

T A

Č R

## **Interaktivní mapy pro vizualizaci trendů znečištění životního prostředí chemickými látkami**

*Specializované mapy s odborným obsahem ( $N_{map}$ )*

Číslo projektu: **TB010MZP058**

**Název projektu: Vývoj systému pro hodnocení prostorových souvislostí kontaminace životního prostředí chemickými látkami**

Autoři: Jiří Kalina  
Jana Borůvková  
Šebková Kateřina  
Richard Hůlek  
Michal Šalko  
Rudolf Novák  
Zdeňka Bednářová  
Jana Klánová

*Název organizace: Masarykova univerzita*

## Úvod

Předkládaný soubor interaktivních map je jedním z výstupů projektu “Vývoj systému pro hodnocení prostorových souvislostí kontaminace životního prostředí chemickými látkami”, č. TB010MZP058 podpořeného programem BETA Technologické agentury České republiky.

Soubor obsahuje dva typy map - “trendová mapa” a “mapa se sloupcovými grafy”. U každé mapy je uveden i způsob jejího vytvoření a příklad vzhledu mapy včetně prvků, které umožňují měnit jednotlivé parametry zobrazení.

Přínosy mapy pro uživatele a využití těchto map je jednotlivě uvedeno u popisu typu mapy, obecně však lze říci, že předkládané mapy slouží k přehlednému a variabilnímu prostorovému zobrazení naměřených environmentálních dat na globální úrovni a na nich spočtených výzkumných výsledků. Navíc, jako plnohodnotná online aplikace jsou tyto mapy průběžně aktualizovány souběžně s rozšiřující se množinou environmentálních dat obsažených ve vědeckém repozitáři Genasis [1].

Primárním účelem map je informovat uživatele map o statistických odhadech středně- a dlouhodobých trendů vývoje různých druhů environmentálního znečištění v čase, o dostupnosti a dostatečnosti naměřených dat pro tyto odhady a dále o samotné úrovni znečištění; to vše v přehledné podobě při zachování geografických souvislostí.

Každý jednotlivý mapový výstup odpovídá uživatelsky navolenému datovému výběru, který zajišťuje nutnou porovnatelnost zobrazovaných hodnot při zachování maximální možné variability kombinací vstupních dat. Interaktivní mapy jsou přímou součástí prohlížeče dat portálu Genasis, ve kterém jsou zařazeny jako dvě samostatné datové analýzy pod názvy „Trend Map“ a „Time Series Bar Chart Map“ a dále propojeny s online analýzou časových řad „Time Series Analysis“. V prohlížeči jsou mapy volně přístupné na webové adrese <http://data.genasis.cz/data-browser/>.

Podstatnou funkcí obou typů interaktivních map je možnost vygenerovat aktuálně viditelnou část mapy jako bitmapový obrázek formátu png, který lze přímo využít do výzkumných zpráv, podkladů pro rozhodování či poskytnout jménem České republiky do pravidelných hlášení stavu o vývoji znečištění složky životního prostředí chemickými látkami při implementaci evropských i mezinárodních předpisů.

Uživatelem těchto výsledků je nejen odborná veřejnost, ale rovněž i státní a regionální správa a místní samosprávy, které mohou výstupy použít pro strategické rozhodování o rozvoji menších i větších územních celků s ohledem na stav životního prostředí. V neposlední řadě mají mapy uplatnění na mezinárodní úrovni, neboť umožňují srovnání na globální úrovni a tak je mohou využít a již o ně projevil zájem mezinárodní organizace jako Program OSN pro životní prostředí (UNEP) či Světová zdravotnická organizace (WHO).

Níže je popsán společný krok při tvorbě obou typů map, a to výběr dat. Po té následuje popis každého typu interaktivní mapy včetně náhledu jedné z variant zobrazení.

Interaktivní mapy pro vizualizaci trendů

## Výběr dat

Zobrazení interaktivních map je podmíněno výběrem dat v datovém prohlížeči. Výběr dat zajistí vzájemnou porovnatelnost měření nutnou pro další výpočty. Prvním krokem před zobrazením mapy je tedy povinný výběr množiny primárních záznamů, na kterých je následně provedena analýza.

Základní výběr dat umožňuje v každém kroku zvolit jednu nebo více hodnot konkrétního parametru, v případě nutnosti zpřesnění je další výběr (zúžení zvolené množiny dat) dat proveden přímo na stránce s analýzou/mapou.

Hierarchicky probíhá výběr dat následujícím způsobem:

1. Analytická matrice – environmentální matrice (složka životního prostředí), ve které bylo měření provedeno (např. ovzduší, voda v tocích či v moři, rostlinné matrice, lidské tkáně aj.)
2. Analytická submatrice – podrobnější charakterizace matrice zohledňující rovněž metodu měření (aktivní/pasivní vzorkování, samostatné vzorky/agregace aj.).
3. Skupina chemických látek – skupiny látek podobných chemickou strukturou nebo použitím/vznikem.
4. Polutant – konkrétní určení chemické látky (specie).
5. Kontinent/regionální skupina dle OSN UNEP [2].
6. Stát.
7. Region NUTS3 – podrobnější členění zemí, pokud je definováno (aktuálně dostupné pouze pro ČR).
8. Instituce – poskytovatel/vlastník dat.
9. Projekt – projekt nebo program, v jehož rámci byla data naměřena.
10. Období – časové okno měření definované po celých kalendářních letech.
11. Lokalita – konkrétní bod měření určený pomocí geografických souřadnic a názvu.

Libovolný krok ve výběru dat je možné přeskočit, čímž dojde k zahrnutí všech přípustných hodnot parametru do výběru.

Součástí datového výběru je rovněž možnost tzv. rychlého výběru. Obsahuje 8 definovaných kombinací, které lze jednoduše zvolit stisknutím tlačítka bez nutnosti postupného průchodu

přes všech 11 úrovní výběru dat. Rychlý výběr obsahuje často využívané kombinace dat, s nimiž je v repozitáři GENASIS potřeba často pracovat<sup>1</sup>.

Po výběru dat je možné postoupit ke konkrétní analýze dat, mezi něž patří i vytvoření obou interaktivních map, Mapy jsou zařazeny pod položku „Time Series“ u horního menu prohlížeče dat, jak je zvýrazněno na obrázcích 1 a 2.

## Trendová mapa

Interaktivní trendová mapa je dostupná v položce “Trend Map” prohlížeče dat repozitáře GENASIS v menu Time series a slouží k zobrazení charakteru trendu výskytu zvolené chemické látky ve zvoleném časovém období, jak je uvedeno na obrázku 1.

Tato interaktivní mapa je složena ze spodní mapové vrstvy, tvořené jednou z deseti variantních podkladových map podle volby uživatele (k dispozici jsou vrstvy Obrazová data, Snímky s popisky, Ulice, Topografická mapa, Tmavě šedé plátno, Světle šedé plátno, National Geographic, Oceány, Terén s popisky a OpenStreetMap) a ze svrchní vrstvy obsahující vlastní specializovaný obsah. Společně lze obě vrstvy vygenerovat ve formátu png souboru pomocí příslušného tlačítka.

Svrchní vrstva obsahuje specializovaný obsah - výstupy analýzy zvolených dat jako barevné kruhové značky, jejichž velikost je přímo úměrná koncentraci chemické látky na lokalitě. Maximální velikost kruhu sledovaného souboru dat je fixně daná a odpovídá maximální koncentraci přes všechny lokality zahrnuté do výběru, zatímco koncentrace nižší než dolní prahová velikost kruhu se zobrazují jako nejmenší přípustná značka z důvodu zachování rozumné viditelnosti značky.

Barva kruhu pak může nabývat následujících hodnot, vycházejících z výsledků statistického odhadu daného výpočtem trendových charakteristik (popsaných níže):

- Šedá – na lokalitě byla provedena méně než 3 měření a tedy není možné provést výpočet trendu a jeho statistické významnosti.
- Modrá – počet měření je dostatečný pro výpočet trendu, ale zvolený test jeho statistické významnosti nebyl průkazný na hladině spolehlivosti 95 %. Tato varianta nastává např. v případě řady konstantních hodnot, velmi nízkého počtu hodnot nebo trendu s trendovou charakteristikou (korelačním koeficientem koncentrace vůči času) blízkou nule.
- Zelená – odpovídá na hladině spolehlivosti 95 % statisticky významnému klesajícímu trendu, tj. s dostatečnou jistotou lze vyloučit, že koncentrace roste nebo se nemění.

---

<sup>1</sup>jde o výstupy z monitorovacích programů Monet CZ, Monet Europe, Monet Africa, GAPS, integrovaný monitoring na observatoři Košetice, projekty Monairnet, Needlenet a výzkumné mořské plavby (cruises) s odebíráním vzorků prostředí

T A

Č R

- Červená – odpovídá na hladině spolehlivosti 95 % statisticky významnému rostoucímu trendu, tj. s dostatečnou jistotou lze vyloučit, že koncentrace klesá nebo se nemění.

Všechny značky zobrazené v mapě jsou provázané se stručným popisem lokality zobrazujícím se vedle mapy v pravém sloupci okna prohlížeče, a současně s tlačítkem, které přepne pohled z mapy do zvolené lokality na detailní analýzu časové řady včetně grafického zobrazení všech naměřených hodnot, proložení hodnot exponenciálním trendem a zobrazení mezních pásů intervalu spolehlivosti, výpočet detailních trendových charakteristik a dalších informací.

Pro vlastní výpočet trendu a jeho statistické signifikance byl využit neparametrický Mann-Kendallův test trendu [3], který neklade žádné požadavky na pravděpodobnostní distribuci hodnot koncentrace (ta se obvykle blíží log-normálnímu rozdělení, nicméně velmi často není toto kritérium dodrženo a u nejčastějších nízkých počtů měření na lokalitě se velmi špatně odhaduje).

Neparametričnost testu spočívá v práci s pořadovými koeficienty (ranky) hodnot namísto hodnot samotných, přičemž hodnoty, které byly reportovány jako semikvantitativní (tj. není známa hodnota sama o sobě, pouze horní mez pro možnou hodnotu, která je obvykle tvořena minimální citlivostí/kvantifikovatelností daného analytického postupu/zařízení) jsou před výpočtem nahrazeny polovinou kvantifikačního limitu (a tedy obdrží obvykle velmi nízká pořadová čísla). V případě rovnosti hodnot Mann-Kendallův test připouští dvojice stejných pořadových koeficientů (ties).

Výpočet testové statistiky  $S$  probíhá postupně od hodnoty 0 srovnáním každé dílčí hodnoty s hodnotami následujícími později v čase a zvýšením statistiky  $S$  o 1 pokaždé, když je identifikována vyšší hodnota následující po hodnotě nižší a snížením o 1 v opačném případě (v případě rovnosti se hodnota nemění).

Zjednodušeně lze pro hodnoty  $x_1, x_2, \dots, x_n$  v časech  $1, 2, \dots, n$  vyjádřit testovou statistiku  $S$  jako:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k)$$

kde funkce signum  $\text{sign}()$  je definována jako

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0. \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

T A

Č R

Kladná hodnota  $S$  pak odpovídá rostoucímu trendu a záporná hodnota  $S$  klesajícímu trendu, přičemž statistická významnost roste s počtem původních záznamů a vzdáleností  $S$  od nuly. Pro číselné vyjádření významnosti je zapotřebí určit rozptyl statistiky  $S$  jako:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} (n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5))$$

kde  $n$  je počet původních záznamů,  $g$  je počet dvojic (nebo obecně  $m$ -tic) stejných hodnot (ties) a  $t_p$  je počet hodnot v  $p$ -té také  $m$ -tici.

V dalším kroku je určena standardní statistika  $Z$  jako

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

porovnáním s kritickými hodnotami standardního  $Z$ -testu pro normální rozdělení zjistíme hodnotu statistické významnosti trendu (rostoucí pro kladné  $Z$  a klesající pro záporné  $Z$ ).

### Další možnosti mapy

Interaktivita mapy umožňuje přiblížení mapy, kterou lze pomocí kolečka myši, příp. ovládacího prvku na monitoru, zvětšovat ze souhrnného (globálního) pohledu na všechny světové lokality až po rozlišení odpovídající svojí podrobností přibližně základní mapě měřítka 1:10 000, a volba statistiky středu, která je použita pro určení koncentrace na lokalitě, která se projeví jako velikost kruhové značky.

### Přínosy mapy pro uživatele

První mapový výstup označený jako „Trend Map“ umožňuje okamžitě získat statisticky robustní představu o **vývoji znečištění na jednotlivých lokalitách** s opakovaným měřením. Každá lokalita s měřením, které splňuje kritéria výběru dat, se v mapě zobrazí jako poloprůhledný kruh, jehož barva odpovídá směrnici a statistické významnosti trendu. Při pohledu na mapu je tak možné podle barvy okamžitě rozlišit mezi oblastmi se statisticky významně rostoucí nebo klesající koncentrací polutantu, případně zjistit, že o vývoji v čase nelze za pomoci naměřených dat s dostatečnou spolehlivostí rozhodnout. Druhý přínos mapy je **informace o míře kontaminace**, kterou představuje velikost (průměr) barevného kruhu, jehož velikost odpovídá střední koncentraci látky na lokalitě. Mapa se automaticky aktualizuje s přibývajícím počtem měření.

Interaktivní mapy pro vizualizaci trendů

T A

Č R

### **Využití mapy**

Využitelnost mapy souvisí s vyhodnocováním účinnosti přijatých opatření vedoucích ke snížení výskytu vybraných chemických látek ve složkách životního prostředí, se srovnáváním lokalit na menších či větších územních celcích. Proto kromě vědců mapu s výhodou využije rozhodovací sféra na lokální, národní i mezinárodní úrovni, které tento typ mapy umožňuje srovnání stavu a trendu a přijetí rozhodnutí o dalším rozvoji, omezení či opatřeních cílených na snížení kontaminace životního prostředí ve sledované oblasti. Mapa je přímo využitelná jako indikátor úspěšnosti opatření. O tuto mapu již projevil zájem mezinárodní organizace jako Program OSN pro životní prostředí (UNEP) či Světová zdravotnická organizace (WHO).



# T A Č R

Skupina analýz Time Series obsahuje obě interaktivní mapy.

Legenda a zoomování interaktivní mapy.

Pravý sloupec obsahuje kontextové filtry pro (nutná) zpřesnění obecnějšího výběru dat (pokud jsou zapotřebí).

Volba konkrétní analýzy ze skupiny (Trend map je 1. analýza v pořadí).

Tlačítko pro stažení mapy ve formátu .png.

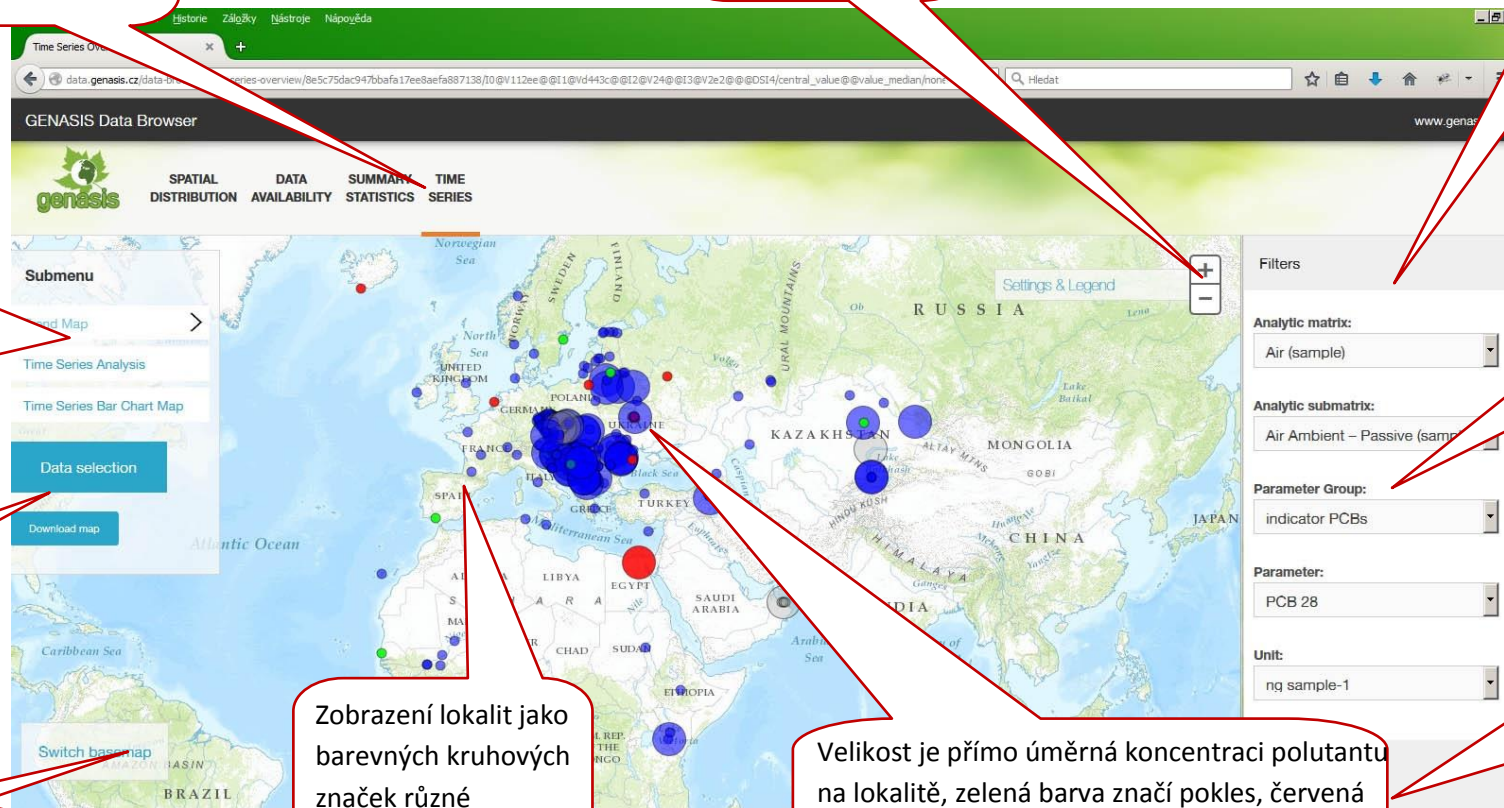
Výběr z 10 variant podkladové mapy pro

Zobrazení lokalit jako barevných kruhových značek různé velikosti.

Velikost je přímo úměrná koncentraci polutantu na lokalitě, zelená barva značí pokles, červená nárůst, modrá a šedá neodpovídají žádnému trendu.

Detail lokality se zobrazí po kliknutí na příslušnou značku v mapě.

Doplňková nastavení (statistika středu pro velikost značek).



Obrázek 1 : Náhled interaktivní trendové mapy pro hodnocení kontaminace životního prostředí



## Mapa se sloupcovými grafy

Tato interaktivní mapa se sloupcovými trendy je dostupná v položce “Time Series Bar Chart Map” prohlížeče dat repozitáře GENASIS v menu Time series a zobrazuje přímo v mapě sloupcové grafy odpovídající koncentraci zvolené chemické látky v určitém časovém období (obrázek 2).

Interaktivní mapa je složena ze spodní mapové vrstvy, tvořené jednou z deseti variantních podkladových map podle volby uživatele (k dispozici jsou vrstvy Obrazová data, Snímky s popisky, Ulice, Topografická mapa, Tmavě šedé plátno, Světle šedé plátno, National Geographic, Oceány, Terén s popisky a OpenStreetMap) a ze svrchní vrstvy obsahující vlastní specializovaný obsah. Společně lze obě vrstvy vygenerovat ve formátu png souboru pomocí příslušného tlačítka.

Svrchní vrstva obsahuje hodnoty koncentrace chemické látky (agregované na rok) získané vzorkováním na dané lokalitě v mapě v určitém časovém období. V nastavení vlastností mapy lze volit funkci použitou pro roční agregaci naměřených hodnot, přičemž při agregaci opět dochází k nahrazení hodnot pod limitem stanovení analytické metody polovinou hodnoty tohoto limitu. Na výběr je agregace pomocí průměru a mediánu.

Osy všech zobrazených sloupcových grafů v mapě mají stejné měřítko, definované v případě osy x prvním a posledním záznamem v čase na lokalitách odpovídajících vybraným datům, v případě osy y minimální a maximální agregovanou hodnotou koncentrace. V případě odlehlých hodnot jsou sloupce přerušeny, aby nedošlo ke zneviditelnění hodnot řádově nižších.

Jednotlivé sloupcové grafy jsou propojené s odpovídající lokalitou, odkud lze pokračovat k podrobné analýze trendu znečištění na daném místě a zkoumat jej v samostatné podrobnější analýze časové řady „Time Series Analysis“, která se skládá z bodového grafu ročních koncentrací, intervalu spolehlivosti trendu a z dalších trendových charakteristik.

Podstatnou funkcí této interaktivní mapy je možnost vygenerovat aktuálně viditelnou část mapy jako bitmapový obrázek ve formátu png, který lze přímo využít pro konstrukci výzkumných zpráv či pravidelných reportů o vývoji znečištění POPs v životním prostředí.

### Další možnosti mapy

Interaktivita mapy umožňuje přiblížení mapy, kterou lze pomocí kolečka myši, příp. ovládacího prvku na monitoru, zvětšovat ze souhrnného (globálního) pohledu na všechny světové lokality až po rozlišení odpovídající svojí podrobností přibližně základní mapě měřítka 1:10 000, a změny v datovém výběru např. změnou sledované chemické látky či délkou časového období, pro něž je tato mapa vytvořena.

### **Přínosy mapy pro uživatele**

Tento mapový výstup umožňuje okamžitě získat představu o míře kontaminace a jejím vývoji v čase na jednotlivých lokalitách. Každá lokalita s měřením, které splňuje kritéria výběru dat, se v mapě zobrazí sloupcový graf s jednotným měřítkem a umožňuje tak okamžitě porovnat koncentrace zvolené chemické látky na všech lokalitách. Mapa se automaticky aktualizuje s přibývajícím počtem měření.

### **Využití mapy**

Mapa je využitelná ve všech zprávách vztahujících se ke sledování míry kontaminace oblasti chemickými látkami a jejím vývoji v čase a umožňuje tak okamžitě porovnat změny v koncentracích zvolené chemické látky na všech lokalitách.

Využitelnost mapy souvisí i s vyhodnocováním účinnosti přijatých opatření vedoucích ke snížení výskytu vybraných chemických látek ve složkách životního prostředí na menších či větších územních celcích. Proto tuto interaktivní mapu kromě vědců s výhodou využije zejména rozhodovací sféra na lokální, národní i mezinárodní úrovni, které tento typ mapy poskytuje odborný, ale velmi srozumitelný podklad pro přijetí rozhodnutí o dalším rozvoji, omezení či opatřeních cílených na sledované oblasti. Mapa je přímo využitelná jako indikátor úspěšnosti předchozích opatření. O tuto mapu již projevil zájem mezinárodní organizace jako Program OSN pro životní prostředí (UNEP) či Světová zdravotnická organizace (WHO).

# T A Č R

Skupina analýz Time Series obsahuje dvě interaktivní mapy.

Legenda a zoomování interaktivní mapy.

Pravý sloupec obsahuje kontextové filtry pro (nutná) zpřesnění obecnějšího výběru dat (pokud jsou zapotřebí).

Volba konkrétní analýzy ze skupiny (Time Series Bar Chart Map je 3. analýza v pořadí).

Detail lokality se zobrazí po kliknutí na příslušný graf v mapě.

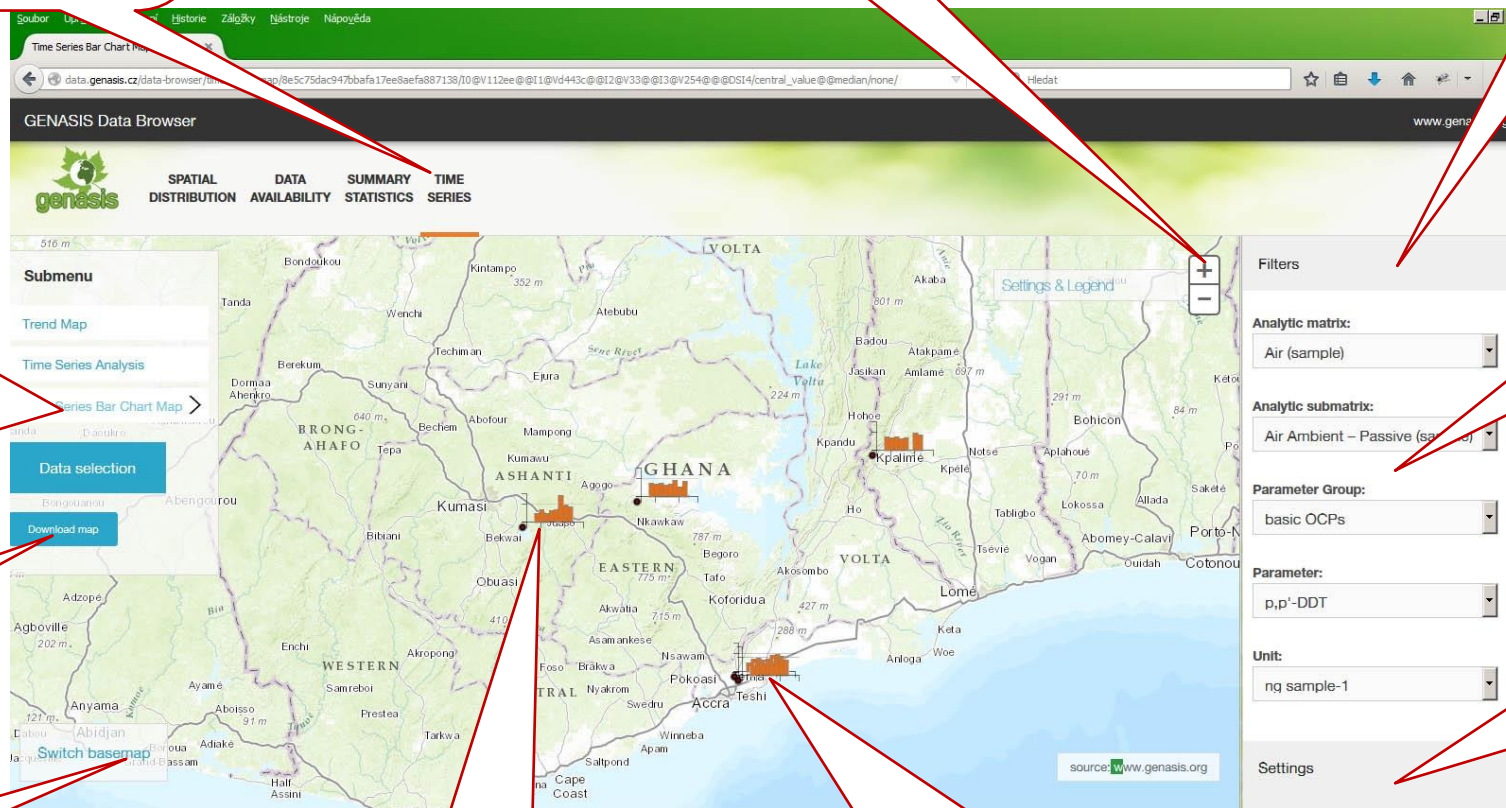
Tlačítko pro stažení mapy ve formátu .png.

Výběr z 10 variant podkladové mapy pro spodní vrstvu.

Zobrazení sloupcového grafu na každé lokalitě.

Sloupcové grafy zobrazují střední koncentraci agregací po jednotlivých kalendářních rocích.

Doplňková nastavení (statistika středu pro velikost sloupců v grafech).



Obrázek 2 - Náhled interaktivní mapy se sloupcovými grafy pro hodnocení kontaminace životního prostředí

T A

Č R

## Reference

- [1] Borůvková J., Gregor J., Šebková K., Bednářová Z., Kalina J., Hůlek R., Dušek L., Holoubek I., Klánová J. GENASIS – Global Environmental Assessment and Information System [online]. Masarykova univerzita, 2015 [cit. 2015-11-06]. Dostupný z: <http://www.genasis.cz>. Verze 2.0 [2015]. ISSN 1805-3181
- [2] United Nations Regional Groups of Member States. United Nations [online]. New York [cit. 2015-10-06]. Dostupné z: <http://www.un.org/depts/DGACM/RegionalGroups.shtml>
- [3] Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.