

# Przewodnik / wytyczne dotyczące doboru narzędzi służących do oceny i usuwania zanieczyszczenia wód podziemnych

---

WP T1, Rezultat D.T1.4.3

Data wydania  
10.2019

---

## SPIS TREŚCI

1. CEL DOKUMENTU .....	4
2. WPROWADZENIE I POJĘCIA PODSTAWOWE .....	5
3. NARZĘDZIA DO ANALIZY WÓD PODZIEMNYCH ZASTOSOWANE W RAMACH PROJEKTU AMIIGA.....	10
4. PODSUMOWANIE .....	25

## SKRÓTY:

BMT:	Narzędzie do analizy z dziedziny biologii molekularnej
BTEX:	Benzen, toluen, etylobenzen i ksylen
CE:	Chlorowany eten
CHC:	Chlorowany węglowódór
cis-DCE:	Cis-dwuchloroeten
CSIA:	Analiza stabilnych izotopów specyficznych
DSS:	System wspierający proces podejmowania decyzji
FUA:	Miejski obszar funkcjonalny
GIS:	Geograficzny system informacyjny
GW:	Wody podziemne
MPS:	Rozproszone ognisko zanieczyszczenia
NGS:	Sekwencjonowanie nowej generacji
NPS:	Obszarowe ognisko zanieczyszczenia
PCE:	Tetrachloroeten
PCR:	Reakcja łańcuchowa polimerazy
PS:	Punktowe ognisko zanieczyszczenia
qPCR:	Reakcja łańcuchowa polimerazy w czasie rzeczywistym
TCE:	Trichloroeten
VC:	Chlorek winylu

## 1. Cel dokumentu

Ciągły rozwój obszarów miejskich (w tym obszarów zurbanizowanych, podmiejskich oraz przemysłowych) jest związany z występowaniem rozległych terenów o dużym stopniu zanieczyszczenia wód podziemnych, w przypadku których ogniska zanieczyszczenia są trudne do zidentyfikowania.

Narzędzia zastosowane w ramach projektu AMIIGA są odpowiednie dla funkcjonalnych obszarów miejskich (FUA, OECD, 2012), złożonych z centralnego obszaru miejskiego i jego stref podmiejskich - ściśle zintegrowanych z obszarem centralnym w zakresie rynku pracy, rozwoju a także problemów środowiskowych.

Dla około 70% ludności Polski wody podziemne stanowią podstawowe źródło zaopatrzenia w wodę do spożycia<sup>1</sup>. Zasoby wód podziemnych są wspólnym dobrem regionów i krajów wymagającym ochrony przed degradacją.

Dla działań w zakresie ochrony i poprawy stanu wód podziemnych oraz ekosystemów bezpośrednio od nich zależnych - niezbędnych nie tylko dla zachowania zdrowia i życia, ale także wymaganych prawem - konieczna jest współpraca ponadlokalna, bowiem zbiorniki wód podziemnych nie posiadają granic administracyjnych. Ramowa Dyrektywa Wodna i akty prawa krajowego związane z gospodarowaniem wodami nakładają na państwa członkowskie UE obowiązek opracowania i wdrożenia programów ochrony wód podziemnych w celu osiągnięcia i utrzymania ich dobrego stanu. Dla osiągnięcia celów Ramowej Dyrektywy Wodnej w zakresie ochrony i poprawy stanu wód podziemnych i zaopatrzenia ludności w wodę odpowiedniej jakości wyznaczono jednostkowe obszary gospodarowania wodami podziemnymi - tzw. jednolite części wód podziemnych (JCWPd - *groundwater bodies*), w ramach których prowadzone powinny być działania ochronne.

Podręcznik, który trafia w Państwa ręce, został opracowany jako wynik prac prowadzonych w ramach międzynarodowego projektu AMIIGA (*Zintegrowane zarządzanie jakością wód podziemnych w miejskich obszarach funkcjonalnych / Integrated Approach to Management of Groundwater quality In functional urban Areas*), realizowanego w ramach Programu INTERREG CENTRAL EUROPE w okresie od 1 września 2016 r. do 31 października 2019 r.

Niniejsza publikacja stanowi rezultat prac poświęconych narzędziom do oceny zanieczyszczenia wód podziemnych oraz działań remediacyjnych w miejskich obszarach funkcjonalnych (FUA), które w uwarunkowaniach polskich poszerzono do zakresu JCWPd, tak by odpowiadały polskiemu prawodawstwu.

Projekt AMIIGA koncentruje się na skali FUA, ponieważ rozproszone zanieczyszczenie wód podziemnych (MPS) wymaga interwencji w średniej skali (skala FUA) zaniedbanej w obowiązującym prawodawstwie.

Przedstawione w niniejszym dokumencie innowacyjne narzędzia są odpowiednie do osiągnięcia celów w zakresie jakości wód podziemnych w przypadku zanieczyszczenia rozproszonego. Ich wdrożenie wymaga wiedzy fachowej zarówno jednostki odpowiedzialnej za działania, jak i ekspertów, którzy będą w proces ten zaangażowani. Dlatego też przedmiotowa publikacja oferuje podmiotom odpowiedzialnym przegląd nowoczesnych perspektyw technologicznych w zakresie badania rozproszonych i daleko idącego zanieczyszczenia wód podziemnych oraz, dzięki precyzyjnemu opisowi możliwego zastosowania każdego z narzędzi, umożliwi kwalifikowaną ocenę zalet i ograniczeń prezentowanych narzędzi.

Dokument może także stanowić podstawę usług eksperckich, kompetentnego nadzoru nad realizacją oraz oceny jakości osiągniętych wyników.

<sup>1</sup> <https://www.pgi.gov.pl>

## 2. Wprowadzenie i pojęcia podstawowe

Dla prawidłowego zrozumienia treści podręcznika ważne jest zapoznanie się z pojęciami opisującymi różne rodzaje zanieczyszczenia wód podziemnych i ich skalą.

### Typ zanieczyszczenia

Zasadniczo przyczyny zanieczyszczenia wód podziemnych można zaklasyfikować do trzech różnych grup: a) **Ogniska punktowe (PS)**, ogniska zanieczyszczenia tzw. „hot spot”, odpowiadające obszarom generującym smugi zanieczyszczenia o wysokich stężeniach; b) **ogniska rozproszone (MPS)**, gdzie ładunek zanieczyszczenia pochodzi z wielu ognisk punktowych, z których każde powoduje niewielką emisję zanieczyszczenia, a które w konsekwencji są trudne do zidentyfikowania. W ten sposób powstaje rozproszone zanieczyszczenie wód podziemnych, które można również zdefiniować jako tło antropogeniczne poziomu zanieczyszczenia; c) **Ogniska obszarowe (NPS)**, gdzie ładunek zanieczyszczenia pochodzi z rozwoju działalności antropogenicznej na dużych obszarach (na przykład pestycydy z praktyk rolniczych).

### Skala zanieczyszczenia

Często ogniska punktowe zanieczyszczenia (PS) znajdują się wewnątrz zanieczyszczonego terenu, którym jest teren przemysłowy aktywny gospodarczo lub opuszczony obszar przemysłowy / teren poprzemysłowy (tj. teren zdegradowany). Zanieczyszczenie może dotyczyć tylko obszaru przemysłowego / poprzemysłowego lub może rozprzestrzeniać się poza jego granice, obejmując pewien fragment FUA (skala lokalna lub skala terenu zanieczyszczonego). Zanieczyszczenia rozproszone (MPS) są często skupione na stosunkowo dużym obszarze (np. w dzielnicy przemysłowej), a związane z tym zanieczyszczenie dotyczy całego obszaru FUA (średnia skala lub skala FUA). Wreszcie, ogniska obszarowe (NPS) obejmują bardzo duże obszary, a związane z tym zanieczyszczenie występuje w skali znacznie większej niż skala obszaru funkcjonalnego.

Organizację sieci monitoringowych i działania remediacyjne należy tak planować, aby umożliwić spełnienie celów dotyczących jakości wody wymaganych przez dyrektywę UE w sprawie ochrony wód podziemnych z 2006 r.<sup>2</sup> Jak już wspomniano, projekt AMIIGA koncentruje się na skali FUA, ponieważ rozproszone zanieczyszczenie wód podziemnych (MPS) wymaga interwencji w średniej skali (skala FUA) zaniebanej w obowiązującym prawodawstwie. Zazwyczaj problem na obszarze FUA polega na tym, że dla wielu obszarów będących pod wpływem rozproszonego zanieczyszczenia nie można zastosować technik remediacji odpowiednich dla niewielkich terenów zanieczyszczonych, głównie z dwóch powodów: a) pojawiających się trudności z określeniem ognisk punktowych z powodu niewielkiej emisji i b) znacznego rozprzestrzenienia się obszaru zanieczyszczonego. Oba aspekty wymagają alternatywnych podejść, ponieważ standardowe działania remediacyjne nie są skuteczne i ekonomicznie uzasadnione dla zanieczyszczenia rozproszonego. Wyżej wymienione warunki są głównie związane z historycznym zanieczyszczeniem występującym na obszarach miejskich i przemysłowych, gdzie możliwe ogniska zanieczyszczenia (zarówno PS, jak i MPS) wystąpiły bardzo dawno a obszary zostały narażone na wiele zmian (przebudowa obszarów, przeprowadzenie częściowych działań remediacyjnych itp.). Wreszcie, władze publiczne muszą ocenić stopień zanieczyszczenia rozproszonego MPS na obszarze FUA, aby wprowadzić wartości progowe dla lokalnych działań remediacyjnych zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Główne założenia projektu AMIIGA bazują na uprzednio realizowanym w ramach Programu Europa Środkowa projekcie pn.: FOKS - Kluczowe Źródła Zagrożeń Środowiskowych (2008-2012). Głównym celem

<sup>2</sup> Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu

projektu FOKS były identyfikacja kluczowych ognisk zanieczyszczenia i skoncentrowanie działań remediacyjnych na obszarach zdegradowanych.

Szczegółowe cele projektu FOKS obejmowały:

- wdrożenie i zastosowanie innowacyjnych narzędzi do zintegrowanego zarządzania ryzykiem dla wód podziemnych na obszarach zdegradowanych, takich jak zanieczyszczone tereny i obszary przemysłowe,
- priorytetyzacja działań remediacyjnych w odniesieniu do głównych ognisk zanieczyszczenia wód podziemnych i gleby,
- wykonywanie projektów pilotażowych i studiów wykonalności uwzględniających przeprowadzenie działań remediacyjnych na ogniskach zanieczyszczenia,
- pomoc we wdrażaniu dyrektywy UE w sprawie ochrony wód podziemnych w odniesieniu do skali zanieczyszczonych terenów i obszarów przemysłowych.

W ramach projektu FOKS opracowano i zastosowano innowacyjne narzędzia do zintegrowanego zarządzania ryzykiem dla wód podziemnych na obszarach zdegradowanych skoncentrowane głównie na skali lokalnej. Narzędzia takie jak: zintegrowane podejście do badania wód podziemnych (zintegrowane pompowanie badawcze)<sup>3</sup>, opróbowanie pasywne, fingerprinting<sup>4</sup>, modelowanie i backtracking (metoda śledzenie wsteczne)<sup>5</sup>, podejście oparte na ryzyku i przetwarzanie danych zostały przedstawione podczas serii warsztatów szkoleniowych i pomyślnie zastosowane na obszarach pilotażowych w ramach tego projektu.

W projekcie AMIIGA działania zainicjowane w projekcie FOKS realizowane są na większą skalę i skupiają się na FUA jako podstawowej jednostce działania, co wynika z faktu, że zanieczyszczenie wód podziemnych jest kwestią wykraczającą poza granice administracyjne lokalnego organu administracji publicznej. Głównym celem projektu AMIIGA jest wzmocnienie zdolności planowania, zarządzania i podejmowania decyzji w sektorze publicznym w zakresie zarządzania wodami podziemnymi w skali FUA. Narzędzia i system wspomaganie decyzji zastosowane i wdrożone w ramach projektu FOKS dla miejskich terenów przemysłowych zostały rozbudowane w ramach projektu AMIIGA na potrzeby skali FUA.

Dlatego zasadnicze zadania realizowane w ramach projektu AMIIGA koncentrują się na:

- 1) dostarczeniu administracji publicznej narzędzi i procedur niezbędnych do kompleksowej charakterystyki zanieczyszczenia wód podziemnych w skali FUA,
- 2) dostarczeniu decydom publicznym innowacyjnych narzędzi z dziedziny biologii molekularnej mających na celu poprawę jakości wód podziemnych w skali FUA,
- 3) opracowanie i wdrożenie planu zarządzania wodami podziemnymi jako strategicznego narzędzia niezbędnego do gospodarowania wodami podziemnymi na poziomie regionalnym.

Niniejszy dokument ma stanowić praktyczne wskazówki wykorzystania narzędzi opracowanych i testowanych w ramach projektu AMIIGA, zapewniając tym samym zgodność z narzędziami wypracowanymi w ramach projektu FOKS. Dokument ma pomóc użytkownikowi w wyborze najbardziej odpowiednich narzędzi dla danego typu zanieczyszczenia, z którym musi się zmierzyć. W tym celu opracowano drzewo decyzyjne (rysunek 1), skrótowo przedstawiające narzędzia w podziale na obszar FUA

<sup>3</sup> Zintegrowane Pompowania Badawcze (Integral Pumping Tests - IPT) - narzędzie pozwalające na badanie zależności źródło-smuga zanieczyszczenia i umożliwiające ocenę przepływu masy zanieczyszczenia oraz średniego stężenia substancji zanieczyszczających w wodach podziemnych odpływających z badanego obszaru

<sup>4</sup> narzędzie pozwalające na identyfikację naturalnych procesów samooczyszczania w złożonych warunkach nakładania się smug ze znanych źródeł zanieczyszczenia

<sup>5</sup> narzędzie umożliwiające śledzenie wstecznych dróg migracji substancji zanieczyszczającej, pozwalające na mapowanie smug zanieczyszczenia, badanie zależności źródło - smuga zanieczyszczenia oraz umożliwiające prognozowanie kierunku rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia

i skalę zanieczyszczonego terenu. Analizując drzewo decyzyjne i odpowiadając na pytania, użytkownik może zweryfikować dostępne informacje i wybrać narzędzia przydatne do stopniowego pogłębiania wiedzy o zanieczyszczeniu, niezbędnej do wypracowania i przyjęcia odpowiedniego planu zarządzania wodami podziemnymi w skali FUA.

Zarówno w skali FUA, jak i w skali zanieczyszczonego terenu (odpowiednio w skali średniej i lokalnej) pierwszym krokiem jest zebranie danych, obejmujące wszystkie czynności potrzebne do zebrania dostępnych informacji przydatnych do oceny stanu zanieczyszczenia (np. charakterystyka sieci monitoringowej, wartości stężenia, wysokość zwierciadła wód podziemnych, charakterystyka warstwy wodonośnej, dane historyczne dotyczące terenów zanieczyszczonych, dawna działalność produkcyjna itp.).

W ramach projektu FOKS, matematyczne narzędzie gnostyczne zostało zidentyfikowane jako skuteczna metoda poprawy analizy danych w skali zanieczyszczonego terenu. W projekcie AMIIGA, w skali FUA, dane pochodzą z miejskich i regionalnych sieci monitoringowych oraz prywatnych studni, a zestaw niezbędnych do analizy danych dotyczących wartości stężeń substancji zanieczyszczających jest znacznie większy i bardziej złożony. Dane zebrane latami w ciągu wielu kampanii pomiarowych odgrywają kluczową rolę w przypadku identyfikacji smug zanieczyszczenia i ich ognisk. Z tego powodu zwykłe statystyki zostały dodane do narzędzia FOKS Gnostic w celu dokładniejszego przeanalizowania dużego zestawu danych dotyczących FUA. Analiza eksploracyjna danych może być zastosowana do ustawienia struktury bazy danych, wykrycia wartości odstających, błędów i brakujących wartości oraz do identyfikacji zanieczyszczenia punktowego (PS) oraz studni monitorujących zanieczyszczenia rozproszone (MPS) (patrz D.T1.1.2).

W celu wdrożenia koncepcyjnego modelu wód podziemnych, w ramach projektu AMIIGA zastosowano narzędzie biologii molekularnej (BMT - z ang. molecular biology tool) (patrz D.T1.3.4) do oceny zdolności naturalnych (tj. autochtonicznych) konsorcjów bakterii do degradacji niektórych substancji w miejscu występowania zanieczyszczenia (*in situ*). Ponadto, narzędzie BMT służyło do oceny postępu degradacji wspomaganą działalnością mikroorganizmów oraz do określenia wpływu poszczególnych metod remediacji na autochtoniczne mikroorganizmy z uwzględnieniem poszczególnych etapów tego procesu.

Mając na celu zrozumienie zależności ognisko zanieczyszczenia - smuga zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia, w projekcie AMIIGA zastosowano nowe narzędzia:

**Analiza izotopów stabilnych (CSIA)** (patrz D.T1.2.4), mająca na celu identyfikację ogniska zanieczyszczenia (PS) odpowiedzialnego za zanieczyszczenie w skali lokalnej i średniej i/lub potwierdzenie zjawiska biologicznej degradacji zanieczyszczenia, co jest ważne z punktu widzenia celów remediacji;

**Odwrotny model transportu** (patrz D.T1.1.3), mający na celu wyznaczenie przestrzennych granic smug zanieczyszczenia, oddzielenie punktowego (PS) od rozproszonego (MPS) zanieczyszczenia wód podziemnych, zidentyfikowanie potencjalnych obszarów odpowiedzialnych za zanieczyszczenie rozproszone (MPS) i wsparcie procesu wdrożenia planów zarządzania wodami podziemnymi.

**Analiza wielowymiarowa i analiza geostatystyczna oraz WebGIS** są narzędziami zastosowanymi w ramach projektu AMIIGA, które wspierają wybór przedsięwzięć/działań i opracowanie planu zarządzania wodami podziemnymi poprzez ułatwienie procesu wspomaganego decyzji (więcej informacji na temat planu zarządzania wodami podziemnymi w skali FUA znajduje się w D.T3.3.7). Analiza wielowymiarowa i geostatystyczna pozwala na identyfikację obszarów FUA dotkniętych zanieczyszczeniem rozproszonym (MPS) i oszacowanie wartości stężenia tła rozproszonego zanieczyszczenia na dużych obszarach (patrz D.T1.1.2). WebGIS stanowi innowacyjne podejście do udostępniania danych i informacji między instytucjami, poprawy komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej, wspierania procesu podejmowania decyzji, zaawansowanej analizy danych i interpretacji modelu koncepcyjnego (patrz D.T1.1.1).



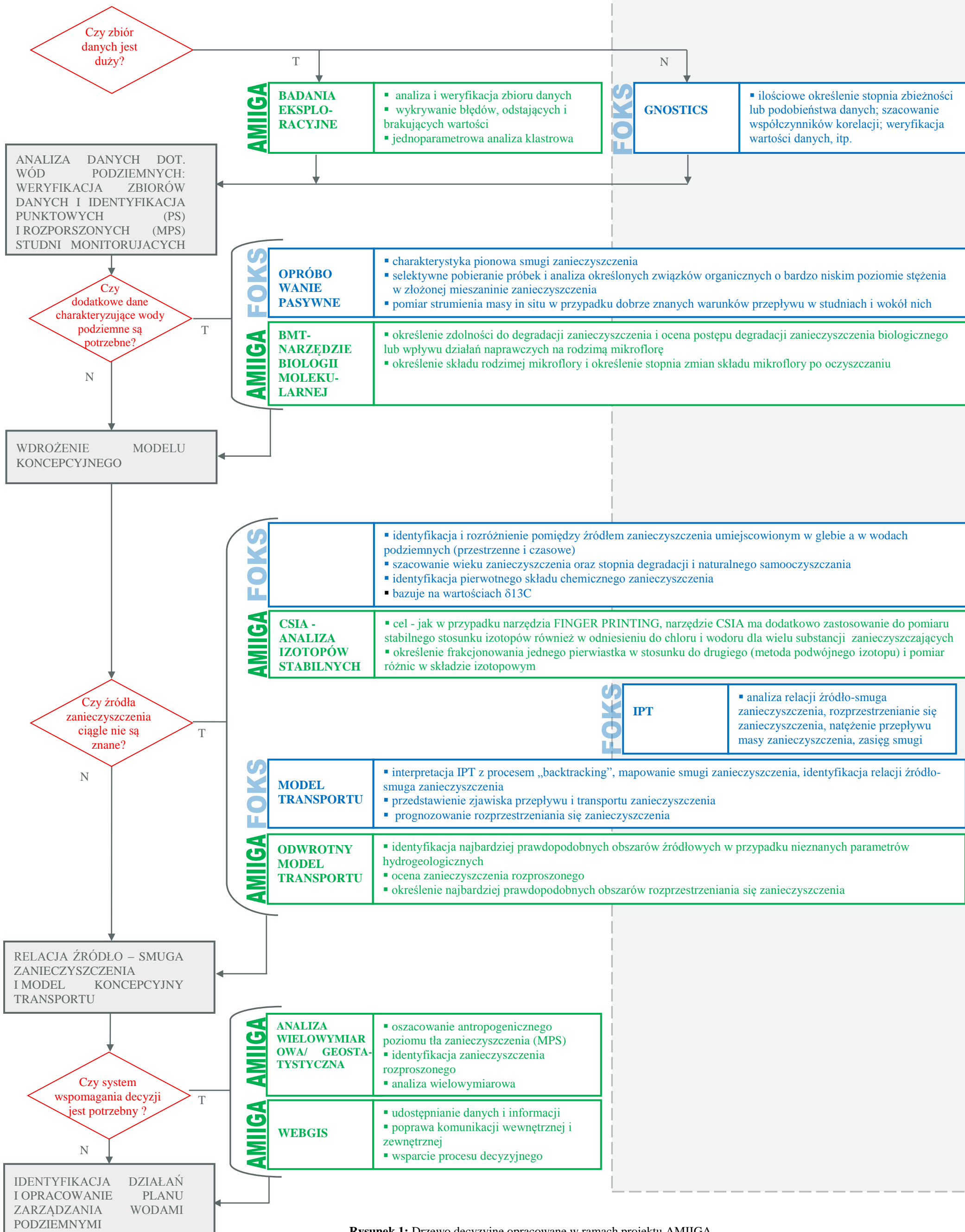
W dokumencie przedstawiono analizę mocnych i słabych stron, szans i zagrożeń (analiza SWOT) narzędzi zastosowanych w projekcie AMIIGA, które mają na celu wsparcie użytkownika w ocenie wartości dodanej przetwarzania danych, identyfikacji stopnia zanieczyszczenia wód podziemnych, wyjaśnieniu pochodzenia zanieczyszczenia (relacje ognisko zanieczyszczenia - smuga zanieczyszczenia), udoskonaleniu modelu koncepcyjnego, ocenie poziomu zanieczyszczenia tła antropogenicznego, ocenie naturalnych procesów samooczyszczania, planowaniu i wyborze sposobów i działań remediacyjnych.

Kluczowe pytania dotyczące wyboru narzędzi zastosowanych w ramach projektu AMIIGA są następujące:

- Czy w skali FUA dostępny jest duży zbiór danych?  
**Eksploracyjna analiza danych** może poprawić **analizę danych** w skali FUA dotyczących wód podziemnych, obejmującą **czyszczenie zbiorów danych** oraz **identyfikację studni monitorujących zanieczyszczenia punktowe i rozproszone PS/MPS**
- Czy potrzebne są dodatkowe dane dotyczące charakterystyki wód podziemnych?  
**BMT** może ułatwić **wdrożenie modelu koncepcyjnego**
- Czy nadal nie są znane ogniska zanieczyszczenia?  
**CSIA** i **odwrotny model transportu** mogą być pomocne w wyjaśnieniu **zależności ognisko zanieczyszczenia - smuga zanieczyszczenia** i wzbogacić wiedzę na temat **modelu koncepcyjnego transportu zanieczyszczenia**
- Czy wymagany jest proces wspomaganie decyzji?  
**Analiza wielowymiarowa**, **analiza geostatystyczna** i **WebGIS** mogą wesprzeć proces podejmowania decyzji przy wyborze przedsięwzięć/działań i opracowaniu planu zarządzania wodami podziemnymi w skali FUA.



**DRZEWO DECYZYJNE WYPRACOWANE W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**



Rysunek 1: Drzewo decyzyjne opracowane w ramach projektu AMIIGA

### 3. Narzędzia do analizy wód podziemnych zastosowane w ramach projektu AMIIGA

W tym rozdziale, w celu analizy mocnych i słabych stron, szans oraz zagrożeń (SWOT) związanych z zastosowaniem narzędzi wypracowanych w ramach projektu AMIIGA udzielono odpowiedzi na kluczowe pytania, które zostały zestawione w poniższej tabeli. Ponadto, aby ułatwić czytelnikowi zrozumienie przydatności danego narzędzia w specyficznych uwarunkowaniach, opisane zostały przykłady zastosowań opracowanych narzędzi na obszarach pilotażowych realizowanych w ramach projektu AMIIGA.

<b>MOCNE STRONY</b>	<p>Jakie są mocne strony i zalety danego narzędzia lub zastosowania dwóch narzędzi dla realizacji wybranych celów?</p> <p>Jaki rodzaj danych jest dostarczany przez narzędzie dla danego obiektu?</p> <p>Dla jakiego typu obiektów narzędzie działa efektywniej? Dlaczego?</p> <p>Inne mocne strony?</p>
<b>SŁABE STRONY</b>	<p>Jakie są słabe strony i wady danego narzędzia?</p> <p>Jakie są słabe punkty w odniesieniu do wybranych obiektów?</p> <p>Jakich aspektów dane narzędzie nie obejmuje?</p> <p>Dla jakiego typu obiektów dane narzędzie jest nieodpowiednie? Dlaczego?</p> <p>Inne słabe strony?</p>
<b>MOŻLIWOŚCI</b>	<p>Jakie są dodatkowe korzyści dla użytkownika wynikające z zastosowania danego narzędzia?</p> <p>Czy istnieje możliwość zwiększenia efektywności narzędzia?</p>
<b>ZAGROŻENIA</b>	<p>Jakie są zagrożenia dalszego rozwoju narzędzia w narzędzie wykorzystujące dobre praktyki dla wybranego obiektu?</p> <p>Czy mogą wystąpić problemy z efektywnością danego narzędzia?</p> <p>Czy mogą pojawić się problemy z adaptacją/ odbiorem danego narzędzia?</p>

## BADANIA EKSPLOKACYJNE (D.T1.1.2)

**Opis:** Badania eksploracyjne obejmują metody analizy statystycznej (weryfikacja danych, wartość brakująca, analiza opisowa, jednoparametrowa analiza klastrowa) stosowane w skali FUA do analizy dużych (czasowych i przestrzennych) i wieloparametrowych zbiorów danych dotyczących wód podziemnych (na przykład dane pochodzące z monitoringu wartości stężeń zanieczyszczenia). Obejmują one wszystkie działania konieczne do identyfikacji obserwacji odstających, błędów i brakujących wartości w celu prawidłowego zidentyfikowania ognisk zanieczyszczenia tzw. „hot spot” oraz rozdzielenia studni monitoringowych dla punktowych (PS) i rozproszonych ognisk zanieczyszczenia (MPS).

**Możliwość zastosowania:** duży zbiór danych w skali FUA, na przykład wartości stężenia zanieczyszczenia lub poziom wód podziemnych, pochodzący z różnych źródeł (prywatnych, miejskich i regionalnych).

**Połączenie z innymi narzędziami:** jednoparametrowa analiza klastrowa pozwala na rozróżnienie pomiędzy studniami monitoringowymi dla punktowych ognisk zanieczyszczenia tzw. „hot spot” (PS) i rozproszonych ognisk zanieczyszczenia (MPS), a deterministyczny i odwrócony model transportu podaje informacje o rozkładzie smugi zanieczyszczenia na danym obszarze. Połączenie razem tych informacji może poprawić zrozumienie koncepcyjnego modelu transportu zanieczyszczenia i rozkładu przestrzennego zanieczyszczenia rozproszonego, a tym samym wesprzeć proces decyzyjny w zakresie zarządzania wodami podziemnymi, na przykład w zakresie identyfikacji punktów sieci monitoringowej.

<b>CELE</b>	Analiza danych dot. wód podziemnych	X
	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	
	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	
	Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X
<b>MOCNE STRONY</b>	<p>Eksploracja danych jest możliwa do zastosowania w skali FUA, możliwa jest analiza dużych i złożonych zbiorów danych i danych gromadzonych przez wiele lat.</p> <p>Metody eksploracji danych wykrywają wartości odstające, błędy i brakujące wartości w dużych zbiorach danych.</p> <p>Jednoparametrowa analiza klastrowa grupuje obserwacje w klastry, a każdy klaster różni się od siebie.</p> <p>Metody eksploracji danych identyfikują ogniska zanieczyszczenia tzw. „hot spot” i pozwalają odróżnić studnie monitorujące zanieczyszczenia pochodzące ze ognisk punktowych (PS) od zanieczyszczenia pochodzących ze ognisk rozproszonych powiązanych z wieloma punktowymi ogniskami zanieczyszczenia (MPS).</p>	
<b>SŁABE STRONY</b>	<p>Kompleksowe gromadzenie danych i przygotowanie zbioru danych jest konieczne przed zastosowaniem metod statystycznych. Ta faza wymaga dużych nakładów pracy zarówno ze względu na brak jednorodności danych zebranych z różnych instytucji, jak i konieczność zaangażowania samych instytucji w proces dostarczenia odpowiednich danych.</p> <p>Różne procedury weryfikacji danych (wykrywanie błędów, sprawdzanie spójności i uzupełniania brakujących odpowiedzi) mogą dawać różne wyniki, dlatego należy zachować szczególną ostrożność podczas procesu czyszczenia danych.</p> <p>Weryfikacja danych powinna być ograniczona do minimum, jeśli to możliwe.</p> <p>Brakujące wartości (na przykład, gdy w studni nie jest dostępna wartość stężenia dla jednego z rozważanych parametrów) może silnie wpływać na wyniki niektórych technik. Jeśli poziom brakujących wartości jest większy niż 30% stanowi to ograniczenie i należy podjąć decyzję o tym, jak uzupełnić brakujące wartości.</p>	
<b>SZANSE</b>	Narzędzie uwypukla braki w sieciach monitorowania wód podziemnych i może	

	identyfikować nowe potencjalne obszary ognisk zanieczyszczenia. Narzędzie to może zostać wdrożone przez władze publiczne w celu identyfikacji punktów sieci monitoringowej i metod analitycznych dla poprawy pewności wyników oraz optymalizacji wydajności i skuteczności zastosowanych środków (przedsięwzięć).
<b>ZAGROŻENIA</b>	Wyniki muszą być zgodne z modelem koncepcyjnym (struktura hydrogeologiczna, przepływ wód podziemnych, historia i transport zanieczyszczenia). Zagrożenie polega na tym, że metody statystyczne są stosowane bez uwzględniania cech charakterystycznych punktów monitoringowych.

**PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**

Obszar pilotażowy w Mediolanie (IT)

Na obszarze Mediolan FUA zastosowano analizę danych eksploracyjnych, w której uwzględniono dwa główne poziomy wodonosne (płytkie i głębokie warstwy wodonosne). Zestaw danych składał się z sieci monitorującej około 2000 punktów z dostępnymi danymi hydrochemicznymi.

Analiza klastrowa (analiza skupień) zastosowana została do ponad 45 000 rekordów wartości stężenia PCE w wodach podziemnych i umożliwiła identyfikację wartości odstających w celu oddzielenia studni monitorujących ogniska zanieczyszczenia punktowego (PS) od tych będących w zasięgu rozproszonych ognisk zanieczyszczenia (MPS). Zastosowano numeryczny model transportu dzięki zidentyfikowanym ogniskom zanieczyszczenia tzw. „hot spotom” (studnie monitorujące punktowe ogniska zanieczyszczenia PS) i uwzględniono zidentyfikowane studnie monitorujące rozproszone ogniska zanieczyszczenia (MPS).

Wyniki analiz były podstawą do wsparcia procesu podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi, w szczególności w celu podkreślenia braków w sieciach monitoringowych i identyfikacji obszarów, w których potrzebne są nowe studnie monitoringowe.

### BMT - Narzędzie biologii molekularnej (D.T1.3.4)

**Opis:** BMT jest narzędziem biologii molekularnej stosowanym do charakteryzowania autochtonicznych konsorcjów bakteryjnych za pomocą zaawansowanych metod genetycznych, tj. metody powielania łańcuchów DNA w czasie rzeczywistym - qPCR (od ang. *Polymerase Chain Reaction in Real Time*) i metody sekwencjonowania następnej generacji - NGS (od ang. *Next Generation Sequencing*). Technika PCR pozwala przede wszystkim na sprawdzenie, czy w danym medium środowiskowym występują określone szczepy bakteryjne oraz czy posiadają one aparat enzymatyczny dla rozkładu danego typu zanieczyszczenia. Natomiast technika NGS to precyzyjne narzędzie pozwalające na pełną identyfikację wszystkich szczepów bakteryjnych wchodzących w skład danego konsorcjum. BMT stanowi więc narzędzie do weryfikacji obecności i szacowania liczebności szczepów lub grup bakteryjnych zdolnych do metabolizowania określonych substancji zanieczyszczających obecnych w glebie lub w wodach podziemnych. Ponadto dzięki BMT można zidentyfikować potencjalne ścieżki biodegradacji, a wyniki odnieść do wyników badań fizykochemicznych w zakresie stężeń produktów ubocznych lub końcowych procesów biodegradacji, co pozwala na całościową ocenę efektywności remediacji. Narzędzie BMT jest szczególnie przydatne w procesach monitoringu procesów remediacji *in situ* opartych w głównej mierze o procesy biodegradacji. W tym przypadku narzędzie BMT służy do oceny liczebności specyficznych i pożądaných autochtonicznych szczepów bakteryjnych, pozwala na ocenę przyżyciową szczepów bakteryjnych wprowadzonych w postaci szczepionki bakteryjnej dla wspomagania degradacji oraz jest istotnym narzędziem w monitorowaniu enzymatycznego rozkładu zanieczyszczenia.

**Możliwość zastosowania:** BMT znajduje zastosowanie w monitorowaniu procesów biodegradacji zanieczyszczenia środowiskowego w wodach podziemnych i w glebie. Stanowi także istotne narzędzie przy doborze technologii oczyszczania wód i gleby oraz sposobu prowadzenia tego procesu. Dostarcza wiedzy dotyczącej liczebności specyficznych markerów biologicznego szlaku rozkładu zanieczyszczenia, obrazując postęp degradacji oraz jej dalsze możliwości przy udziale autochtonicznych konsorcjów bakterii. Na przykład, jeśli liczebność autochtonicznych bakterii zdolnych do biodegradacji zanieczyszczenia w wodzie podziemnej jest zbyt niska, można ją w prosty sposób zwiększyć poprzez dodanie odpowiedniego substratu odżywczego, lub też opracować można szczepionkę bakteryjną, składającą się ze specjalnie wyselekcjonowanych i namnożonych na nośnikach szczepów bakteryjnych, którą następnie wprowadza się do środowiska wodnego w celu wspomagania bioremediacji.

**Połączenie z innymi narzędziami:** analiza BMT wraz z analizą chemiczną, CSIA, analizą parametrów fizycznych i geologicznych jest istotnym narzędziem do oceny zdolności do naturalnego samooczyszczania i/ lub wspomaganego samooczyszczania z wykorzystaniem technik bioremediacyjnych na obszarach zanieczyszczonych.

<b>CELE</b>	Analiza danych dot. wód podziemnych	
	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	X
	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	
	Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X
<b>MOCNE STRONY</b>	<p>BMT obejmuje bardzo dokładną analizę szerokiego spektrum szczepów bakterii lub wytwarzanych przez nie enzymów w złożonych próbkach środowiskowych. W połączeniu z innymi narzędziami (CSIA, analiza chemiczna) stanowi istotne narzędzie do opisu zanieczyszczonego obszaru i oceny aktywności biologicznej mikroorganizmów na nim występujących.</p> <p>BMT dostarcza względnych wartości umożliwiających określenie ogólnej liczebności bakterii. Następnie można oszacować zdolność metaboliczną bakterii wyizolowanych z próbki, a co najważniejsze, ocenić zdolność do degradacji zanieczyszczenia w warunkach beztlenowych/tlenowych. Wreszcie, można oszacować, czy w analizowanych wodach podziemnych występują odpowiednie warunki środowiskowe dla procesu biodegradacji (na przykład obecność bakterii redukujących siarczany lub bakterii denitryfikacyjnych świadczy o warunkach redukcyjnych w wodach podziemnych oraz o potencjalnej możliwości rozkładu zanieczyszczenia</p>	



	<p>przy udziale mikroorganizmów beztlenowych).</p> <p>Analiza qPCR dostarcza w sposób szybki i stosunkowo tani odpowiedź dotyczącą obecności pożądanych szczepów bakteryjnych, podczas gdy narzędzie NGS daje bardziej złożony obraz środowiska bakteryjnego <i>in situ</i>. Dlatego też, połączenie tych dwóch metod umożliwia uzyskanie pełnych danych dotyczących potencjału biodegradacyjnego mikroorganizmów występujących na analizowanym obszarze.</p>
<b>SŁABE STRONY</b>	<p>Ograniczeniem w stosowaniu narzędzi biologii molekularnej jest trudność w ekstrakcji materiału genetycznego (DNA), zwłaszcza w złożonych próbkach środowiskowych. Wynika to przede wszystkim z obecności substancji, które mogą zakłócać izolację DNA z próbki, co wpływa na wydajność ekstrakcji i jakość izolowanego DNA, a tym samym na wyniki BMT. W takim przypadku możliwy jest jedynie pomiar względnego poziomu markerów (specyficznych genów) i liczebności bakterii w próbkach, a dla prawidłowej interpretacji wyników, konieczna jest fachowa wiedza o warunkach lokalnych (CSIA i analizy chemiczne).</p> <p>Nie zostały jeszcze opracowane markery PCR umożliwiające identyfikację wszystkich możliwych substancji zanieczyszczających w środowisku i produktów pośrednich na szlaku rozkładu. Nadal istnieje wiele nieznanych, specyficznych szczepów bakterii lub enzymów, które mogą brać udział w procesach biodegradacji.</p> <p>Przetwarzanie danych NGS jest pracochłonne, a wynik pracy zależy od dokładności i staranności bioinformatyka, co niesie ryzyko obarczenia wyników błędem ludzkim.</p>
<b>SZANSE</b>	<p>Wyniki BMT pozwalają nam lepiej zrozumieć aktywność biologiczną bakterii na zanieczyszczonym obszarze. Za pomocą danych BMT można pokazać potencjał biodegradacji oczyszczanego obszaru, można również oszacować efektywność wybranej metody remediacji i jej wpływ na naturalne procesy samooczyszczania. Przykładowo, analizy BMT pozwalają skorygować dawkę substancji chemicznych stosowanych w chemicznych metodach remediacji. Stale wzrastająca wiedza dotycząca metabolizmu bakterii uczestniczących w procesach biodegradacji, pozwala na opracowywanie coraz to nowszych markerów rozkładu zanieczyszczenia, co daje możliwość lepszego kontrolowania i oceniania efektywności tych procesów. Skuteczność BMT można zwiększyć poprzez połączenie z innymi metodami (CSIA, analiza parametrów chemicznych, fizycznych, informacji geologicznych).</p>
<b>ZAGROŻENIA</b>	<p>Największym zagrożeniem jest niska jakość wyizolowanego DNA w próbce i zbyt niski ilość wyekstrahowanych markerów. Oba czynniki silnie wpływają na wyniki BMT, które muszą być rozważnie interpretowane.</p>

#### **PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**

##### Obszar pilotażowy w Parmie (IT)

Analizę BMT wykonano dla próbek pobranych z obszaru FUA Parma, gdzie zanieczyszczenie wód podziemnych (BTEX, CE) wynikało z nieprawidłowego działania stacji benzynowej. W grudniu 2017 r. i maju 2018 r. przeprowadzono dwie kampanie poboru próbek, podczas których monitorowano parametry fizykochemiczne wód, takie jak pH, potencjał redox oraz przewodność. Pobrane próby poddano analizom z zastosowaniem narzędzi biologii molekularnej.

Wyniki BMT wykazały, że ogólna liczebność bakterii w próbkach pobranych podczas drugiej kampanii pomiarowej wzrosła 1000-krotnie w porównaniu do liczebności określonej podczas pierwszej kampanii pomiarowej. Wzrost ogólnej liczby bakterii wynikać mógł z wyższego poziomu wód podziemnych i sezonowości (pobór prób podczas drugiej kampanii pomiarowej odbywał się w okresie wiosennym).

W trakcie analizy zidentyfikowano w próbkach średnią ilość bakterii denitryfikujących (gen *nirK*) i redukujących siarczany (gen *dsrA*), których obecność potwierdziła występowanie warunków redukcyjnych w wodach podziemnych na analizowanym obszarze. Ponadto, w próbkach wód pobranych podczas obu kampanii pomiarowych, stwierdzono niską liczebność bakterii zdolnych do rozkładu BTEX na drodze oddychania beztlenowego (gen *bssA*), natomiast wyższą liczebność bakterii korzystających z tlenowych szlaków rozkładu zanieczyszczenia (gen *DEF / G*), co potwierdziło trwającą degradację BTEX. Nie zaobserwowano obecności bakterii, jak też markerów genów odpowiedzialnych za

wytwarzanie przez nie enzymów wykorzystywanych do rozkładu związków halogenoorganicznych (bvcA, geny vcrA, *Dehalococcoides sp.*, *Desulfitobacterium sp.*, *Dehalobacter sp.*). Z uwagi na niskie stężenia CE stwierdzono nieznaczną aktywność bakterii redukujących związki halogenoorganiczne, ale nie znaleziono markerów genów kodujących wydzielanie reduktazy VC.

Wyniki badań wskazują, że na analizowanym obszarze nie występują szlaki przemiany zanieczyszczenia na drodze dehalogenacji redukcyjnej. Nie wykluczone jest jednak to, że przemiany te nastąpiły na drodze tlenowej lub kometabolizmu, jednakże należałoby przeprowadzić dodatkowe badania z wykorzystaniem markerów tych szlaków rozkładu.

Poniższe tabele przedstawiają wyniki badań przeprowadzonych z wykorzystaniem narzędzi biologii molekularnej dla próbek wód podziemnych pobranych w dwóch kampaniach pomiarowych (grudzień 2017 r. - po lewej, maj 2018 r. - po prawej) z sześciu piezometrów. W badaniach wykorzystano następujące markery: całkowitej liczebności bakterii (U16SRT), enzymów degradacji chlorku winylu (bvcA, vcrA), obecności bakterii z rodzaju *Dehalococcoides sp.* (DHC-RT), *Desulfitobacterium sp.* (Dsb), *Dehalobacter sp.* (Dre), obecności bakterii redukujących siarczany (dsrA), bakterii denitryfikacyjnych (nirK), enzymów degradacji HCH (linA) i 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						

Analizy BMT służyły jako dodatkowe narzędzie monitoringu jakości wód podziemnych, a wraz z wynikami analizy chemicznej i CSIA pozwoliły na zrozumienie procesów biologicznych zachodzących na zanieczyszczonym terenie.

Wyniki analiz BMT posłużyły do sformułowania zaleceń dotyczących następnego etapu działań remediacyjnych. Jednym z nich było okresowe dawkowanie substratu odżywczego do wód podziemnych poprzez studnie piezometryczne, w celu wspomaganie rozwoju autochtonicznych bakterii posiadających zdolność do rozkładu zanieczyszczenia na obszarze pilotażowym Parma.



### CSIA - Analiza izotopów stabilnych (D.T1.2.4)

**Opis:** CSIA może być wykorzystana do rozróżnienia ognisk zanieczyszczenia i poszerzenia wiedzy na temat zależności ognisko zanieczyszczenia - smuga zanieczyszczenia. CSIA umożliwia identyfikację ogniska zanieczyszczenia odpowiedzialnego za zanieczyszczenie na analizowanym obszarze (FUA lub skala terenu zanieczyszczonego). Dzięki wynikom uzyskanym poprzez zastosowanie CSIA możliwe jest ulepszenie modelu koncepcyjnego transportu zanieczyszczenia oraz wsparcie w rozróżnieniu zanieczyszczenia punktowego (PS) od zanieczyszczenia rozproszonego (MPS). Ponadto CSIA pozwala określić, czy zachodzą naturalne procesy samooczyszczania i czy pozwalają one na degradację zanieczyszczenia, co ma duże znaczenie z punktu widzenia rekultywacji danego terenu.

**Możliwość zastosowania:** Obecnie dzięki zastosowaniu CSIA można zmierzyć stosunek izotopów stabilnych węgla, chloru i wodoru dla wielu substancji organicznych. Wymagana jest minimalna wartość stężenia zanieczyszczenia około 5/100 µg/l w zależności od zastosowanego sprzętu laboratoryjnego, wybranych izotopów i analizowanych związków.

**Połączenie z innymi narzędziami:** Analiza CSIA może być stosowana w połączeniu z innymi narzędziami, takimi jak narzędzia wykorzystujące biologię molekularną (BMT), szczególnie do monitorowania procesów naturalnego samooczyszczania (MNA) oraz do projektowania i monitorowania wspomaganych metod bioremediacji. Metoda wspiera proces podejmowania decyzji dotyczących zarządzania wodami podziemnymi, na przykład w zakresie wyboru działań remediacyjnych, które mają zostać przyjęte w FUA lub skali terenu zanieczyszczonego.

<b>CELE</b>	Analiza danych dot. wód podziemnych	
	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	
	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	X
	Wybór przedsięwzięć remediacyjnych i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X

**MOCNE STRONY**

Zmiany zależności między stabilnymi izotopami (frakcjonowanie izotopów) mogą jednoznacznie wykazać obecność degradacji zanieczyszczenia w wodach podziemnych i dostarczyć informacji odnośnie ilościowego znaczenia biodegradacji.

Zastosowanie narzędzi izotopowych pozwala lepiej zrozumieć zachowanie się substancji zanieczyszczających w wodach podziemnych, a także określić znaczenie procesów fizycznych (tj. proces rozcieńczania lub proces abiotyczny) i biologicznych

CSIA określa ilościowo skład izotopowy określonego zanieczyszczenia, a tym samym zapewnia dodatkowe i często unikalne sposoby identyfikacji poszczególnych ognisk zanieczyszczenia związkami organicznymi. Ponadto CSIA pomaga w identyfikacji procesów biodegradacji i ilościowym określeniu procentowej masy zanieczyszczenia, która uległa degradacji, umożliwiając prognozowanie przyszłej ewolucji poziomu zanieczyszczenia.

**SŁABE STRONY**

Procedura pobierania i przechowywania próbek na potrzeby CSIA musi być zgodna z najlepszą praktyką, aby zapobiec biodegradacji lub abiotycznej transformacji substancji zanieczyszczających. W przeciwnym razie dokładność wyników jest zagrożona.

Minimalna wartość stężenia zanieczyszczenia około 5/100 µg/l jest wymagana w zależności od zastosowanego sprzętu laboratoryjnego, wybranych izotopów i analizowanych związków.

Analityczna niepewność w ramach analizy CSIA może stanowić istotny problem, ponieważ istnieją znaczne różnice w wewnętrznych procedurach i metodach analitycznych stosowanych w różnych laboratoriach. Obowiązkiem użytkownika jest ustalenie, czy niepewność jest akceptowalna czy nie dla konkretnego zastosowania. Aby uczynić to narzędzie bardziej efektywnym i porównywać wyniki między różnymi laboratoriami, należy opracować normy europejskie.

	Innym ważnym ograniczeniem jest prawidłowy pomiar sygnatury izotopowej dla ogniska zanieczyszczenia, ponieważ ogniska mogły zostać usunięte lub nie zostały jeszcze zidentyfikowane.
<b>SZANSE</b>	Dzięki rutynowemu stosowaniu CSIA dla miejsc zanieczyszczonych i charakteryzacji FUA więcej danych zostanie udostępnionych, co umożliwi lepszą ocenę procesów naturalnego samooczyszczania i/lub postępów działań remediacyjnych. Co więcej, możliwe będzie potwierdzenie lub ulepszenie koncepcyjnego modelu zanieczyszczenia w zakresie prognozy dotyczącej zmiany poziomu zanieczyszczenia w czasie.
<b>ZAGROŻENIA</b>	Najlepszą praktyką jest oczyszczenie studni przed pobraniem próbek. Jeśli studnia nie zostanie oczyszczona przed pobraniem próbek, pompowana woda podziemna może nie być reprezentatywna, co prowadzi do błędnej interpretacji wyników analitycznych.  W celu zminimalizowania straty substancji lotnych zaleca się ograniczenie narażenia próbki wody podziemnej na kontakt z tlenem atmosferycznym. Zgodnie z powszechną wiedzą tlen może łatwo prowadzić do tlenowej degradacji rozpuszczonych związków organicznych. Zaleca się również stabilizację próbki poprzez dodanie środka bakteriobójczego, aby uniknąć degradacji podczas przechowywania próbki.  W trakcie pobierania próbek obowiązkowe jest pełne i odpowiednie zrozumienie hydrogeologicznego modelu koncepcyjnego oraz konstrukcji poszczególnych punktów sieci monitoringowej, w szczególności poziomów wodonośnych, które są w danym punkcie ujmowane.

#### **PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**

##### Obszar pilotażowy w Mediolanie (IT)

Analiza CSIA została zastosowana na obszarze pilotażowym w Mediolanie (IT) w celu lepszego rozróżnienia granic smugi zanieczyszczenia w odniesieniu do tła, czyli do zanieczyszczenia rozproszonego. Różne stosunki stabilnych izotopów dla PCE (zarówno dla węgla [<sup>13</sup>C], jak i chloru i/lub [<sup>37</sup>Cl]) były głównie używane do rozróżnienia, czy zanieczyszczenie było częścią określonej smugi, czy reprezentowało rozproszone zanieczyszczenie tła. Dane CSIA posłużyły do opracowania bardziej precyzyjnych modeli koncepcyjnych w odniesieniu do kilku podobszarów na obszarze pilotażowym, pomagając w zlokalizowaniu, w miarę możliwości, obszarów ogniskowych lub potencjalnych obszarów odpowiedzialnych za zanieczyszczenia.

Drugim celem była ocena procesów biodegradacji i bardziej ogólnie procesów naturalnego samooczyszczania dla substancji zanieczyszczających, takich, jak na przykład PCE. Skład izotopowy TCE i cis-DCE wykorzystano do rozpoznania ścieżki degradacji i zasięgu PCE oraz do zrozumienia, kiedy TCE był produktem degradacji a kiedy głównym zanieczyszczeniem w wybranych obszarach.

### ODWROTNY MODEL TRANSPORTU (D.T1.1.3)

**Opis:** Odwrotny model transportu można zastosować do oceny wpływu niepewności parametrów warstwy wodonośnej na wyniki symulację transportu zanieczyszczenia. Biorąc pod uwagę możliwy rozkład parametrów (np. przewodność hydrauliczna, porowatość itp.) możliwe jest znalezienie najbardziej prawdopodobnych ścieżek rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia. Technikę tę można zastosować począwszy od ogniska zanieczyszczenia (jeśli jest znane) i podążając za najbardziej prawdopodobnym kierunkiem przepływu (nazywanym forward tracking) lub rozpoczynając od niektórych zanieczyszczonych studni monitoringowych i przemieszczając w przeciwną stronę do kierunku przepływu (tj. backward tracking) w celu znalezienia najbardziej prawdopodobnych ognisk zanieczyszczenia (jeśli pozostają nieznanymi). Odwrotne modelowanie transportu pozwala zwiększyć wiedzę na temat zależności ognisko zanieczyszczenia - smuga zanieczyszczenia i potwierdzić model konceptualny transportu poprzez ocenę jego niepewności. Odwrotny model transportu stanowi potężne narzędzie, które może pomóc decydentom w monitorowaniu, badaniu i zarządzaniu zasobami zanieczyszczonych wód podziemnych

**Możliwość zastosowania:** Metoda odwrotnego modelowania zastosowana w ramach projektu AMIIGA powinna być stosowana na obszarach średniej skali (FUA), gdzie wiele ognisk może być odpowiedzialnych za zanieczyszczenie wód podziemnych. Technika odwrotnego modelowania może być stosowana zarówno do lokalizacji zanieczyszczenia punktowego (PS), jak i zanieczyszczenia rozproszonego (MPS). Metoda ta została zastosowana w projekcie AMIIGA do znalezienia najbardziej prawdopodobnego obszaru ogniskowego dla zanieczyszczenia zidentyfikowanego w punktach monitorowania (dla PS i MPS) lub dla wyznaczenia ścieżek transportu zanieczyszczenia poniżej prawdopodobnych ognisk zanieczyszczenia punktowego (PS). W projekcie AMIIGA zastosowano kody numeryczne MODFLOW dla modelu przepływu, MODPATH dla śledzenia cząstek i PEST dla generacji pola współczynnika filtracji oraz modelowania odwrotnego, a także MT3DMS dla modelowania adwekcyjno-dyfuzyjnego. Metodologia ta może być stosowana również przy użyciu innych kodów numerycznych do modelowania przepływu wód podziemnych i modelowania transportu zanieczyszczenia. Klasyczny (tj. deterministyczny) skalibrowany model przepływu jest niezbędny do zastosowania tego narzędzia.

**Połączenie z innymi narzędziami:** Zastosowanie narzędzia w połączeniu z narzędziami statystycznymi zwiększa możliwość lokalizacji ognisk zanieczyszczenia. Ponadto, w połączeniu z pełnym modelem transportu (adwekcja + dyspersja) zwiększa możliwość oceny prawdopodobnych ognisk zanieczyszczenia i rozkładu przestrzennego smugi zanieczyszczenia,

<b>CELE</b>	Analiza danych dot. wód podziemnych	
	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	
	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	X
	Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X
<b>MOCNE STRONY</b>	<p>Obecność wielu punktowych ognisk zanieczyszczenia (MPS), które można określić jako rozproszone zanieczyszczenie wód podziemnych na obszarze FUA należy rozwiązać poprzez niekonwencjonalne działania w zakresie zarządzania i remediacji. Zanieczyszczenia rozproszone (MPS) są z definicji związane z nieznanymi ogniskami, a klasyczne modele transportu nie są w stanie symulować rozproszonego zanieczyszczenia powodowanego przez dane ogniska. Natomiast odwrotne modele transportu są w stanie symulować ten rodzaj zanieczyszczenia. Z tego powodu są one niezbędnymi narzędziami do oceny i prognozowania zmiany zanieczyszczenia w czasie i skutecznego zarządzania tymi zanieczyszczeniami.</p> <p>Ponadto, odwrotny model transportu można zastosować do znalezienia najbardziej prawdopodobnego zanieczyszczenia punktowego (PS) odpowiedzialnego za pojedyncze smugi zanieczyszczenia. Nie istnieją ograniczenia odnośnie stosowania tej metody w przypadku jakichkolwiek substancji chemicznych występujących w wodach podziemnych.</p>	
<b>SŁABE STRONY</b>	W celu zbadania niepewności związanej z uwarunkowaniami hydrogeologicznymi użyteczne byłoby rozważenie większej liczby parametrów dla każdego modelu	

	<p>odwrotnego. Niestety obecnie parametry powinny mieścić się w zakresie od 1 do 4, aby uniknąć niestabilności modelu lub niemożności jego wykalibrowania. Oczekuje się, że w przyszłości możliwości w zakresie odwrotnego modelowania będą rosły wraz z postępem techniki.</p> <p>Dane wyjściowe są często dużymi zbiorami danych i są dość trudne do analizy w środowisku GIS (tj. preferowane jest specjalnie dostosowane oprogramowanie służące do analizy częstotliwości i prawdopodobieństwa przestrzennego).</p> <p>Obecnie tylko niewielu modelarzy ma wymagane doświadczenie do implementacji modeli odwrotnych.</p>
<b>SZANSE</b>	<p>Analiza prognostyczna niepewności może stanowić wsparcie dla władz publicznych w zakresie racjonalnego gospodarowania i planowania badań na obszarach, które są prawdopodobnie odpowiedzialne za zanieczyszczenia rozproszone. Ponadto, wyniki odwrotnego modelowania transportu wskazują obszary, w których sieć monitoringowa na obszarze FUA powinna zostać zoptymalizowana, aby lepiej monitorować ścieżki transportu rozproszonego zanieczyszczenia.</p>
<b>ZAGROŻENIA</b>	<p>Wyniki powinny być dokładnie przeanalizowane i muszą być spójne z modelem koncepcyjnym (struktura hydrogeologiczna, kierunki przepływu wód podziemnych, ścieżki rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia). Zagrożenie polega na tym, że wyniki modelu odwrotnego zależą od skalibrowanego deterministycznego modelu numerycznego, który jest podstawą jego zastosowania, tj. warunkiem początkowym dla odwrotnej iteracji.</p>

#### **PRZYKŁAD ZASTOWOWANIA W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**

##### Obszar pilotażowy w Mediolanie (IT)

Na obszarze FUA Mediolan zastosowano odwrotne modelowanie transportu w celu zidentyfikowania obszarów o największym prawdopodobieństwie występowania zanieczyszczenia rozproszonego (MPS). Zaczynając od skalibrowanego modelu (deterministycznego) konieczne było wygenerowanie 400 różnych rozkładów wartości przewodności hydraulicznej (tj. współczynnika filtracji). Spośród tych rozkładów, 11 zostało wykluczonych, ponieważ nie były w stanie spełnić standardów kalibracji. Pozostałe 389 skalibrowanych modeli wykazało niewielkie różnice w wartościach współczynnika filtracji i wszystkie prawidłowo przedstawiały zwierciadło wód podziemnych uznane za porównywalnie prawdopodobne (tj. porównywalnie prawdziwe). Następnie każdy z nich poddano technice „back-tracking” ze studni monitorujących, które dzięki analizie danych eksploracyjnych zostały już uznane za notujące zanieczyszczenia rozproszone. W tym przypadku wśród tych studni, w których zidentyfikowano zanieczyszczenia rozproszone, tylko punkty o wartości mediany PCE powyżej 10 µg/l wybrano do fazy „back-tracking” (limit PCE według standardu dla wody pitnej we Włoszech wynosi 10 µg/l). Ponieważ analiza „back-tracking” jest wrażliwa na początkowe głębokości umiejscowienia cząstek, przypisanie ich początkowych lokalizacji opierało się na rzeczywistej głębokości zafiltrowania studni. Dla każdej studni dodano cząstkę w środku długości filtra dla każdej warstwy ujmowanej przez filtr. Następnie zastosowano „back-traking” w oparciu o symulowane zwierciadło wód podziemnych. Różne ścieżki, po których przemieszcza się ta sama cząstka w obszarze 389 symulacji, wynikają z różnych zwierciadeł wód podziemnych dla różnych pól filtracji generowanych zgodnie z opisaną powyżej procedurą. Obliczając liczbę cząstek przecinających każdą komórkę modelu we wszystkich 389 symulacjach, możliwe było uzyskanie map częstotliwości występowania cząstki przemieszczającej się w każdej warstwie wodonośnej: w komórkach modelu, w których liczba przejść cząstek jest najwyższa, prawdopodobieństwo występowania rozproszonego ogniska zanieczyszczenia (tj. MPS) jest wyższe niż w innych komórkach.

Ponadto, odwrotne modelowanie transportu zastosowano, aby zidentyfikować obszary o największym prawdopodobieństwie występowania zanieczyszczenia punktowego (PS). Procedura tworzenia pól współczynnika filtracji i równie prawdopodobnych modeli była taka sama jak opisano powyżej. Ale w tym przypadku cząstki były dodawane tylko w tych studniach, które wykazują wysokie stężenie PCE i nie należą do punktów notujących wyłącznie rozproszone zanieczyszczenie (ich wybór wynikał

z zastosowania analizy danych eksploracyjnych), co oznacza, że w analizie wzięto pod uwagę jedynie punkty będące pod wpływem smugi zanieczyszczenia.

Następnie, zastosowano kod MODPATH, aby wygenerować ścieżki przepływu adwekcyjnego dla każdego z modeli zbudowanych przy użyciu poszczególnych realizacji pola przewodności. Następnie utworzono mapy przedstawiające liczbę cząstek poddanych technice „back-tracking”, które przecinały każdą komórkę modelu w każdym skalibrowanym modelu. W wyniku tego zidentyfikowano obszary FUA o największym prawdopodobieństwie występowania zanieczyszczenia punktowego (PS). Wyniki porównano z deterministycznym modelem transportu ( lokalizacja smug zanieczyszczenia na obszarze FUA) oraz z wynikami analiz hydrochemicznych parametrów uzyskanych w kampaniach pobierania próbek w ramach projektu AMIIGA.



## ANALIZA WIELOWYMIAROWA I ANALIZA GEOSTATYSTYCZNA (D.T1.1.2)

**Opis:** analiza wielowymiarowa (analiza głównych składowych, analiza czynnikowa, wieloparametrowa analiza skupień, analiza regresji) i analiza geostatystyczna są metodami statystycznymi, odmiennymi od analizy danych eksploracyjnych, wspierającymi analizę danych i proces podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi (tj. priorytetyzacja, wybór preferowanych przedsięwzięć) w średniej skali (skala FUA). Analizy te mają na celu oszacowanie poziomu tła antropogenicznego zanieczyszczenia rozproszonego (MPS) i rozróżnienia obszarów o różnym poziomie rozproszonego zanieczyszczenia na tym samym obszarze FUA. W szczególności:

- *analiza wielowymiarowa* ma na celu ocenę głównych składników zbioru danych (tzn. głównych substancji zanieczyszczających) i ścieżek rozprzestrzeniania rozproszonego zanieczyszczenia, które mogą być obecne w FUA.
- *analiza geostatystyczna* ma na celu ocenę przestrzennego rozkładu zanieczyszczenia rozproszonego.

**Zakres zastosowania:** Analiza wielowymiarowa składa się z zestawu metod statystycznych, które można wykorzystać, gdy wykonywanych jest kilka pomiarów w studniach monitoringowych. Analiza wielowymiarowa może być stosowana do pomiarów różnych rodzajów parametrów (np. stężenia zanieczyszczenia, charakterystyki wody itp.) biorąc pod uwagę lokalizację przestrzenną każdej studni monitoringowej. Orientacyjnie analizę można zastosować, gdy są dostępne 2 studnie monitoringowe na 100 ha na obszarze FUA. Metody analizy wielowymiarowej mogą być stosowane we wszystkich warunkach terenowych do identyfikacji zanieczyszczenia, charakterystyki terenu, remediacji i następnie monitorowania terenu. Metody geostatystyczne można stosować w połączeniu z wynikami analizy wielowymiarowej w celu lepszego uwzględnienia danych środowiskowych, które są często ukierunkowane, skupione i skorelowane przestrzennie.

**Połączenie z innymi narzędziami:** wyniki analizy wielowymiarowej i analizy geostatystycznej w połączeniu z wynikami deterministycznego i odwrotnego numerycznego modelu transportu rozróżniają zanieczyszczenie punktowe (PS) od zanieczyszczenia rozproszonego (MPS), podając informacje o sile rozproszenia danego zanieczyszczenia. Informacje te mogą wspomóc proces podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi w celu oszacowania wartości tła stężenia rozproszonego zanieczyszczenia.

<b>CELE</b>	Analiza danych dot. wód podziemnych	
	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	
	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	
	Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X
<b>MOCNE STRONY</b>	<p>Zazwyczaj na obszarach zanieczyszczonych jednocześnie więcej niż jedna zmienna jest mierzona w każdej studni monitoringowej, zatem mogą one być potencjalnie skorelowane. Konieczne jest rozróżnienie nakładających się informacji dostarczanych przez skorelowane zmienne. Dlatego celem analizy wielowymiarowej jest uproszczenie opisujące co się dzieje w zredukowanym zestawie wymiarów (co oznacza na przykład zgrupowanie substancji zanieczyszczających, które mają ten sam wzorzec).</p> <p>Za pomocą metod analizy wielowymiarowej można zbadać pochodne czasowe parametrów i zależności między różnymi parametrami.</p> <p>Analiza wielowymiarowa pozwala ocenić główne składniki zbioru danych (czyli na przykład główne substancje zanieczyszczające) oraz ścieżki migracji rozproszonego zanieczyszczenia które mogą być obecne na obszarze FUA, szacując poziomy tła rozproszonego zanieczyszczenia na dużych obszarach.</p> <p>Interpolacja przestrzenna (analiza geostatystyczna) szacuje nieznanne wartości danych w określonych miejscach przy użyciu znanych wartości dla innych punktów.</p> <p>Analiza geostatystyczna ocenia rozkład przestrzenny zanieczyszczenia rozproszonego.</p>	

	Wyniki analizy wielowymiarowej i geostatystycznej wspierają proces podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi w średniej skali (skala FUA).
<b>SŁABE STRONY</b>	Po zebraniu danych, nawet jeśli projekt badawczy został zrealizowany prawidłowo, ostateczny zestaw danych musi zostać sprawdzony, zatwierdzony i przygotowany przed przystąpieniem do analizy. Istnieje kilka kroków, które są wymagane do przygotowania danych do analizy: edycja i kodowanie danych (np. sprawdzenie błędów lub pominięć) i weryfikacja danych (patrz narzędzie do analizy danych eksploracyjnych). Jednorodny przestrzenny i czasowy rozkład danych ułatwia analizę. Wzrost przestrzennej i czasowej gęstości danych poprawia wiarygodność wyników.
<b>SZANSE</b>	Wyniki analizy wielowymiarowej i geostatystycznej mogą być wykorzystane do monitorowania rozwoju zanieczyszczenia, przy założeniu, że są stosowane zawsze w tych samych sieciach monitoringowych.
<b>ZAGROŻENIA</b>	Wyniki muszą być zgodne z modelem koncepcyjnym (aspekty hydrogeologiczne, przepływ wód podziemnych, rozwój zanieczyszczenia i transport). Zagrożenie polega na tym, że metody statystyczne są stosowane bez uwzględniania charakterystyk studni monitoringowych (na przykład głębokość). Obecnie w analizie geostatystycznej trudno jest wybrać najlepszą metodę interpolacji przestrzennej dla szerokiego zakresu danych georeferencyjnych. Dlatego wybór odpowiedniej metody z odpowiednimi parametrami dla konkretnego zastosowania ma kluczowe znaczenie. Różne metody mogą wytwarzać całkiem odmienne reprezentacje przestrzenne, a dogłębna znajomość zjawiska jest potrzebna, aby ocenić, która z nich jest najbliższa rzeczywistości. Zastosowanie nieodpowiedniej metody lub niewłaściwych parametrów może skutkować zniekształconym modelem rozkładu przestrzennego, prowadzącym do potencjalnie błędnych decyzji opartych na nieprawdziwych danych przestrzennych.

#### **PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**

##### Obszar pilotażowy w Mediolanie (IT)

Na obszarze FUA Mediolan zastosowano analizę wielowymiarową i geostatystyczną, w której istnieją dwa poziomy wodonośne (płytką i głęboką warstwą wodonośną). Zestaw danych składał się z sieci monitoringowej złożonej z około 2000 punktów z dostępnymi danymi hydrochemicznymi.

Wieloparametrowa analiza skupień pozwala skorelować stężenia różnych substancji zanieczyszczających. Zidentyfikowano 5 reprezentatywnych klastrów dla rozproszonego zanieczyszczenia PCE - reprezentowały one dużą grupę pomiarów wartości tła. Cechy charakterystyczne i średnie trendy czasowe PCE pięciu skupisk, które reprezentowały rozproszone zanieczyszczenie, zostały poddane bardziej szczegółowym analizom.

Ponadto, za pomocą metody geostatystycznej przeanalizowano rozkład przestrzenny 5 klastrów na badanym obszarze, a najbardziej reprezentatywny klaster dla każdej strefy został zidentyfikowany za pomocą wyników analizy wielowymiarowej. Podkreślono, że unikalna wartość zanieczyszczenia rozproszonego na badanym obszarze nie ujmowała niejednorodności rzeczywistego rozproszonego rozkładu zanieczyszczenia, ale konieczne było przypisanie więcej niż jednej wartości stężenia tła na obszarze FUA.

Analiza statystyczna i geostatystyczna, połączona z wynikami numerycznego i odwrotnego modelu transportu rozróżnia obszary zanieczyszczenia punktowego (PS) od zanieczyszczenia rozproszonego (MPS) i dostarcza najbardziej reprezentatywnych wartości koncentracji zanieczyszczenia rozproszonego na obszarze FUA w Mediolanie.

Wyniki analiz stanowiły wsparcie dla procesu podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi, umożliwiły zaplanowanie działań i zidentyfikowały nowe potencjalne obszary ognisk zanieczyszczenia, które należy monitorować.



<b>WEBGIS (D.T1.1.1)</b>									
<p><b>Opis:</b> WebGIS to narzędzie, które może być używane do wyświetlania i przetwarzania danych w Internecie. Oferuje dostęp do informacji online i dzielenia się nimi. Poprawia efektywność analizy danych i interpretacji modeli koncepcyjnych, umożliwia wymianę danych i informacji między instytucjami. Głównym celem jest wyświetlanie danych na mapie, co pozwala lepiej zinterpretować (przedyskutować) dane/ wyniki projektu, a także wspiera i ułatwia proces podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi.</p> <p><b>Zastosowanie:</b> Skala FUA. Dostępność i wydajność pasma internetowego musi być odpowiednia.</p> <p><b>Połączenie z innymi narzędziami:</b> Wyniki analizy danych eksploracyjnych, analiza chemiczna, analiza poziomów wód podziemnych, BMT, CSIA, odwrotny i deterministyczny model transportu, analiza wielowymiarowa i geostatystyczna mogą być reprezentowane jednocześnie lub w różnych kombinacjach, aby poprawić zrozumienie modelu koncepcyjnego analizowanego obszaru.</p>									
<b>CELE</b>	<table border="1"> <tr> <td>Analiza danych dot. wód podziemnych</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Wdrożenie modelu koncepcyjnego</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi</td> <td>X</td> </tr> </table>	Analiza danych dot. wód podziemnych		Wdrożenie modelu koncepcyjnego		Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia		Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X
Analiza danych dot. wód podziemnych									
Wdrożenie modelu koncepcyjnego									
Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia									
Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X								
<b>MOCNE STRONY</b>	<p>WebGIS to narzędzie zapewniające otwarty dostęp umożliwiając tym samym konsultację danych.</p> <p>Dostęp do WebGIS można uzyskać wszędzie z różnych platform, zachowując autoryzację zdefiniowaną przez poziomy dostępu (z nazwą użytkownika i hasłem). Oznacza to, że możliwe jest kontrolowanie uprawnień dla niektórych użytkowników lub pewnych grup, aby umożliwić im dostęp do określonego podzbioru danych lub map.</p> <p>Jest to sposób publikowania i udostępniania wielu warstw na jednej mapie internetowej.</p> <p>Poprawia efektywność analizy danych i interpretacji modeli koncepcyjnych.</p> <p>Jest to dobry sposób na udostępnianie danych i informacji między instytucjami, w celu poprawy komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej oraz wzajemnej współpracy mającej wspierać i ułatwiać podejmowanie decyzji.</p> <p>Okresowo informacje mogą być aktualizowane, w związku z czym wszyscy użytkownicy WebGIS jednocześnie i w dowolnym czasie mogą uzyskać dostęp do najnowszych informacji.</p> <p>Pozwala instytucjom pracować w sposób bardziej wydajny i reagować na zmiany danych przestrzennych.</p> <p>Dostępnych jest wiele funkcji, takich jak przeglądanie, powiększanie, drukowanie, możliwość przesyłania danych i nakładanie ich na istniejącą mapę, wyszukiwanie danych według adresu, przetwarzanie danych.</p> <p>Umożliwia wszystkim, nie tylko ekspertom, łatwy dostęp do danych geoprzestrzennych i zrozumienie ich. Użytkownicy, nawet jeśli nie są ekspertami w dziedzinie geoinformatyki, mogą korzystać z narzędzi GIS koncentrując się na danych konkretnej domeny.</p> <p>Komputery o dużej wydajności nie są potrzebne do zarządzania danymi.</p> <p>Nie ma potrzeby przechowywania danych na komputerze, ponieważ wszystkie dane są w chmurze danych.</p>								
<b>SŁABE STRONY</b>	Dostępność i wydajność pasma internetowego może stanowić problem, ale								

	<p>prawdopodobnie zostanie to rozwiązane w przyszłości.</p> <p>Do wdrożenia narzędzia i aktualizacji informacji są niezbędni specjaliści zaznajomieni z tematyką opracowywania i utrzymywania zestawów danych środowiskowych i funkcjonalności WebGIS.</p>
<b>SZANSE</b>	<p>Dzięki potencjałowi Internetu i samego narzędzia możliwe jest wykonanie złożonych analiz oraz przetwarzanie danych wektorowych i rastrowych w sieci, współpracując z innymi użytkownikami w dowolnym momencie.</p>
<b>ZAGROŻENIA</b>	<p>Udostępnianie danych jest trudnym procesem.</p> <p>Użytkownicy GIS mają tendencję do tworzenia własnych zestawów danych. Oznacza to na przykład, że mogą nie znać innych dostępnych istniejących zbiorów danych oraz błędów poprawionych przez innych użytkowników.</p> <p>Ogólnie dostęp do kompletnych i wiarygodnych zestawów danych jest trudny. Nie każdy użytkownik GIS jest przyzwyczajony do udostępniania zbiorów danych innym sektorom i instytucjom. Niektóre z trudności związanych z udostępnianiem danych wynikają z powszechnego podejrzenia co do jakości danych osób trzecich, poprzez domniemanie, że dane mogą być „błędnie” wykorzystywane, jeśli są udostępniane osobom trzecim, a ich własność może zostać utracona lub przez obawy, że inni użytkownicy mogą odkryć słabą jakość danych, udostępniając je.</p> <p>Specjaliści zajmujący się opracowywaniem i utrzymywaniem zbiorów danych środowiskowych nie zawsze są dostępni w strukturze zespołu badawczego; analitycy środowiskowi często pracują również na etapie przygotowywania zbiorów danych dla konkretnych zadań. Może to oznaczać, że zestawy danych nie są gotowe do udostępnienia do ogólnego użytku.</p>

#### **PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA W RAMACH PROJEKTU AMIIGA**

WebGIS zastosowany w ramach projektu AMIIGA jest dostępny pod następującym adresem <http://131.175.56.100/lm/>. Wykonano siedem projektów WebGIS (po jednym dla każdego obszaru pilotażowego) i tylko partnerzy AMIIGA mogą uzyskać dostęp do projektów przy użyciu osobistego loginu i hasła. WebGIS jest dostępny z prostej przeglądarki internetowej na dowolnym urządzeniu.

Całe oprogramowanie jest zainstalowane na serwerze, działającym na instalacji Ubuntu 14.04, a wszystkie komponenty architektury są oparte o oprogramowanie ogólnodostępne (FOSS). Architektura systemu oparta jest o główny komponent, jakim jest QGIS - ogólnodostępne oprogramowanie dla danych geoprzestrzennych (FOSS4G). QGIS umożliwia przetwarzanie danych i przechowywanie wszystkich warstw w lokalnej bazie danych. Wybraną bazą danych jest PostgreSQL z rozszerzeniem PostGIS, które jest specyficzne dla obsługi danych geoprzestrzennych. Kolejnym elementem architektury jest QGIS Server, komponent, który obsługuje warstwy w projekcie QGIS, a więc z bazy danych, za pośrednictwem sieci WWW, przy użyciu standardów OGC, takich jak usługa map internetowych (WMS). Aby pokazać wszystkie warstwy w przeglądarce internetowej, architektura implementuje dynamiczny komponent o nazwie Lizmap, który generuje WebGIS na potrzeb użytkowników.

Wszyscy partnerzy byli zaangażowani w działania związane z gromadzeniem danych (monitorowanie parametrów sieci, wartości koncentracji, charakterystyki warstwy wodonośnej itp.). Dane wyświetlane w AMIIGA WebGIS to: obszar pilotażowy i rozszerzenie obszaru FUA; sieci monitoringowe; górne i dolne warstwy wodonośne; strefa znaczących zmian w układzie hydrogeologicznym; wyniki testu przewodności hydraulicznej; dane dotyczące piezometrycznej wysokości; stężenia substancji zanieczyszczających; obszary przemysłowe i produkcyjne; mapy rozproszonego zanieczyszczenia.

U każdego partnera projektu AMIIGA WebGIS poprawia efektywność analizy danych i interpretacji modeli koncepcyjnych, upraszcza wymianę danych i informacji między instytucjami, a głównym celem jest wspieranie i ułatwianie procesu podejmowania decyzji w zakresie zarządzania wodami podziemnymi.

## 4. Podsumowanie

Podsumowanie narzędzi zastosowanych w ramach projektu AMIIGA można przeprowadzić na zasadzie zgodności z ich celami. Poniższe tabele zawierają przegląd narzędzi opisanych w poprzednim rozdziale.

### Cele narzędzi AMIIGA

Tabela przedstawia cele każdego narzędzia, zgodnie z opisem w poprzednim rozdziale.

		CELE			
		Analiza danych dot. wód podziemnych	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi
NARZĘDZIA PROJEKTU AMIIGA	ANALIZA DANYCH EKSPLORACYJNYCH	X			X
	BMT		X		X
	CSIA			X	X
	ODWROTNY MODEL TRANSPORTU			X	X
	ANALIZA WIELOWYMIAROWA I GEOSTATYCZNA				X
	WEBGIS				X

### Zastosowanie narzędzi zastosowanych w ramach projektu AMIIGA na obszarach pilotażowych

Tabela pokazuje przegląd narzędzi zastosowanych w ramach projektu AMIIGA oraz cele osiągnięte na poszczególnych obszarach pilotażowych.

Obszar pilotażowy (PA)		PA1 (HR)	PA2 (SL)	PA3 (IT)	PA4 (IT)	PA5 (CZ)	PA6 (PL)	PA7 (DE)
Rozmiar obszaru analizy [ha]		6 500	7 000	15 740	600	3,1	2 475	530
Rozmiar FUA [ha]		26 000	25 100	52 100	58 594	3 750	20 190	4 810
Typ zanieczyszczenia		Bakterie, azotany	Cr VI, NO3, B, desetylo- atrazyna, nowe pojawiają ce się zanieczysz- czenia	PCE, TCE	PCE	CHC	Pestycydy, rozpuszcz- alniki ograniczone	CHC
CELE	Analiza danych dot. wód podziemnych			X	X		X	X
	Wdrożenie modelu koncepcyjnego	X		X			X	X
	Zależność pomiędzy ogniskiem a smugą zanieczyszczenia i koncepcyjny model transportu zanieczyszczenia	X	X	X	X		X	X
	Wybór przedsięwzięć i przygotowanie planu zarządzania wodami podziemnymi	X	X	X	X	X	X	X
NARZĘDZIA PROJEKTU AMIIGA	ANALIZA DANYCH EKSPLOACYJNYCH		X	X				
	BMT		X		X	X	X	X
	CSIA		X	X	X	X	X	X
	ODWROTNY MODEL TRANSPORTU	X		X				
	ANALIZA WIELOWYMIAROWA I GEOSTATYCZNA	X		X				
	WEBGIS	X	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, *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*