sdílení online. Zvyšuje efektivitu analýzy dat a interpretace koncepčního modelu, umožňuje sdílení dat a informací mezi institucemi a poskytovateli technických služeb. Hlavním cílem je zobrazení dat v mapě, umožnit diskuzi o datech/výsledcích a podpořit a usnadnit rozhodovací proces pro správu GW.</p> <p>Použitelnost: Úroveň FUA. Dostupnost a výkon internetového připojení musí být dostatečné.</p> <p>Kobinace s dalšími nástroji: Výsledky Explorační analýzy dat, chemické analýzy, hladin GW, BMT, CSIA, inverzního a deterministického modelu transportu, multivariační a geostatistické analýzy mohou být zobrazeny současně nebo v různých kombinacích, za účelem hlubšího pochopení koncepčního modelu sledované oblasti.</p>									
CÍLE	<table border="1"> <tr> <td>analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS</td> <td></td> </tr> <tr> <td>vytvoření koncepčního modelu</td> <td></td> </tr> <tr> <td>vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů</td> <td></td> </tr> <tr> <td>výběr opatření a sepsání management planu GW</td> <td>X</td> </tr> </table>	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS		vytvoření koncepčního modelu		vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů		výběr opatření a sepsání management planu GW	X
analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS									
vytvoření koncepčního modelu									
vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů									
výběr opatření a sepsání management planu GW	X								
PŘEDNOSTI	<p>WebGIS je volně přístupný nástroj pro prezentaci dat.</p> <p>WebGIS je neomezeně dostupný na různých platformách, úroveň přístupu jsou autorizované (přes uživatelské jméno a heslo). To znamená, že je možné spravovat oprávnění pro určité uživatele či skupiny, aby jim byl povolen přístup k určitým podskupinám dat či map.</p> <p>Umožňuje publikovat a sdílet vícevrstvá data v jedné webové mapě.</p> <p>Zvyšuje efektivitu analýzy dat a interpretace koncepčního modelu.</p> <p>Je užitečným nástrojem pro sdílení dat a informací mezi institucemi a poskytovateli technických služeb, zlepšení interní a externí komunikace a spolupráce, podporu a usnadnění rozhodování.</p> <p>Informace mohou být pravidelně aktualizovány, díky čemuž mají všichni uživatelé WebGIS kdykoli přístup k aktuálním informacím.</p> <p>Umožňuje organizacím, aby byly efektivnější, produktivnější a schopné reagovat na prostorová data.</p> <p>Nabízí funkce jako panning (pro pohyb v mapovém poli), zooming (přiblížení), tisk, možnost nahrát data a překrýt jimi již existující mapu, hledání dat dle adresy, mohou být implementována zpracovávaná data.</p> <p>Umožňuje komukoli, nejen expertům, snadný přístup ke geoprostorovým datům. Nejsou-li uživatelé geoinformatici, mohou použít nástroje GIS se zaměřením na obor jim vlastní.</p> <p>Není třeba příliš výkonného počítače.</p> <p>Není třeba uchovávat data na počítači, neboť jsou všechna data ukládána na cloudech.</p>								
SLABINY	<p>Slabou stránkou je dostupnost a výkon připojení k internetu, což se ale pravděpodobně do budoucnalepší.</p> <p>Pro implementaci nástroje a aktualizaci informací je třeba profesionálů, kteří se věnují vývoji a údržbě environmentálních datových souborů a funkcionalitě WebGIS.</p>								
MOŽNOSTI	<p>Díky potenciálu internetu a nástroje jako takového by mělo být možné provádět komplexní analýzu a zpracování vektorových a rastrových dat na webu, kdykoli a ve</p>								



	spolupráci s ostatními uživateli.
RIZIKA	<p>Sdílení dat není snadný proces.</p> <p>Uživatelé GIS mají tendenci vytvářet si vlastní datové soubory, což způsobuje např., že nemusejí vědět o dalších dostupných datových souborech nebo chybách opravených jinými uživateli. Obecně je složité dostat se ke kompletním a spolehlivým datům.</p> <p>Ne každý uživatel GIS je zvyklý sdílet data s jinými sektory a organizacemi. Některé obtíže se sdílením jsou zapříčiněny obecnou nedůvěrou ve kvalitu dat třetí strany, předpokladem, že data mohou být nesprávně použita třetí stranou, nebo obavou, že by další uživatelé odhalili nedostatečnou kvalitu jejich dat.</p> <p>Ne vždy jsou součástí týmu profesionálové, kteří se věnují vývoji a údržbě environmentálních datových souborů; environmentální analytici často pracují na fázi přípravy datových souborů pro určité úkoly, které řeší. Z toho vyplývá, že datové soubory nejsou připravené ke sdílení pro obecné použití.</p>

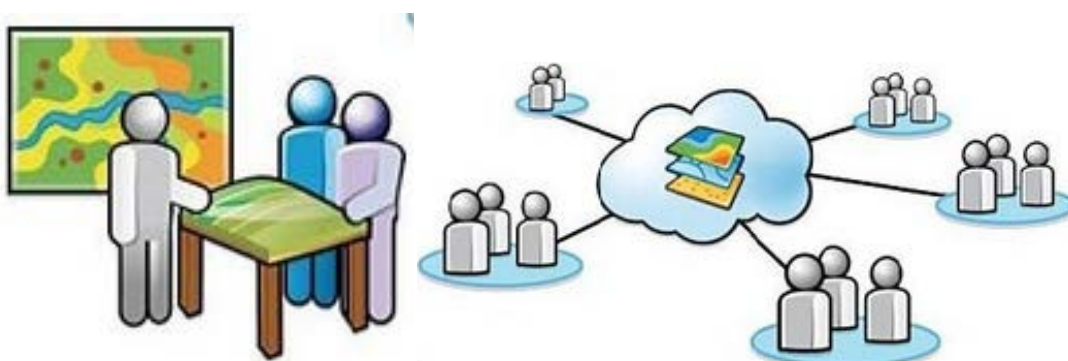
PŘÍKLAD APLIKACE V PROJEKTU AMIIGA

AMIIGA WebGIS je dostupný pod následujícím odkazem: <http://www.webgis-amiiga.polimi.it>. Bylo provedeno sedm WebGIS projektů (tedy jeden pro každou pilotní oblast), které jsou přístupné pouze pro partnery AMIIGA po přihlášení před přihlašovací jméno a heslo. WebGIS je dostupný z jednoduchého webového prohlížeče na jakémkoli zařízení.

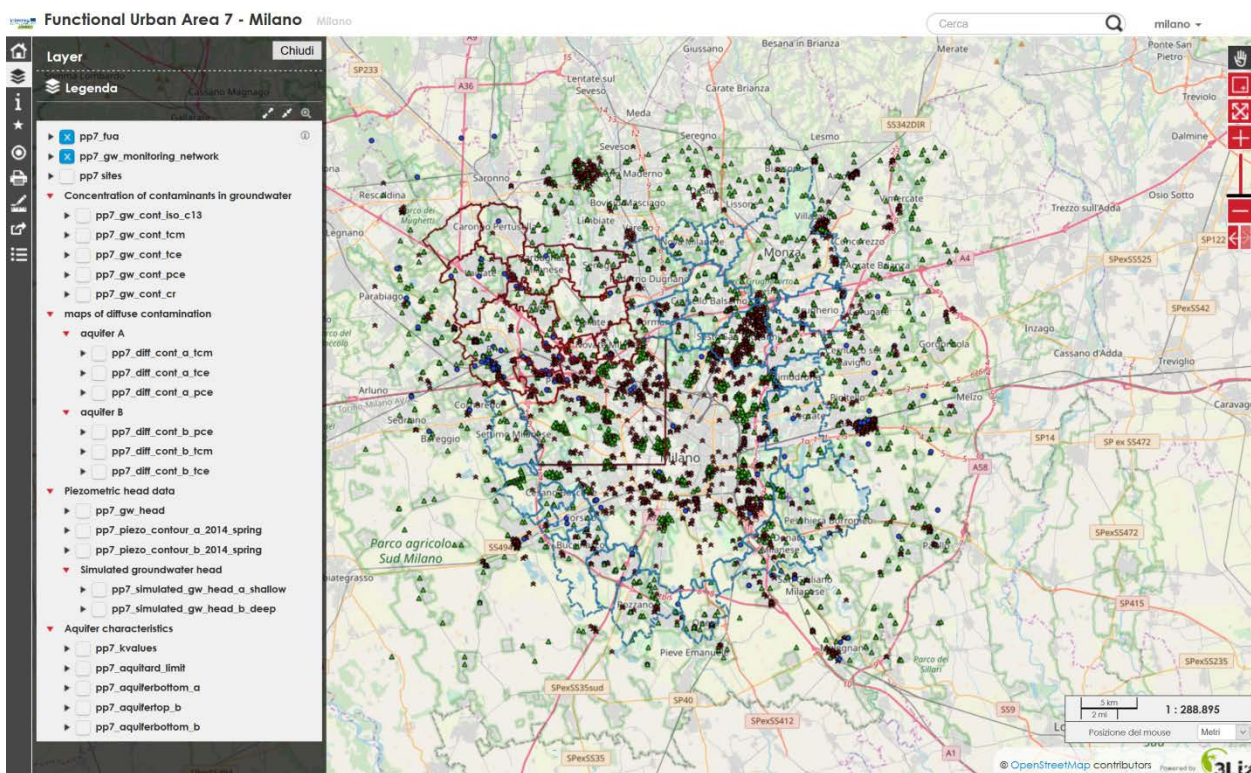
Veškerý software je instalován na serveru běžícím na Ubuntu 14.04 Installation, a všechny komponenty jsou Free and Open Source Software (FOSS), tedy tzv. svobodné a otevřené. Architektura začíná hlavní komponentou QGIS, Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G). QGIS umožňuje zpracování dat a ukládání všech vrstev v lokální databázi. Vybranou databází je PostgreSQL s rozšířením PostGIS, které je určeno pro geoprostorová data. Další komponentou architektury je QGIS Server, který obsluhuje vrstvy v projektu QGIS, a to od databází až po weby používající OGC standardy jako Web Map Service (WMS). Pro zobrazení všech vrstev ve webovém prohlížeči je v architektuře implementována dynamická komponenta Lizmap, generující WebGIS založený na potřebách uživatelů.

Do činností spojených se sběrem dat byli zapojeni všichni partneři (vlastnosti monitorovací sítě, hodnoty koncentrace, vlastnosti vodonosné vrstvy, atd.). Data zobrazená na AMIIGA WebGIS jsou: pilotní oblast a rozšíření FUA; vlastnosti monitorovací sítě; hladina a dno zvodně; zóny výrazných změn v rozložení hydrogeologických dat; výsledky testování hydraulické vodivosti; izoliny a bodová data piezometrické výšky; koncentrace kontaminantů; průmyslové a výrobní lokality; mapy difuzní kontaminace.

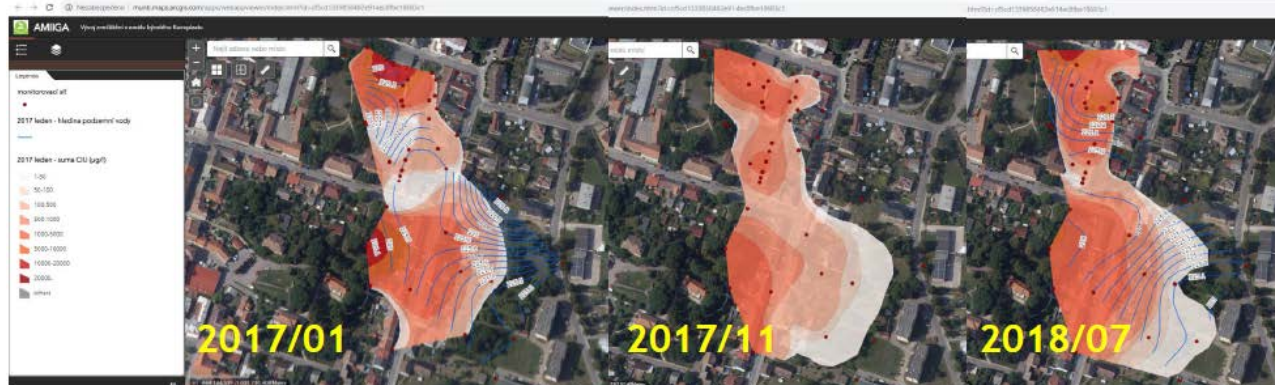
AMIIGA WebGIS zvyšuje efektivitu analýzy dat a interpretace koncepčního modelu, zjednodušuje sdílení dat a informací mezi institucemi a poskytovateli technických služeb, s hlavním cílem podpořit a usnadnit rozhodovací proces pro správu GW.



Obrázek 7: Příklad použití WebGIS aplikace pro sdílení a znázornění informací o lokalitě



Obrázek 8: Příklad použití WebGIS aplikace pro znázornění monitorovacích vrtů ve FUA Milan



Obrázek 9: Příklad použití WebGIS aplikace pro znázornění vývoje znečištění na lokalitě v Novém Bydžově



4. Závěr

Nástroje projektu AMIIGA mohou být shrnuty podle jejich cílů. Následující tabulky poskytují přehled nástrojů popsaných v předchozí kapitole.

Cíle nástrojů AMIIGA

Tabulka obsahuje cíle jednotlivých nástrojů dle popisu v předchozí kapitole.

		CÍLE			
		analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS	Vytvoření koncepčního modelu	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	výběr opatření a sestavení management planu GW
NÁSTROJE AMIIGA	EXPLORAČNÍ ANALÝZA DAT	X			X
	BMT		X		X
	CSIA			X	X
	INVERZNÍ MODELOVÁNÍ TRANSPORTU			X	X
	MULTIVARIAČNÍ A GEOSTATISTICKÁ ANALÝZA				X
	WEBGIS				X



Nástroje AMIIGA v pilotních oblastech

Tabulka obsahuje přehled nástrojů AMIIGA přijatých v rámci projektu a cílů dosažených v pilotních oblastech.

Pilotní oblast (PA)	PA1 (HR)	PA2 (SL)	PA3 (IT)	PA4 (IT)	PA5 (CZ)	PA6 (PL)	PA7 (DE)
Rozloha pracovní plochy [ha]	6 500	7 000	15 740	600	3,1	2 475	530
Rozloha FUA [ha]	26 000	25 100	52 100	58 594	3 750	20 190	4 810
Typ kontaminantů	Bakterie, nitráty	Cr VI, NO3, B, desethyl-atrazin, nově se objevující polutanty	PCE, TCE	PCE	CHC	Pesticidy, organická rozpouštědla	CHC
CÍLE	analýza GW dat: čištění datových sad a identifikace monitorovacích vrtů kontaminovaných PS/MPS		X	X		X	X
	vytvoření koncepčního modelu	X	X			X	X
	vztah mezi zdrojem a kontaminačním mrakem a koncepční model transportu kontaminantů	X	X	X	X	X	X
	výběr opatření a sepsání management planu GW	X	X	X	X	X	X
NÁSTROJE AMIIGA	EXPLORAČNÍ ANALÝZA DAT		X	X			
	BMT		X		X	X	X
	CSIA		X	X	X	X	X
	INVERZNÍ MODELOVÁNÍ TRANSPORTU	X		X			
	MULTIVARIÁČNÍ A GEOSTATISTICKÁ ANALÝZA	X		X			
	WEBGIS	X	X	X	X	X	X



LITERATURA

- 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, *Závěrečná verze technického protokolu BMT k remediační implementaci a hodnocení výkonnosti*
- D.T3.3.7 *Management Strategy on groundwater contamination in Functional Urban Areas of Central Europe*