2023

Uživatelská příručka

Návod na použití aplikace SoilPass pro hodnocení hygienického stavu zemědělských půd v ČR

Výstup projektu TAČR č. SS03010364

Systém na podporu rozhodování při hodnocení kvality půdy z hlediska obsahu rizikových látek v zemědělských půdách České republiky

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

TA ČR

Autorský tým: Skála Jan, Vojtěchovský Tomáš, Papaj Vladimír, Žížala Daniel

Výzkum byl podpořen projektem č. SS03010364 financovaným se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v programu Prostředí pro život.

Autoři děkují Ministerstvu životního prostředí a Ministerstvu zemědělství za poskytnutí resortních dat a také jejich resortním organizacím České geologické službě, resp. Ústřednímu kontrolnímu a zkušebnímu ústavu zemědělskému za dlouhodobé úsilí při pořízení i správě těchto dat, bez kterých by znalostní a informační rozcestník k hodnocení kontaminace půd („***SoilPAss***“) nemohly vzniknout. Interaktivní rozcestník byl přijat Ministerstvem životního prostředí jako specializovaný softwarový nástroj a přestavuje tak interaktivní rozhraní nejen pro výstupy projektu, ale i pro poskytování relevantních informací k problematice znečištění půdy v ČR. Autoři děkují za součinnost Oddělení ochrany zemědělské půdy při Odboru adaptace na změnu klimatu MŽP a Oddělení půdy a lesnictví při Sekci zemědělských vstupů ÚKZÚZ za součinnost při aplikaci poznatků výzkumu. V neposlední řadě děkujeme odborným recenzentům za cenné připomínky k aplikaci, mapovým výstupům a dalším výsledkům projektu.

OBSAH

1 ÚVOD 4
2 NÁVOD K POUŽITÍ NÁSTROJE SOILPASS 5
2.1 Úvodní stránka aplikace 5
2.2 Hlavní komponenty aplikace 6
2.2.1 Mapové okno 7
2.2.2 Panel nástrojů 8
2.2.3 Interaktivní lišta 10
2.2.4 Mapový panel 13
3 PRÁCE S APLIKACÍ 14
3.1 Základní práce s mapovým oknem aplikace při výběru vhodných ploch v širším území 14
3.2 Základní práce s mapovým oknem aplikace při ověření kvality půdy na konkrétní zájmové ploše.. 18
3.3 Základní práce s mapovým oknem aplikace při analýze referenčních hodnot 22
4 DOPLŇKOVÝ INFORMAČNÍ SERVIS 26
5 LITERÁRNÍ ZDROJE 27

1 ÚVOD

Z hlediska obsahu rizikových látek v půdě je nejlepším opatřením pro budoucnost zabránit dalším nadměrným vstupům rizikových látek do půdy. Zároveň současná odpadová politika v Evropském prostoru podporuje minimalizaci vzniku odpadů, což s rostoucím deficitem přirozených materiálových zdrojů v agro-ekosystémech vede ke změnám v oblasti opětovného využívání alternativních zdrojů. Požadavkem je využití přijatelné pro životní prostředí, tj. hygienické jakosti jak aplikovaného materiálu, tak cílové půdy, což lze ověřit pouze analyticky. Ačkoliv ČR má nebývalé množství informací o hygienickém stavu půdy i komplexní legislativní nástroje ochrany zemědělské půdy, chybí relevantní volně dostupná datová a znalostní platforma umožňující „evidence-based" rozhodování všech aktérů managementu půdy.

V softwarovém nástroji jsou interaktivně zpracovány výsledky projektu „***SS03010364 Systém na podporu rozhodování při hodnocení kvality půdy z hlediska obsahu rizikových látek v zemědělských půdách České republiky***", který byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí v programu Prostředí pro život. Výsledkem je otevřený nástroj pro nezávislou metodickou a informační podporu k hodnocení hygienického stavu půd, tj. nabízí zdroj věrohodných nezávislých informací o obsazích rizikových látek jako podklad pro přiměřenou ochranu zemědělské půdy v návaznosti na existující legislativní rámec ochrany ZPF. Přiměřená ochrana půdy znamená nejen ochranu před rizikovými vstupy, ale také objektivní nástroje pro rozlišení, kdy obsahy rizikových prvků v půdách a navazujících ekosystémech jsou přirozenou vlastností systému.

Využití aplikace tvoří koncový aplikovaný nástroj pro využití 2 aplikovaných výstupů projektu – certifikované metodiky a specializovaných map s odborným obsahem. V rámci metodiky je navrženo, jak postupovat k danému cíli vytěžením existujících datových zdrojů, kdy lze využívat různé referenční hodnoty pro prvotní posouzení, přičemž tyto referenční hodnoty byly zapracovány do mapové aplikace v rámci interaktivního rozcestníku „***SoilPAss = Soil Pollution Assessment***" (https://soilpass.vumop.cz/), který je součástí geoportálu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i (https://geoportal.vumop.cz/).

Mapové podklady jsou v aplikaci zobrazovány tak, aby uživatel dostal maximálně objektivní a srozumitelnou informaci o výsledcích prediktivního mapování, včetně hodnocení inherentní nejistoty tohoto modelování. Naprogramovaná logika uživatelské aplikace obsahuje způsob, jak ze zdrojových dat získat požadované informace – tedy simulace expertního průzkumu a využití existujících datových zdrojů v ČR, aniž by aplikace poskytovala individuální data jednotlivých gestorů dat. Výstupy nástroje SoilPass jsou poskytovány bezplatně pro nekomerční využití. To přispívá k vyššímu standardu informačního zabezpečení problematiky hygienického stavu půdy z odborného i ekonomického hlediska, neboť jsou do oblasti laboratorního analytického sledování stavu půdy investovány soukromé (při managementu půdy a plnění legislativních podmínek) i veřejné prostředky (dlouhodobé programy sledování stavu půdy).

2 NÁVOD K POUŽITÍ NÁSTROJE SOILPASS

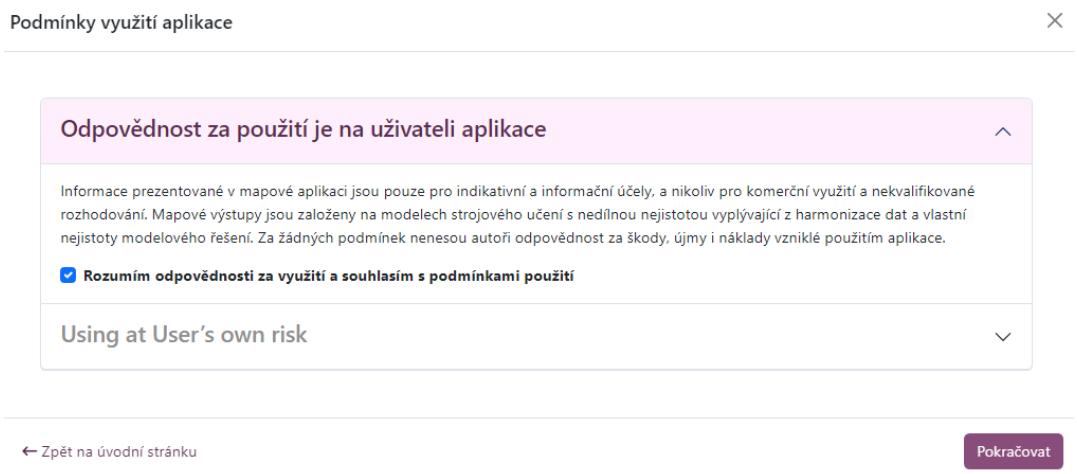
Textová verze manuálu je doplněna krátkými instruktážními videi, které jasně a přehledně demonstrují základní práci s komponenty aplikace a jejich využití pří práci v aplikaci. Odkazy na jednotlivá videa jsou vždy umístěny také pod příslušnými kapitolami a jsou označena tímto symbolem →.

Předložená uživatelská příručka poskytuje technický návod, jak s aplikací pracovat, nikoliv však odborný návod, jak výstupy z aplikace interpretovat – pro odbornou interpretaci je vhodné využít certifikovanou metodiku, která byla v rámci projektu vypracována (viz certifikovaná metodika – SKÁLA a kol. 2024). Tato metodika je volně dostupná ke stažení na úvodní stránce aplikace a je koncipována jako sada postupů, které uživateli poskytnou návod, jak implementovat jednotlivé kroky spojené s vyhodnocením exitujících dat pro porovnání s existujícími limitními hodnotami a také nabízí nové referenční hodnoty ve velmi detailním členění pro optimalizaci procesu hodnocení.

2.1 Úvodní stránka aplikace

Úvodní stránka aplikace se nachází na adrese https://soilpass.vumop.cz a nabízí možnost vstupu do interaktivního rozhraní aplikace. Uživateli dále nabízí aktuální přehled změn v aplikaci, přehled funkcí aplikace, podrobný návod ke stažení, odkaz na videa na serveru YouTube.com, stručné informace o kontaminaci půd, užitečné odkazy, a nakonec seznam použité a doporučené literatury. Na úvodí stránce může uživatel vstoupit do interaktivní části aplikace. Po vstupu do aplikace je nutné odsouhlasit podmínky využití aplikace. Zejména uživatel musí brát na vědomí, že výstupy jsou založeny na modelech strojového učení s nedílnou nejistotou vyplývající z harmonizace dat a vlastní nejistoty modelového řešení. Informace prezentované v mapové aplikaci jsou pouze pro indikativní a informační účely, a nikoliv pro komerční využití a nekvalifikované rozhodování.

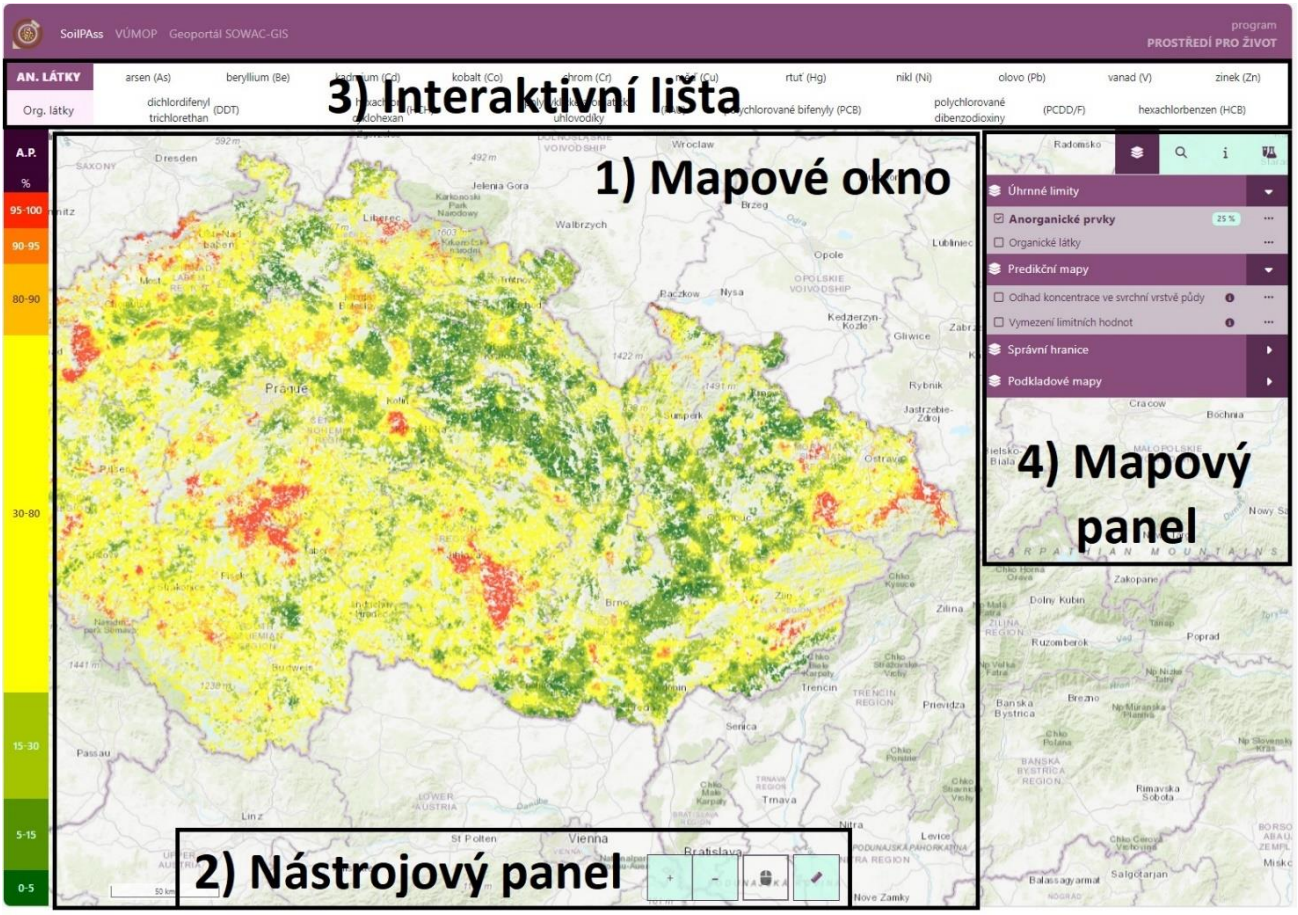
Obr. 1. *Okno s textem podmínek využití, jejichž odsouhlasením uživatel aplikace potvrzuje, že bere na vědomí účel i limity poskytovaných informací*



2.2 Hlavní komponenty aplikace

Po vstupu do aplikace se uprostřed zobrazí mapové okno (komponenta č. 1). V prostoru mapového okna je umístěn nástrojový panel (komponenta č. 2) se základními funkcemi pro práci v mapovém okně (měření délky a plochy, zoom a úpravu měřítka mapy, rychlý screening zobrazeného tematického povrchu). Cílem práce je propojit informaci o pravděpodobnosti, že půda v zájmovém místě uživatele plní požadavky na kvalitu z hlediska existujících standardů pro hygienický stav půdy s možností sledovat význam konkrétních analytické parametrů. K práci s celkovou informací o hygienickém stavu a jednotlivými analyty využívá aplikace postup, který kombinuje dvě funkční komponenty – interaktivní lištu (komponenta č. 3) a mapový panel (komponenta č. 4). Defaultní nastavení po vstupu uživatele do aplikace zobrazuje mapový a informační panel (komponenta č. 4) standartně jako uživatelsky osvědčený strom vrstev pro práci s mapovými vrstvami (strom dostupných tematických a podkladových topografických vrstev, nástroje pro zobrazení legendy, úpravy zobrazení).

Obr. 2. *Hlavní části aplikace*

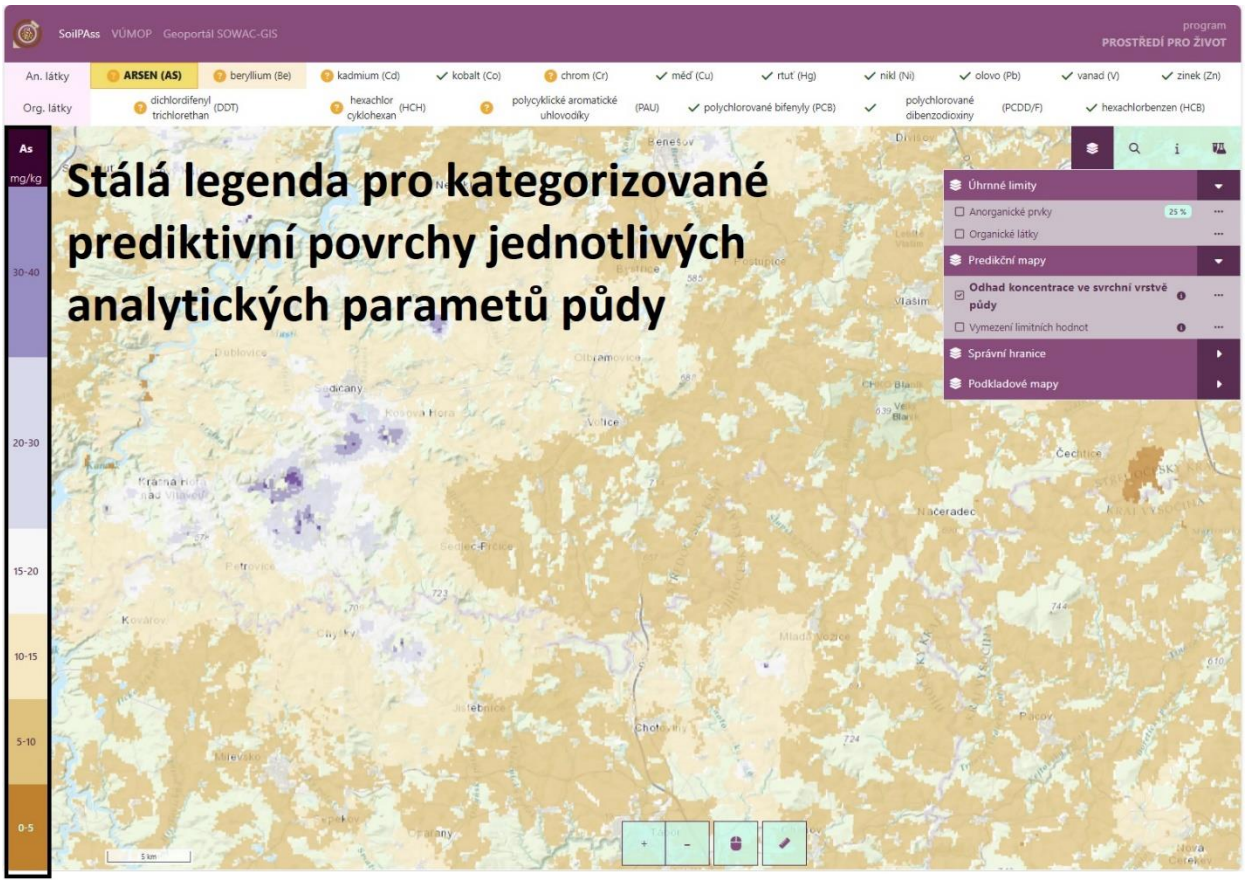


Vlastní mapový panel i interaktivní lišta se dynamicky mění podle lokalizace zájmového bodu uživatelem pomocí kurzoru myši, který spouští sérii analýz do tematických databází, které vznikly jako výstup prediktivních modelů strojového učení nad existujícími daty. Konkrétní postupy práce s jednotlivými komponentami jsou popsány v samostatných kapitolách.

2.2.1 Mapové okno

Mapové okno je hlavním zobrazovacím panelem aplikace SoilPass. Zobrazuje mapové podklady v závislosti na tom, jak jsou nadefinovány uživatelem dle zapnutých/vypnutých vrstev v mapovém panelu. Mapové podklady jsou pro projekty v ČR a SR defaultně zobrazeny v souřadnicovém systému S-JTSK (S-JTSK Křovák EastNorth). Mapové okno slouží k navigaci v mapě a pro přiblížení nad zájmové území.

Obr. 3. *Části mapového okna – stálá legenda zobrazeného povrchu v kategorizované formě*



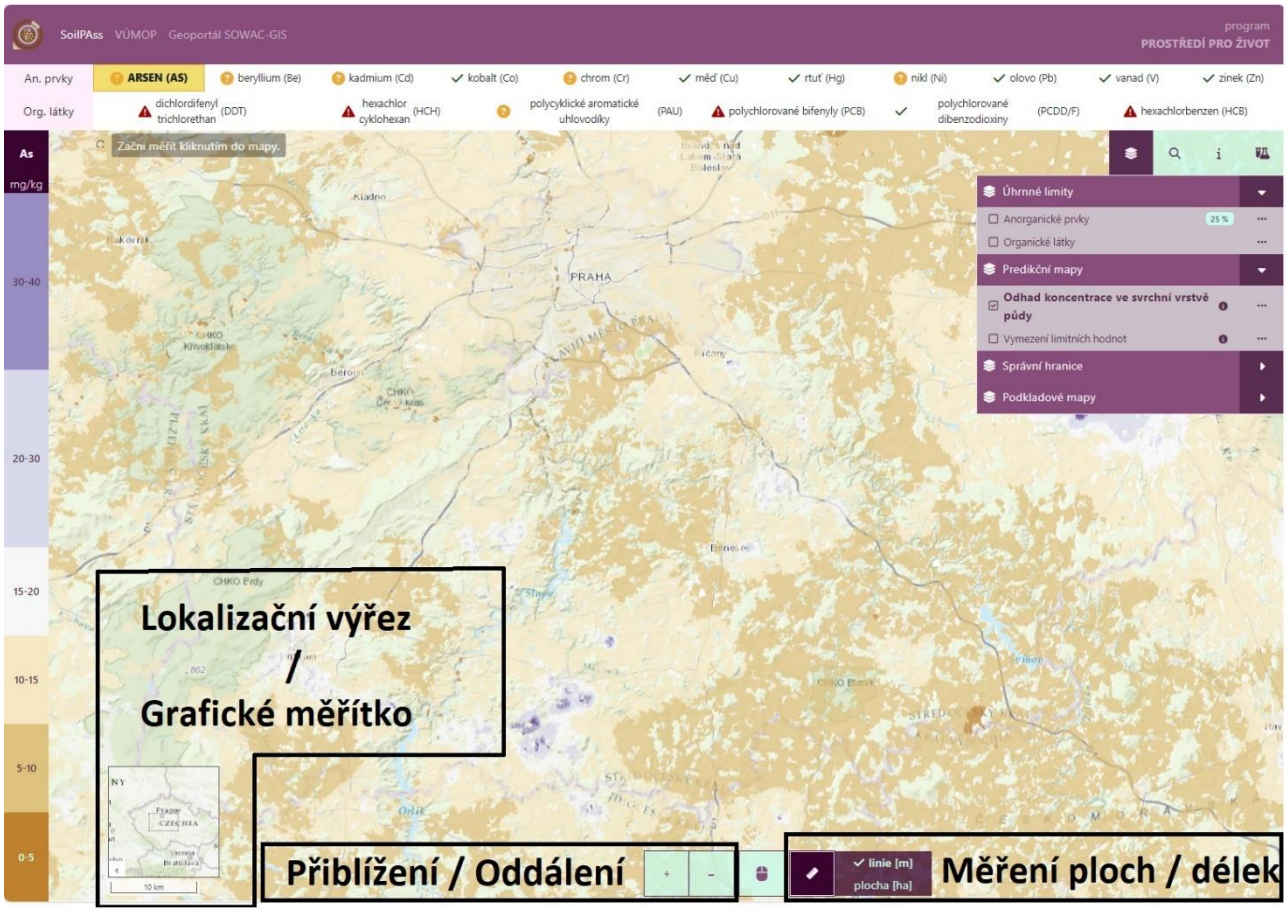
Kromě geografických dat obsahuje mapové okno ještě informační a ovládací prvky:

- Grafické měřítko

- Lokalizační výřez – zobrazí mapový rozsah zobrazeného území v mapovém okně v rámci ČR - šipka v levém dolním rohu nad grafickým měřítkem mapového okna aplikace umožňuje rozvinout okno s přehledovou mapou. Přesunutím znázorněné obdélníkové oblasti myší se rychle přesuneme na jiné místo v mapě.
- Stabilní kategorizovaná legenda aktuálně zobrazené tematické vrstvy
- Dynamická legenda – aktivuje se pouze při použití nástroje pro rychlý screening povrchu – viz dále.

ⓘ *Tip pro užívání: Pro komfortnější práci a využití celé plochy monitoru použijte klávesu F11. Zmizí záložky webového prohlížeče. Režim celé obrazovky ukončíte opětovným stisknutím klávesy F11.*

Obr. 4. *Nástroje pro práci v mapovém okně*



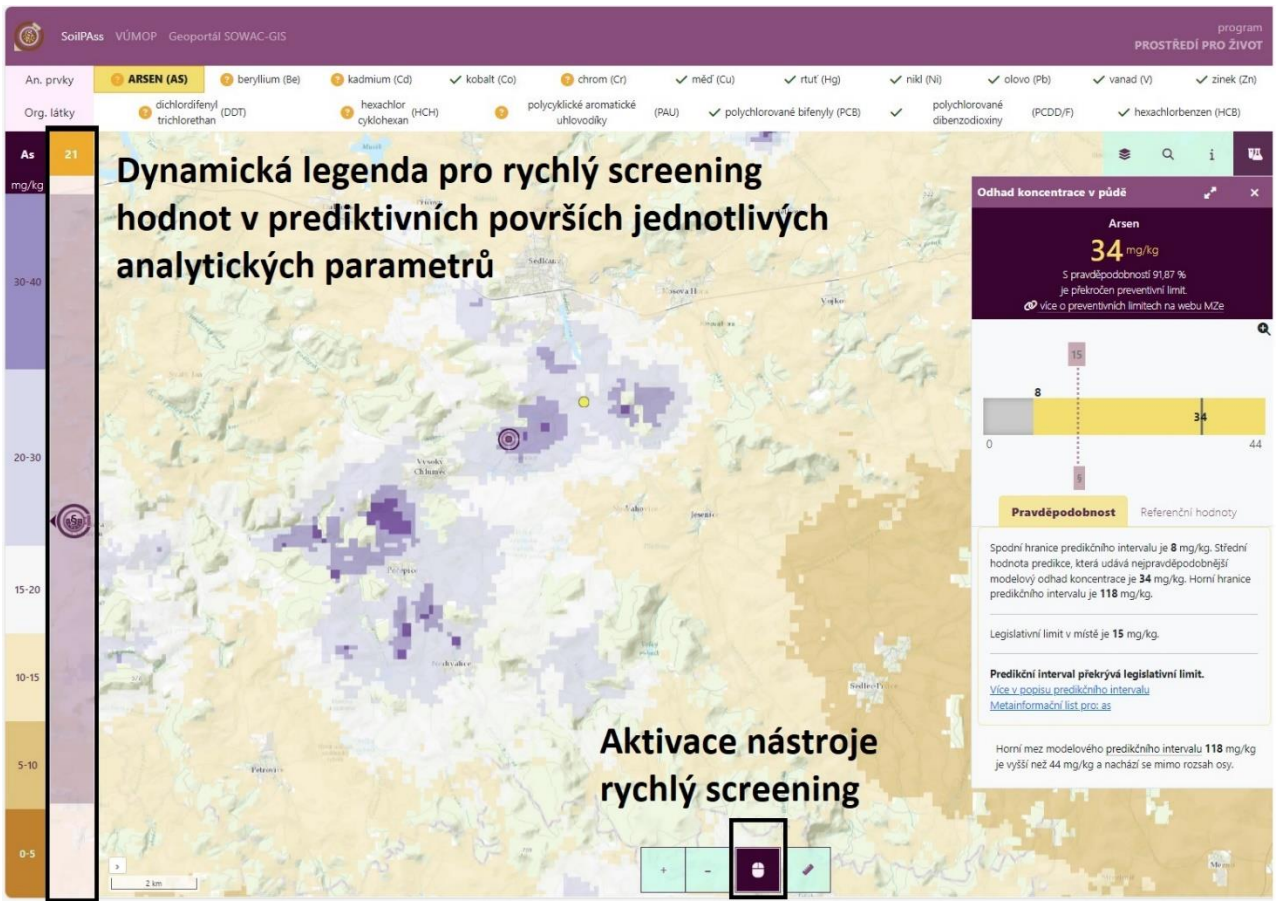
2.2.2 Panel nástrojů

Aplikace zobrazuje ve spodní části uprostřed mapového okna sdružené ikony s nástroji. Tyto nástroje slouží k další práci s mapou:

- Nástroj měření umožňuje měření délek a ploch v mapě, které umožňují nakreslit vlastní linii či měří vlastní n-úhelník a měřit jejich délku, resp. plochu.
- Ovládání zoomu pomocí + a –
- Zapínání a vypínání nástroje rychlého screening povrchu

ⓘ *Tip pro užívání: Přiblížení/oddálení mapy lze provést také kolečkem myši. Podobně lze nástroj pro rychlý screening prediktivního povrchu jednotlivých mapových podkladů aktivovat pravým tlačítkem myši – viz dále používání aplikace.*

Obr. 5. *Části mapového okna – dynamická legenda při průzkumu zobrazeného povrchu nástrojem rychlý screening*



Uživatel tedy může využívat kombinaci fixace zájmového bodu klikem do dotazovatelného povrchu (jednotlivé prediktivní povrchy cílových prvků a látek) a poté pravým klikem provádět dynamický screening okolí. Na Obr. 5 je takový příklad – uživatel zafixoval zájmový bod – informace dostává v informačním panelu. Poté využívá nástroj rychlého procházení povrchů a v levé části legendy se objeví dynamická součást legendy, která informuje uživatele o odhadu koncentrace v místě pohybujícího se

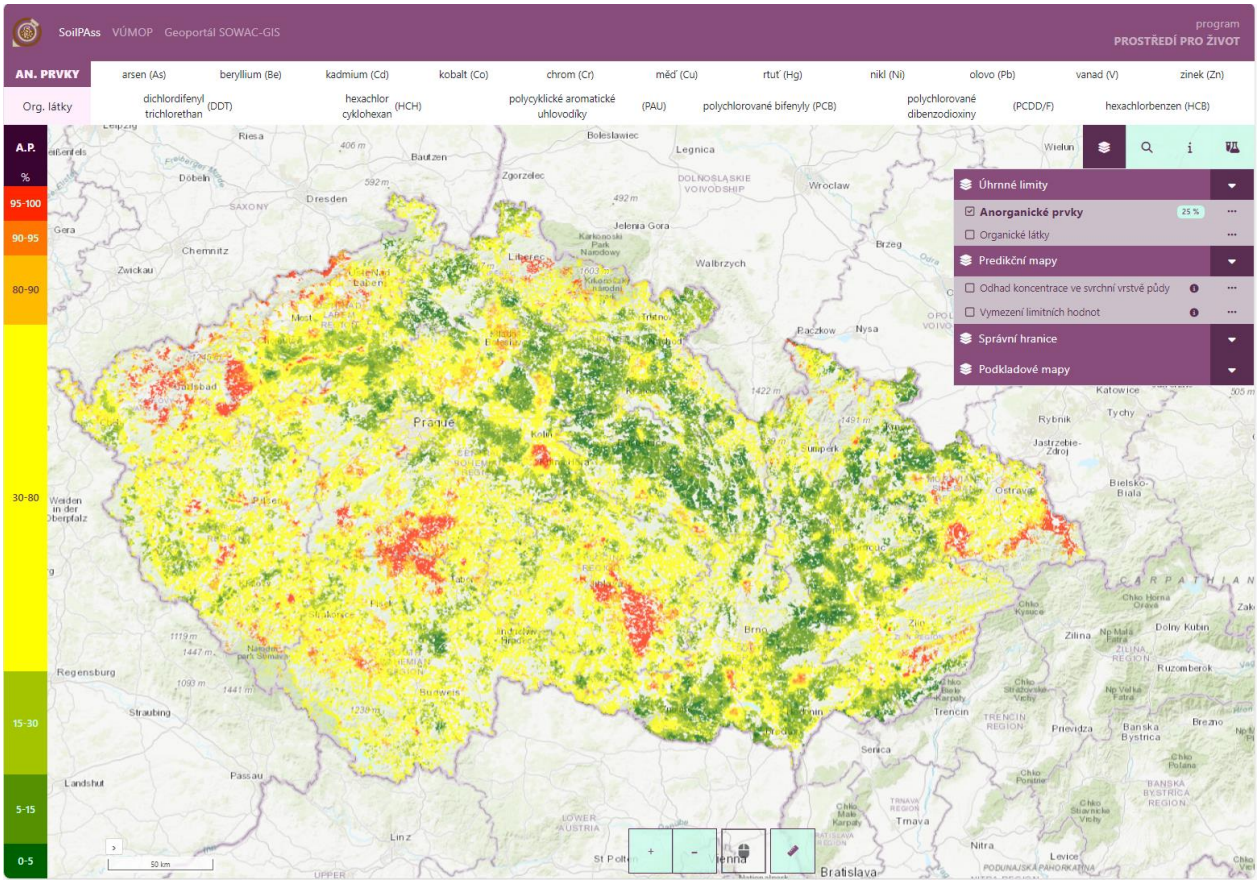
kurzoru. Zároveň se zobrazuje šířka predikčního (konfidenčního) intervalu v měřítku klasifikovaných kategorií.

2.2.3 Interaktivní lišta

Základní funkcionalitou interaktivní lišty je přepínání mezi povrchy pro jednotlivé rizikové prvky a rizikové látky. Uživatel může volit mezi dvěma typy prediktivních povrchů – úhrnné a jednotlivé. Zatímco úhrnné zahrnují pouze dvě volitelné záložky, které zobrazují data na pravděpodobnostní škále:

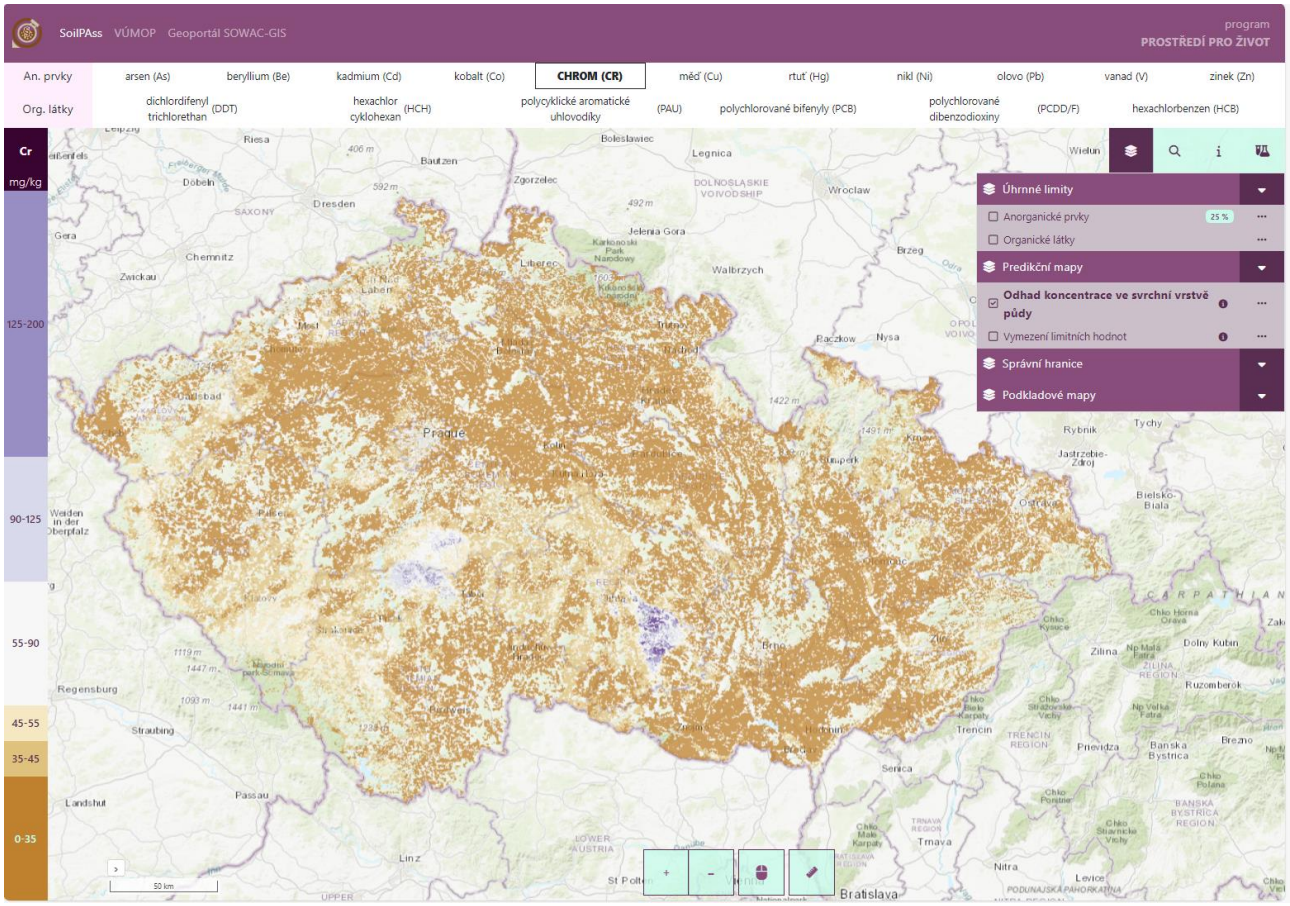
- Anorganické prvky – pravděpodobnost překročení limitní hodnoty alespoň pro jeden prvek ze sledovaných rizikových prvků
- Organické látky – pravděpodobnost překročení limitní hodnoty alespoň pro jednu látky ze skupiny perzistentních organických polutantů

Obr. 6. *Defaultní zobrazení mapového okna – úhrnné zobrazení výstupů na pravděpodobnostní škále*



Naproti tomu ostatní záložky pro jednotlivé prvky a látky zobrazují prediktivní povrchy koncentrací jednotlivých rizikových prvků (11 prvků – As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn) a jednotlivých rizikových látek (6 skupin látek – ∑ DDT a metabolitů, ∑ HCH, HCB, ∑ PAU, ∑ PCB, I-TEQ PCDDF).

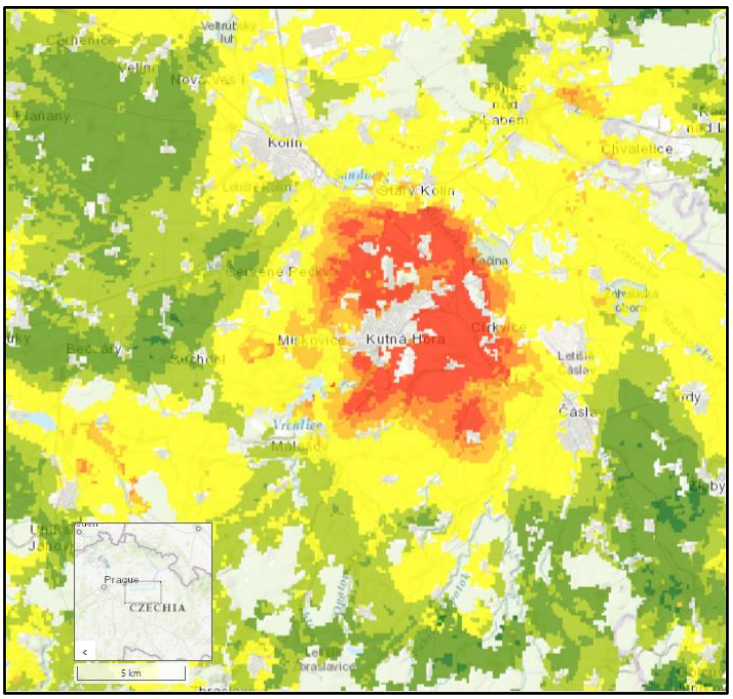
Obr. 7. *Zobrazení jednotlivých predikčních povrchů v mapovém okně (Cr v příkladu) volbou na interaktivní liště pro zobrazení výstupů na koncentrační škále*



Dokud uživatel nefixuje zájmový bod, lze tyto povrchy prohlížet bez dalších nadstavbových funkcí interaktivní lišty a mapového panelu pomocí nástrojového panelu. Nicméně lišta kromě základní navigační funkce interaktivně informuje uživatele úhrnně o výsledcích dotazování do všech tematických vrstev na základě lokalizace (fixace) zájmového bodu uživatelem.

ⓘ *Tip pro užívání: Po spuštění aplikace je defaultně nastaveno zobrazení klasifikované pravděpodobnostní vrstvy překročení tzv. preventivní limitní hodnoty pro alespoň jeden prvek ze skupiny 11 rizikových prvků. Preventivní limity svým způsobem odvození vyjadřují pozaďové hodnoty rizikových prvků/látek v našich zemědělských půdách. Pozor však po výběru záložky pro konkrétní zájmový prvek/látku se mění i význam zobrazovaných hodnot z pravděpodobností škály na koncentrace, což je dobře vidět také na stálé legendě v levé části mapového okna. Pravděpodobnostní škálu 2 úhrnných map pro překročení limitních hodnot (anorganické prvky a organické látky) lze také interpretovat slovním popisem jednotlivých kategorií, který vychází z doporučení pro pravděpodobnostní škálu používaná v Mezivládním panelu pro změnu klimatu (IPCC) (BUDESCU et al. 2009)*

- < 1 % = vysoce nepravděpodobné překročení limitní hodnoty
- 1 – 10 % = velmi nepravděpodobné překročení limitní hodnoty
- 10 – 33 % = nepravděpodobné překročení limitní hodnoty
- 33 – 66 % = stejně pravděpodobné jako nepravděpodobné překročení
- 66 – 90 % = pravděpodobné překročení limitní hodnoty
- 90 – 99 % = velmi pravděpodobné překročení limitní hodnoty
- > 99 % = vysoce pravděpodobné překročení limitní hodnoty

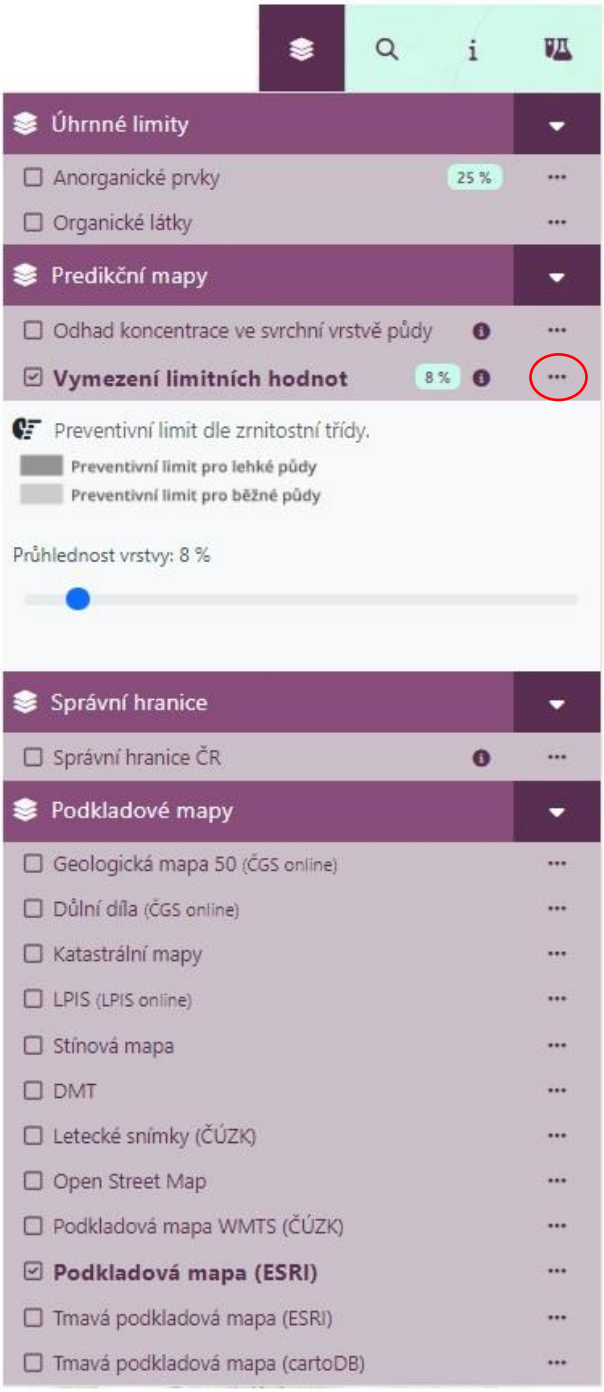


2.2.4 Mapový panel

Nástroj slouží jako správce dostupných mapových vrstev – umožňuje jejich zobrazení a vytváření mapových kompozic. Po najetí myší na libovolnou mapovou vrstvu a rozkliknutím ikony ··· dojde k zobrazení legendy a rozšiřujícího vysvětlení dané položky nebo zobrazení krátké nápovědy. V rozšiřující části lze u všech vrstev měnit průhlednost, a tím dle potřeby upravovat zobrazení jednotlivých vrstev. Tzn. mapový panel slouží stabilně ke správě vrstev v aplikaci, nicméně jeho využití se rozšiřuje po lokalizaci zájmového bodu – viz dále kapitola Používání aplikace. K dispozici jsou jednak **tematické** a jednak **podkladové** mapové vrstvy.

- Jako **podkladové** mapy slouží pro základní topografickou orientaci rastrové mapy z projektu OpenStreetMap, dále je k dispozici mapa z ArcGIS Online nebo letecké snímky a administrativní členění poskytované Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním. K dispozicí jsou také Stínované snímky Digitálního modelu terénu. Pro přesné topografické vymezení jsou k dispozici jednak data LPIS a Katastru nemovitostí, která jsou dostupná až ve velkých měřítcích (při velkém přiblížení mapy). K dispozici jsou také podkladové vrstvy geologických map z WMS služeb České geologické služby, přičemž do aplikaci bylo přímo připojeny dvě podkladové vrstvy - jednak bezešvá geologická mapa GEOČR50 zobrazující digitalizované geologické mapy 1 : 50 000 a jednak databáze zobrazující jednotlivá hlubinná důlní díla.
- **Tematické mapy** slouží k zobrazení kompozic mapových vrstev specializovaných map s odborným obsahem (Úhrnné limity a Predikční mapy), které je možné aktivovat či deaktivovat v panelu vrstev. Tyto vrstvy jsou hlavním interaktivně dotazovatelným obsahem aplikace.

Obr. 8. *Jednotlivé části mapového okna – mapový panel a jeho část pro správu vrstev*



K dalším stálým funkcím Mapového panelu patří nástroje pro vyhledávání zájmové lokality – podle katastrů obcí (postupně budou přidány i další způsoby vyhledávání). Nástroje vyhledávání jsou k dispozici pod ikonou lupy.

Podobně jako Interaktivní lišta, také Mapový panel rozšiřuje svoji funkcionalitu po lokalizaci (fixaci) zájmového bodu uživatelem o rozšiřující tematické informace z jednotlivých prediktivních mapových výstupů ze strojového učení – viz další kapitoly.

3 PRÁCE S APLIKACÍ

Práce s aplikací vychází z požadavku na optimalizaci třech základních úkonů explorativní práce:

- výběr plochy v širším zájmovém území, která s velkou pravděpodobnostní naplní kritéria hygienického stavu půdy dané legislativními požadavky – tj. výběr takové plochy pro analytické ověření hygienické kvality půdy in-situ, u které lze na základě kombinace vzorkování v okolí a prediktivních modelů očakávat splnění legislativních požadavků pro specifický management půdy (aplikace kalů z čistíren odpadních vod, aplikace vytěžených sedimentů).
- ověření indikátorů hygienického stavu půdy na konkrétním zájmovém místě – určení potencionálních střetů s legislativně danými hodnotami a z toho vyplývajících případných omezení managementu půdy.
- srovnání v terénu naměřených hodnot s národními, lokálními referenčními hodnotami jako podklad pro určení převládajícího zdroje zvýšených obsahů v půdě.

Aplikace tedy nabízí interaktivní nástroje, které by využíval expert při posouzení hygienického stavu zájmové lokality s využitím existujících datových zdrojů – tj. cílem je nabídnout interaktivní nástroje k simulaci explorativní práce experta.

3.1 Základní práce s mapovým oknem aplikace při výběru vhodných ploch v širším území

Uživatel vstupuje do prostředí aplikace. Defaultně se mu v mapovém okně zobrazí klasifikovaná pravděpodobnostní vrstva překročení tzv. preventivní limitní hodnoty pro alespoň jeden prvek ze skupiny 11 rizikových prvků. To lze snadno překliknout pomocí interaktivní lišty na analogickou úhrnnou pravděpodobnost pro skupinu perzistentních organických látek. Uživatel může využít dostupné vyhledávácí nástroje pro zacílení svého zájmového území. A poté v území sleduje úhrnné povrchy pravděpodobnosti překročení limitních hodnot. Účelem je vybrat cílovou plochu do míst, kde je nízká pravděpodobnost překročení limitních hodnot.

Pravděpodobností rastry (pro rizikové prvky i organické látky) jsou klasifikovány na principu semaforu. Uživatel hledá zájmovou plochou, kde má zemědělská půda vysokou pravděpodobnost naplnění

legislativně určených indikátoru hygienického stavu (v tomto případě preventivní limitní hodnoty dle vyhlášky 153/2016 Sb.). Zajímají ho tedy plochy, se zelenými odstíny v cílovém pravděpodobnostním rastru.

Dalším pragmatickým nástrojem výběru plochy v daném území je možnost sledovat platnosti jednotlivých limitních hodnot. Vzhledem k tomu, že ve Vyhlášce č. 153/2016 Sb. jsou uvedeny dvě limitní hodnoty v závislosti na půdní textuře (viz Tab. 4), tj. v přesném znění vyhlášky dle Novákovy klasifikace českých půd v závislosti na obsahu částic < 0,01 mm, mohou se limitní hodnoty pro rizikové prvky (platí pouze pro rizikové prvky kromě Hg) měnit v závislosti na půdním prostředí. Úlohou uživatele aplikace tedy může být i výběr plochy, která má větší pravděpodobnost výskytu méně zranitelných půd z hlediska kontaminace, tzn. pro případnou aplikaci vybrat takovou půdu, která je pod nízkou aktuální zátěží a zároveň má vyšší pufrační schopnost se s dotací rizikových prvků či látek v aplikovaném materiálu (kaly ČOV, sedimenty, komposty, pomocné půdní látky) relativně dobře vyrovnat.

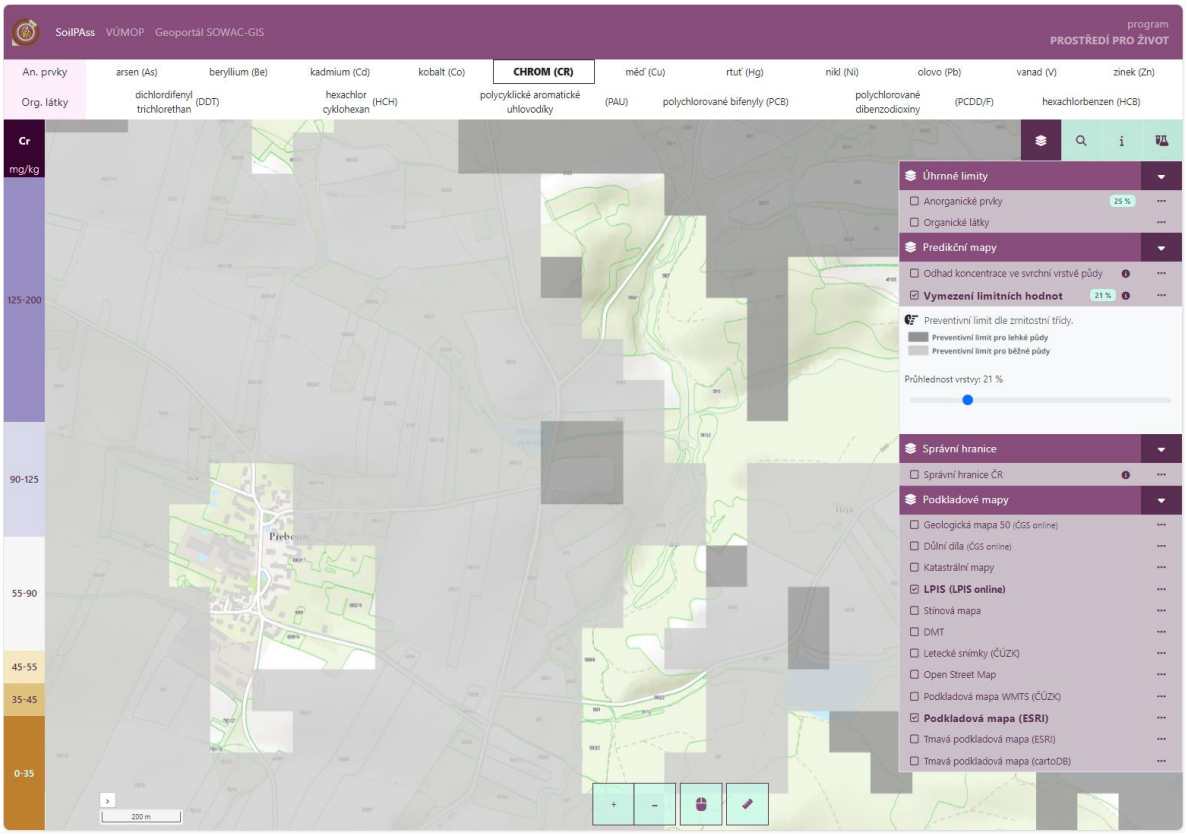
Tab. 1. *Diferenciace limitních hodnot arzenu podle půdní textury dle Vyhlášky č. 153/2016 Sb.*

Obsah částic < 0,01 mm [%]	***Půdní druhy***	***Označení dle Vyhlášky***	***Preventivní limit – As [mg/kg]***
0 – 20	*Hlinitopísčitá (HP)* *Písčitá (P)*	*Lehké půdy*	*15*
20 – 100	*Jíl (J)* *Jílovitá (JV)* *Jílovitohlinitá (JH)* *Hlinitá (H)* *Písčitohlinitá (PH)*	*Běžné půdy*	*20*

V tomto ohledu nabízí nástroj uživateli dva pragmatické nástroje:

- Využití jednoduché binární mapy platnosti limitů dle texturní třídy půdy – ta vznikla na základě geostatistického modelu pro obsah částic velikosti <0,01 mm, který byl modelován na základě archivních dat základních sond Komplexního průzkumu půd za pomoci progresivních geostatistických nástrojů a výsledný povrch obsahu částic byl kategorizován na dvě kategorie dle hranice 20 % obsahu půdních částic velikosti <0,01 mm na třídy lehkých a běžných půd.

Obr. 9. *Mapové okno a panel se zobrazením binární mapy platnosti limitů dle texturní třídy půdy*

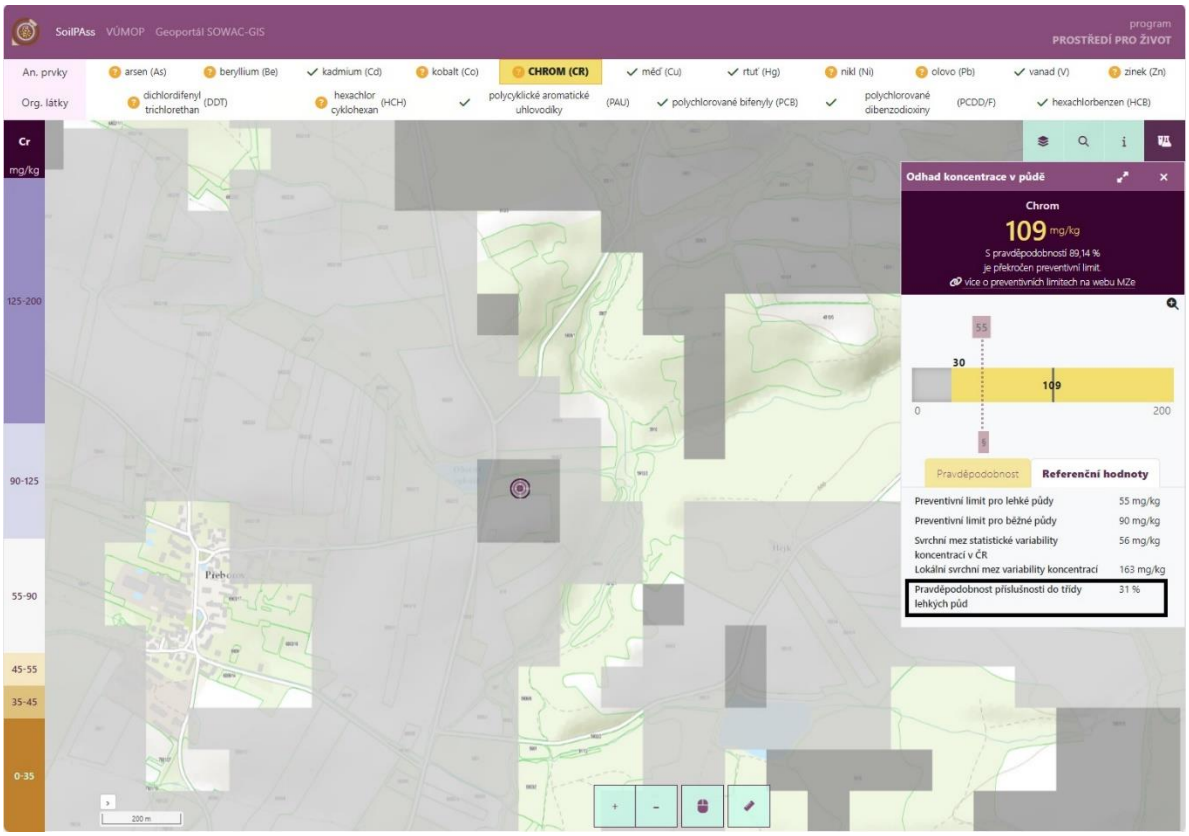


ⓘ *Tip pro užívání: Uživatel se na defaultním povrchu pravděpodobnosti zoomuje na vybraný region (manuálně či vyhledávačem) a poté přepnutím na koncentrační povrch libovolného prvku na interaktivní liště spouští mapový panel v pravé části, kde ve stromu vrstev přepíná zájmovou vrstvu na Vymezení limitních hodnot – tato vrstva pak zobrazuje právě jednoduchý kategorický rastr pro vymezení platnosti limitních půd dle hranice texturní třídy dle obsah částic.*

- Druhou možností je využít detailnější informaci z kvantifikované pravděpodobnosti, že půda bude klasifikována jako lehká (tj. obsah částic menších než 0,01 mm je =< 20 %). Tato mapa vznikla také na základě archivních dat základních sond Komplexního průzkumu půd, nicméně zde byl obsah částic nejprve převeden na binární indikátor 0 a 1 pro data, která mají obsah částic větší než 20 %, resp. menší než 20 %. Takto upravená data byla modelována pomocí metod strojového učení za využití celé řady environmentálních vysvětlujících proměnných (tzv. kovariantních prediktorů) využitím metody náhodných lesů. Výsledkem je prediktivní mapa

pravděpodobnosti platnosti přísnějších limitů pro rizikové prvky, tj. pravděpodobnosti naplnění podmínky, že půda je klasifikována jako lehká ve smyslu vyhlášky č. 153/2016 Sb. Toto mapové vyjádření je také plně dotazovatelné skrze informační mapový panel, kde je k dispozici záložka Referenční hodnoty a kde uživatel po zafixování bodu v mapovém okně může získat kvantifikovaný údaj o pravděpodobnosti platnosti různé limitní hodnoty.

Obr. 10. *Mapový panel se zobrazením kvantifikované pravděpodobnosti platnosti limitů dle texturní třídy*



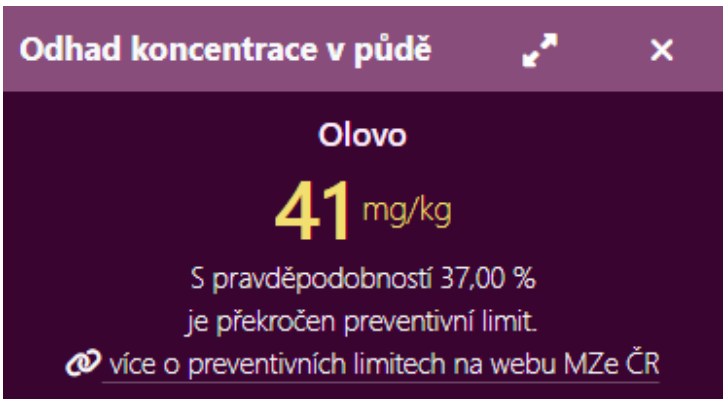
ⓘ *Tip pro užívání: Uživatel se na defaultním povrchu pravděpodobnosti zoomuje na vybraný region (manuálně či vyhledávačem), a poté přepnutím na koncentrační povrch libovolného prvku na interaktivní liště spouští mapový panel v pravé části, kde ve stromu vrstev přepíná zájmovou vrstvu na Vymezení limitních hodnot, dle této vrstvy fixuje zájmový bod klikem levého tlačítka myši ve vrstvě Vymezení limitních hodnot a následně v informačním panelu přepne na záložku Referenční hodnoty, kde lze sledovat pravděpodobnost příslušnosti půdy na fixovaném bodě do třídy lehkých (tedy více zranitelných) půd, reciproční pravděpodobnost (rozdíl do 100 %) vyjadřuje pravděpodobnost, že půdy naplní definici běžných půd s obsahem částic do 0,01 mm větším než 20 %.*

3.2 Základní práce s mapovým oknem aplikace při ověření kvality půdy na konkrétní zájmové ploše

Principem explorativní analýzy na konkrétním zájmovém místě je vždy fixace zájmového bodu. Tu uživatel provádí klikem levého tlačítka myši v mapovém okně. Po fixaci bodu se na pozadí spouští databázové dotazy do prediktivních povrchů jednotlivých parametrů (tedy do koncentračních prediktivních výsledků) a prvotní informaci vrací uživateli interaktivní lišta. Ta pomocí kombinace podbarvení a ikon informuje uživatele o výsledcích dotazu.

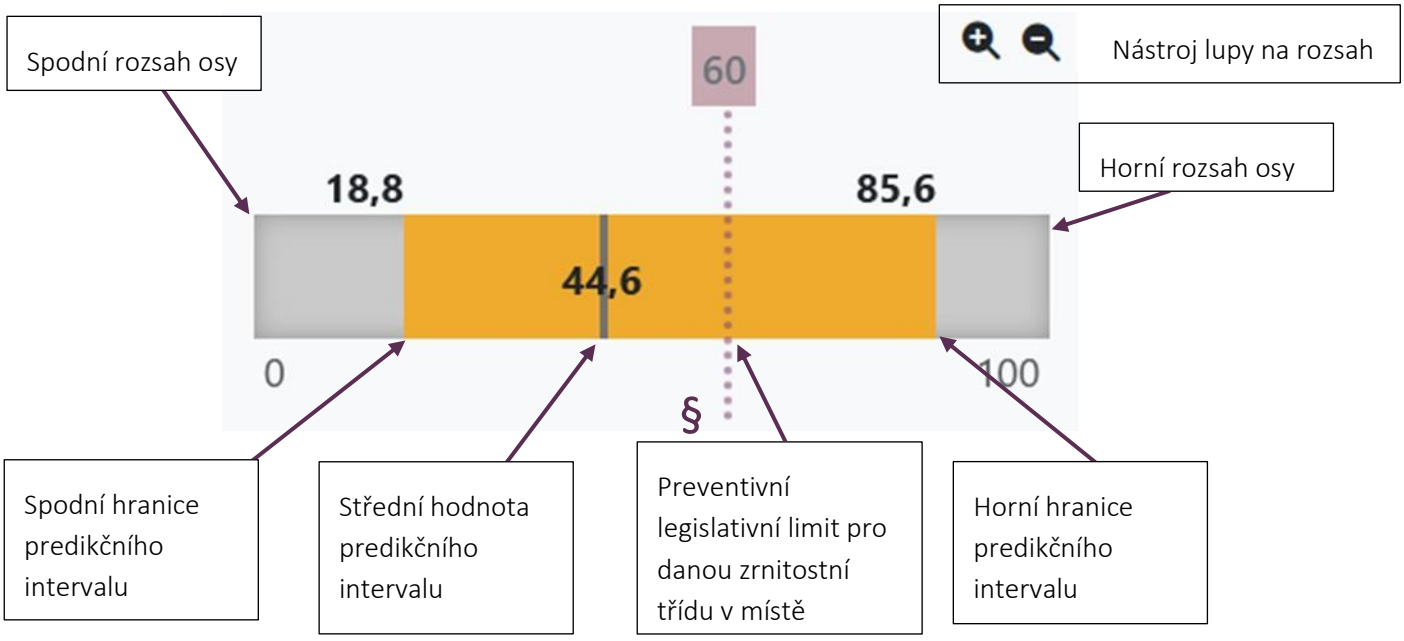
Pro základní informování využívá 4 podbarvené ikony, které symbolicky a barevně vyjadřují výsledky dotazu do prediktivních povrchů jednotlivých analytických parametrů (do prediktivních odhadů koncentrace v půdě). Na stejném principu jsou pak zobrazovány výsledky v infomačním panelu, který interaktivně uživatele informuje o jednotlivých analytických parametrech ve větším detailu ve srovnání s rychlou indikativní formou, kterou poskytuje informativní lišta. Interpretační význam je v obou případech založen na třech parametrech z výstupů modelování – odhad koncentrace v místě, konfidenční interval predikce vyjádřený šířkou predikčního intervalu v daném místě dle výsledků strojového učení a pravděpodobně platná limitní hodnota.

Obr. 11. *Mapový panel – informace o odhadu koncentrace a pravděpodobnosti překročení preventivních limitů pro danou texturní třídu půdy ve fixovaném bodě*



Odhad koncentrace je střední hodnotu predikce, tedy zjednodušeně nejlepší odhad koncentrace dané látky v místě – tento údaj je také zobrazován v kategorizované podobě v mapovém okně. Šířka predikčního intervalu zobrazuje interval hodnot, ve kterých se s 90% pravděpodobností nachází hodnota koncentrace v daném místě. Čím užší interval, tím je predikce přesnější. A naopak, čím širší interval, tím je větší nejistota určení koncentrace látky v místě. Predikční interval je rozsah mezi dolním intervalem predikce (Q5 – 5% kvantil predikovaných hodnot) a horním intervalem predikce (Q95 – 95% kvantil predikovaných hodnot). Tyto dva parametry jsou pak relačně porovnány s hodnotou legislativního hygienického limitu pro danou látku/prvek dle následující interpretační logiky.

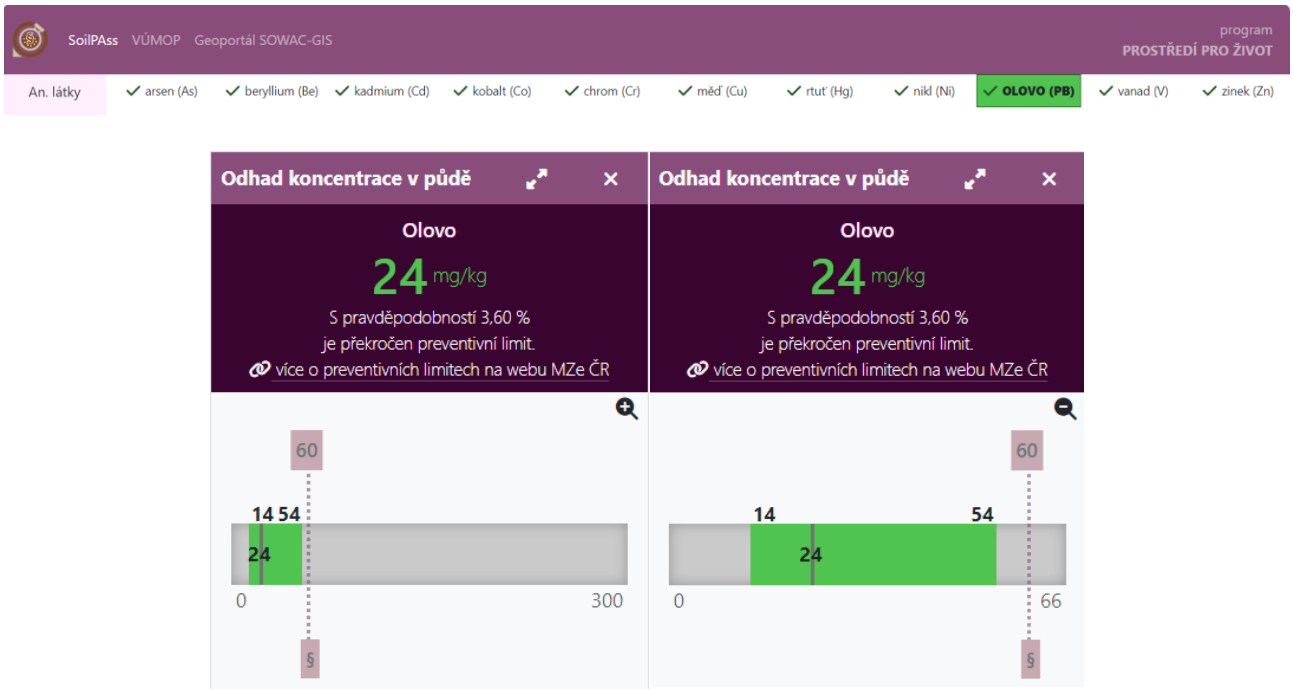
Obr. 12. *Bližší popis predikčního intervalu v kontextu legislativního hygienického limitu je zobrazen pod tímto oknem na ose s hodnotami koncentrace v mg.kg^{-1} pro danou látku*



ⓘ *Tip pro užívání: Horní rozsah osy je u rizikových prvků volen, aby odpovídal 2. úrovni legislativních limitů – tj. indikačnímu limitu dle platné Vyhlášky 153/2016 Sb. (je třeba vzít v úvahu, že tyto limity jsou různě diferencované, a tedy i složitější z hlediska interpretace). Pro případy, kdy fixní horní rozsah osy (který může vyjadřovat indikační limit, pokud existuje) neumožnuje nebo zhoršuje čitelnost predikčních koncentrací, lze grafické zobrazení výsledků predikce upravovat nástrojem lupy tak, aby byl zobrazen úplný rozsah zobrazených hodnot – tj. celé rozpětí predikčního intervalu pro vysoké hodnoty, resp. umožňuje „vycentrovat" zobrazení okolo prediktivní hodnoty pro lepší čitelnost výstupů pro nízké hodnoty. Pomocí nástroje lupy lze mezi zobrazeními libovolně přepínat, a tím měnit rozsah zobrazovaných hodnot – příklady jsou na následujících obrazcích.*

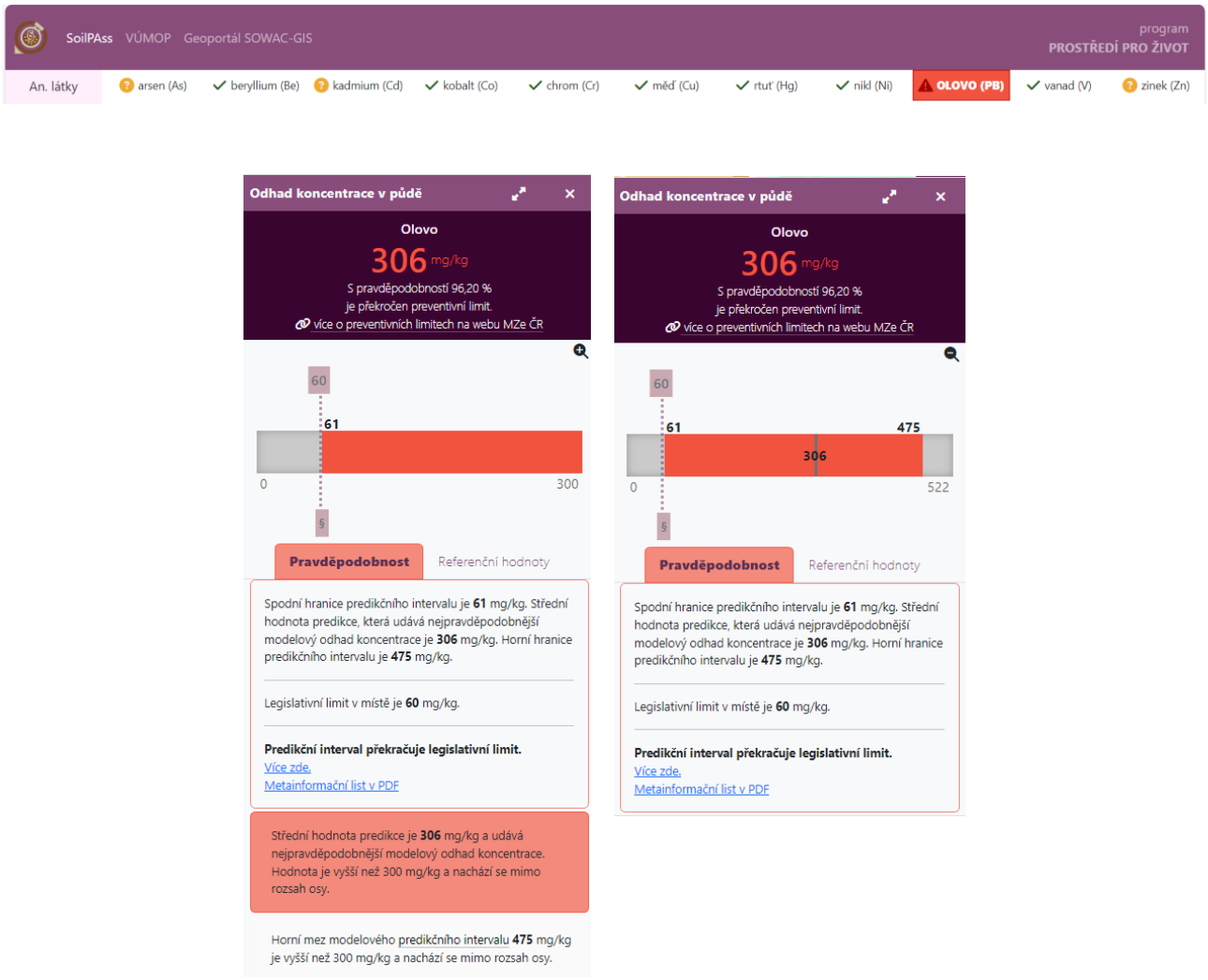
Pokud leží celý predikční interval (PI) pod hranicí legislativního limitu (který se ještě může u rizikových prvků lišit podle texturní třídy půdy v daném místě), je pravděpodobnost překročení malá a interval je zobrazen v infomační části mapovém panelu aplikace zeleně a na interaktivní liště je prvek/látka označena zelenou ikonou „fajfky". Zeleně se podbarvuje také střední odhad koncentrace zvoleného analytu – tj. očekávaná hodnota zobrazená – viz. Obr. 13. Nástroj lupy „vycentruje" zobrazovaný predikční interval pro lepší zobrazení a čitelnost výstupu.

Obr. 13. *Mapový panel – zobrazení predikčního intervalu v případech polohy celého predikčního intervalu pod příslušným limitem*



Obr. 14. *Mapový panel – zobrazení predikčního intervalu v případech polohy predikčního intervalu protínající příslušnou limitní hodnotu*

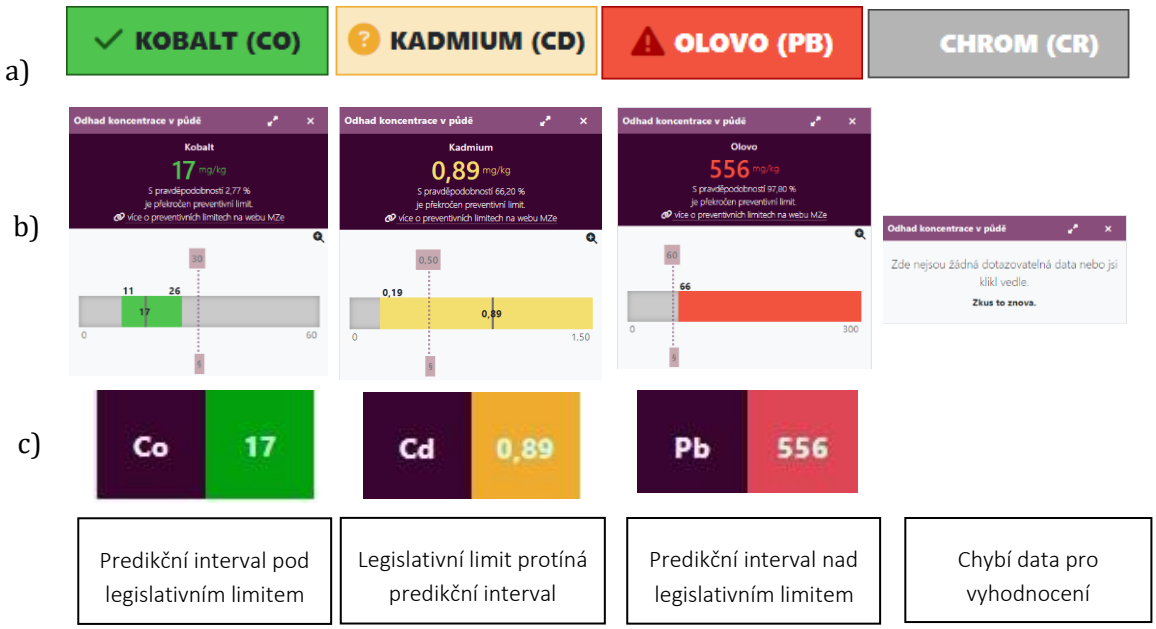
Obr. 15. *Mapový panel – zobrazení predikčního intervalu v případech polohy celého predikčního intervalu nad příslušným limitem*



Pokud PI překrývá hodnotu legislativního limitu v daném místě, je pravděpodobnost střední a interval je zobrazen v infomační části mapovém panelu aplikace oranžově a na interaktivní liště je prvek/látka označena oranžově podbarvenou ikonou „otazníku“. Oranžově se podbarvuje také střední odhad koncentrace zvoleného analytu – tj. očekávaná hodnota zobrazená – viz. Obr. 14. Nástroj lupy v tomto případě pouze „vycentruje“ zobrazovaný predikční interval pro lepší čitelnost. Pokud PI leží celý nad hodnotou legislativního limitu v daném místě, je pravděpodobnost překročení vysoká a interval je zobrazen v infomační části mapovém panelu aplikace červeně a na interaktivní liště je prvek/látka označena červeně podbarvenou ikonou „vykřičníku“. Červeně se podbarvuje také střední odhad koncentrace zvoleného analytu - tj. očekávaná hodnota zobrazená – viz. Obr. 15. Při fixním rozsahu osy

mohou hodnoty prediktivních koncentrací překračovat škálu zobrazené osy. V tomto případě jsou zobrazena varování s udáním hodnot i textově, alternativně lze využít nástroj lupy:

Obr. 16. *Sémantický význam barev a ikon, který je zachován ve všech částech aplikace - interaktivní lišta – a), mapový panel – b), dynamická legenda – c)*



ⓘ *Tip pro užívání: Systém ikon a barevného semaforu lze využívat pro rychlé a přehledné informace o více cílových parametrech půdy – viz Obr. 16.*

3.3 Základní práce s mapovým oknem aplikace při analýze referenčních hodnot

Přirozenou cestu k hodnocení potencionálních zdrojů kontaminace je srovnání hodnot z existujících datových zdrojů a vytěžování informací z těchto dat pro nastavení optimálních referenčních hodnot. Nejjednodušší metodou vyhodnocení úrovně rizikového prvku nebo rizikových látek v půdě je srovnání s běžně se vyskytujícími hodnotami obsahu, tj. takovými, které vyjádřením odrážejí v součtu obsahy pocházející z geologického substrátu a z difuzní antropogenní kontaminace (VÁCHA et al. 2015). K tomu účelu se běžně používají statisticky odvozené prahové hodnoty. Tímto způsobem byly v ČR odvozené i v současnosti platné limitní hodnoty dané Vyhláškou MŽP ČR č. 153/2016 Sb. (Tab. 1). V legislativě ČR jsou od roku 2016 novelou zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně ZPF zavedeny pojmy preventivní a indikační hodnoty obsahů rizikových prvků a rizikových látek v půdě. Preventivní hodnoty byly

odvozeny jako svrchní mez statistické variability koncentrací pro daný prvek kalkulovaná jako součin geometrického průměru a druhé mocniny směrodatné odchylky geometrického průměru (NĚMEČEK et al. 1996). Preventivní limitní hodnoty tvoří základ pro srovnání úrovně kontaminace a jsou ústřední referenční hladinou v aplikaci – k těmto hodnotám se vztahují pravděpodobnosti překročení limitních hodnot a jsou zobrazovány v grafických výstupech na informačním panelu.

Tab. 2. *Diferenciace preventivních limitních hodnot podle půdní textury dle Vyhlášky MŽP ČR č. 153/2016 Sb. (hodnoty v mg/kg)*

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
Běžné půdy	20	2.0	0.5	30	90	60	0,3	50	60	130	120
Lehké půdy	15	1.5	0.4	20	55	45	0,3	45	55	120	105

Tab. 3. *Preventivní hodnoty rizikových látek dle vyhlášky MŽP č. 153/2016 Sb.*

Σ PAU[1] [mg/kg]	Σ PCB[2] [mg/kg]	Σ DDT[3] [mg/kg]	HCB[4] [mg/kg]	Σ HCH[4,5] [mg/kg]	PCDDs/Fs[4,6] [ng/kg]	Uhlovodíky C10 – C40[4] [mg/kg]
1.0	0,02	0,075	0,02	0,01	1,0	100

[1)] *Σ PAHS – polycyklické aromatické uhlovodíky (anthracen, benzo(a)anthracen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylen, fenantren, fluoranten, chrysen, indeno(1,2,3-cd)pyren, naftalen, pyren)*

[2)] *Σ PCB kongenerů – 28+52+101+118+138+153+180*

[3)] *Σ DDT, DDE, DDD*

[4)] *HCB, HCH (Σ α+β+γ), PCDD/F a uhlovodíky C10-C40 se analyzují pouze při důvodném podezření z jejich výskytu (např. předchozí znečištění půdy z výroby)*

[5)] *HCH (Σ isomerů α+β+γ)*

[6)] *Hodnota mezinárodního toxického ekvivalentu I-TEQ PCCD/F (ng/kg sušiny)*

Pro pokročilé explorativní účely je u rizikových prvků v aplikaci navržena možnost srovnání s dalšími referenčními hodnotami – zejména srovnání s hodnotami indikátorů statistické variability dat, které jsou dostatečně citlivé k existenci odlehlých hodnot. O vhodném ukazateli meze statistické variability rozhoduje tvar rozdělení, přičemž v rámci řešení projektu bylo provedeno srovnání různých způsobů odvození (blíže viz certifikovaná metodika – SKÁLA a kol. 2024). Z výsledků je patrné, že je žádoucí provádět odstranění odlehlých hodnot nebo využívat neparametrické metody pro odvození pomocí kombinace pořadových metrik, přičemž jako vhodnější se ukázaly metriky založené na mediánu Q_{50} pomocí statistického horního kvartilu Q_{75} a mezikvartilového rozpětí (tj. rozpětí mezi horním kvartilem (REIMANN & GARRETT 2005). Pro odvození konzervativnějších mezí variability dat je vhodný

zejména robustní ukazatel statistické variability dat dle CARLINGa (2000) kombinující medián s mezikvartilovým rozpětím (tj. rozpětí mezi dolním kvartilem, oddělujícím 25 % dat s nižší koncentrací a horním kvartilem oddělujícím 75 % dat s nižší koncentrací) (GRYGAR et al. 2023):

$$CUF = Q_{50} + 1.5\,(Q_{75} - Q_{25})$$

Na základě této metriky byly odvozeny referenční hodnoty jako svrchní mez statistické variability z celého souboru dat na území ČR a jednak jako lokální svrchní meze statistické variability nahrazením celého souboru dat lokálními výběry pomocí metody pohyblivého okna („moving window"), přičemž uvnitř definovaného okna byly vzorky zahrnuté k odvození sumárního ukazatele prostorově váženy pomocí vlastní úpravy postupu popsaného BRUNDSONEM et al. (2005), které kromě prostorového vážení jednotlivých zahrnutých vzorků pomocí vážící vzdálenostní funkce využívá také započtení atributových vah podobnosti jednotlivých vzorků ve vícerozměrném znakovém prostoru určeném podle typu geologického podloží, zrnitosti půdy a geomorfologické pozice vzorkované plochy (blíže viz certifikovaná metodika SKÁLA a kol. 2024). Použitím upraveného algoritmu byly vypočítány geograficky vážené sumární statistiky pro 75 nejbližších vzorků a geograficky vážený medián a interkvartilové rozpětí byly využity pro kvantifikaci lokální horní meze statistické variability pomocí CUF. Všechny odvozené i legislativně závazné hodnoty jsou uživateli k dispozici na informačním panelu v záložce referenční hodnoty a umožňují uživateli srovnání případných vlastních měření se svrchní mezí variability ze vzorků v celé ČR a blízkém okolí zájmového bodu.

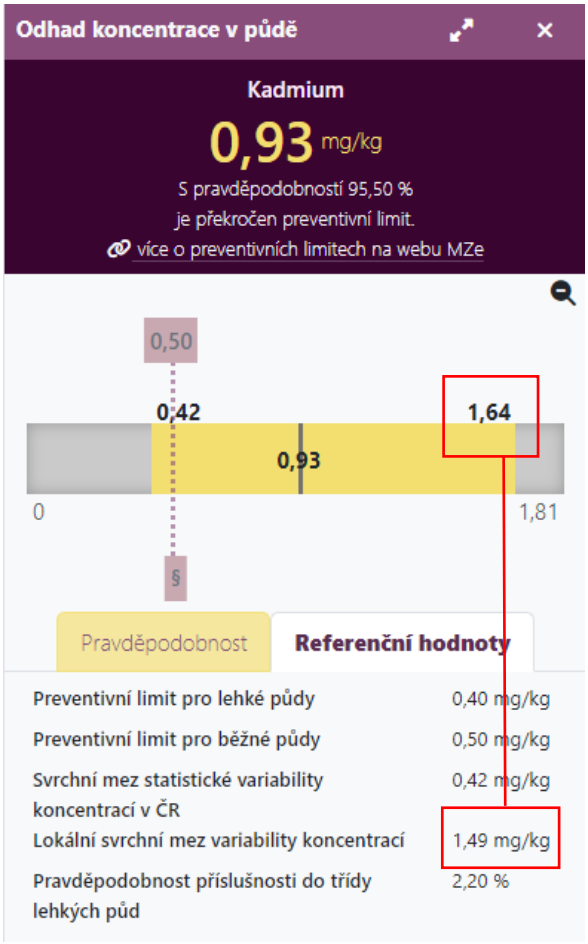
ⓘ *Tip pro užívání: Pro rychlé porovnávání hodnot v blízkém okolí lze využívat také nástroj pro rychlý screening prediktivních povrchů. Uživatel si zafixuje zájmový bod levým klikem myši a na záložce Referenční hodnoty má k dispozici srovnávací hodnoty. Zároveň uživatel může aktivovat rychlý screening pomocí pravého tlačítka myši, tím se aktivuje také dynamická legenda a uživatel může kurzorem sledovat predikční povrch v okolí. Dynamická legenda zobrazuje konkrétní hodnoty a šíři predikčního intervalu v relaci k třídám klasifikovaného prediktivního povrchu, zároveň si zobrazení uchovává sémantickou strukturu barevného vyjádření pomocí semaforu.*

Druhý způsob, jak byly odvozeny svrchní meze statistické variability v daném místě, využívá výsledky prediktivního mapování koncentrací pro jednotlivé prvky, které bylo založeno na strojovém učení pomocí náhodných lesů („*random forest*"). Tento algoritmus umožňuje automaticky extrahovat („naučit se") cenné informace z trénovacích dat, a naučené vzory aplikovat na prediktivní modelování mimo trénovací data. V případě (geo)chemického prediktivního mapování jsou tyto vzory odvozovány na základě vztahu mezi půdními obsahy a dalšími popisnými proměnnými životního prostředí. Předpokládáme, že vzory potřebné k predikci lze extrahovat z dostupných dat a tím natrénovat takový model, který generalizuje nalezené vzory v trénovacích hodnotách pro úspěšnou predikci v nevzorkovaných územích. Výhodou použité kvantilové formy náhodných lesů (MEINSHAUSEN 2006) je schopnost odhadnout i kvantily modelované proměnné pro všechna místa predikce (tj. pixely rastru

predikovaného území), což ve výsledku dává odhad kumulativní distribuční funkce modelované proměnné. To znamená, že v daném místě se odhaduje také horní mez statistické míry variability, která je v tomto případě modelována z kombinací vstupních enviromentálních proměnných zahrnutých v trénování modelu. Tyto hodnoty ukazují jednak další možnost vyjádření horní meze statistické variability v souboru, a jednak umožnují také hodnotit lokální míru nejistoty vlastních prediktivních map.

ⓘ *Tip pro užívání: Doporučujeme sledovat oba ukazatele svrchní meze statistické variability sledovaných parametrů – statisticky odvozené hodnoty pomocí pohyblivého okna (tj. lokální svrchní mez variability koncentrací), tak z výstupů strojového učení (tj. horní hranice predikčního intervalu). Obě hodnoty mají podobnou intepretaci, nicméně z formálního hlediska vznikly velmi odlišnými postupy a jejich porovnání je užitečným krokem k pokročilé interpretaci výstupů.*

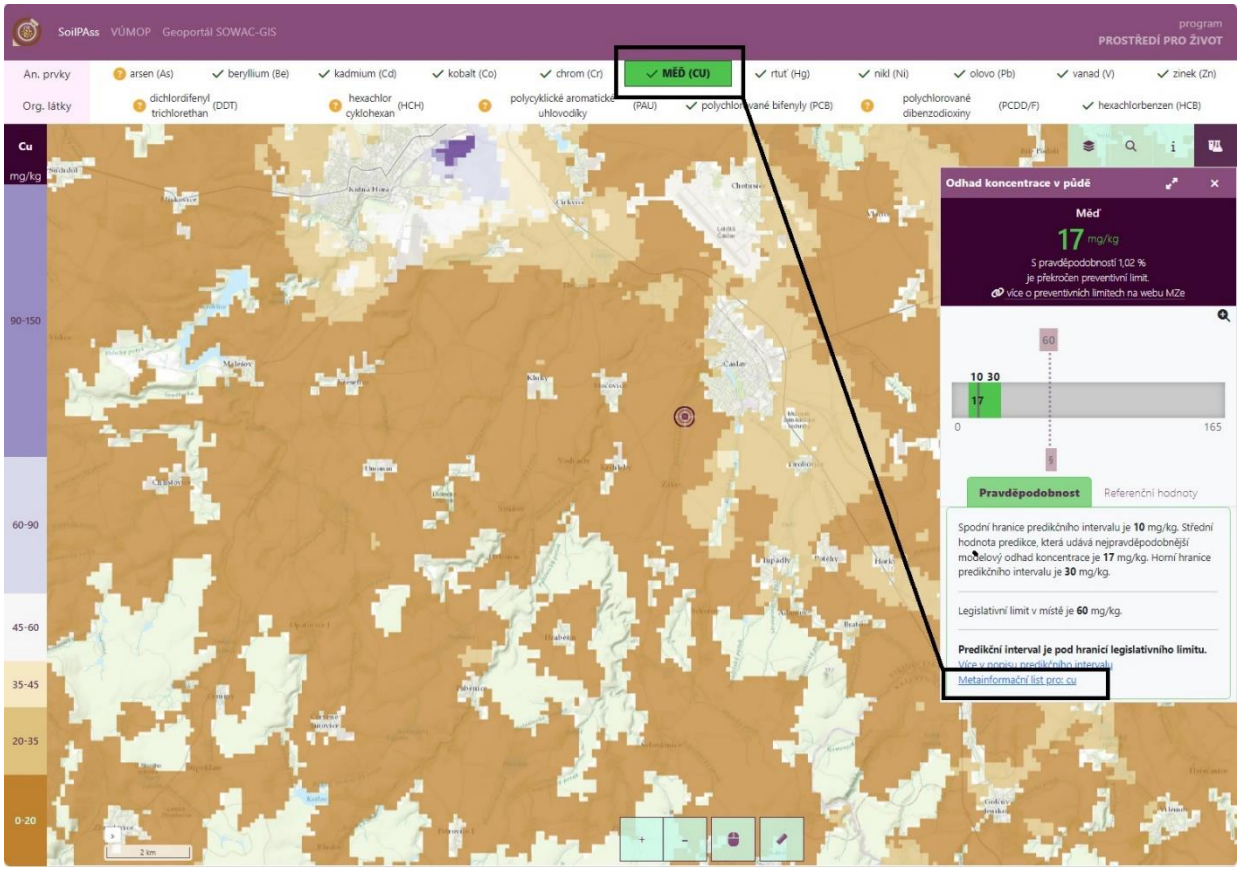
Obr. 17. *Analogické hodnoty pro odhad svrchní meze statistické variability sledovaných parametrů na podkladě metodologicky odlišných nástrojů*



4 DOPLŇKOVÝ INFORMAČNÍ SERVIS

Cílem aplikace je zajistit, aby uživatel dostal maximálně objektivní i srozumitelnou informaci. Naprogramovaná uživatelská logika aplikace simuluje expertní průzkum a využití existujících datových zdrojů v ČR, jak by prováděl expert, bez nutnosti poskytovat uživateli individuální bodové vzorky půd z datových zdrojů jednotlivých gestorů. Zároveň se interaktivní portál inovativním způsobem vypořádává s poskytnutím velmi kompletních informací o výstupech z prediktivního modelování včetně práce s nejistotou vlastních výstupů, což není běžná praxe při zveřejnění mapových výstupů. Proto pro maximální infomační servis uživatele jsou pro každý prediktivní povrch ke stažení tzv. metainformační listy ve formě PDF dokumentu.

Obr. 17. *Umístění odkazu na metainformační list příslušné prediktivní mapy*



PDF dokument lze stáhnout v mapovém panelu po zvolení zájmového prvku/látky a kliknutí na odkaz ve spodní části mapového panelu. Dokument obsahuje kompletní informace o vstupních datech použitých při tvorbě konkrétního modelu, formální náležitosti tvorby a vyhodnocení prediktivního modelu, což umožňuje reprodukování postupu tvorby map. Zároveň může uživatel sledovat, jaká

použitá data doplňkových (enviromentálních či prostorových) proměnných byly informačně nosné pro příslušný prediktivní model. Zároveň informační metalisty představují také odborný podklad pro interpretaci modelů, které jsou na pozadí aplikace, včetně způsobů hodnocení kvality a nejistoty jednotlivých modelů.

5 LITERÁRNÍ ZDROJE

Brunsdon C, Fotheringham AS, Charlton M. 2002. Geographically weighted summary statistics — a framework for localised exploratory data analysis. Computers, *Environment and Urban Systems* 26(6): 501–524. https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00009-6

Budescu DV, Broomell S, Por H-H. 2009. Improving communication of uncertaintyin the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Psychological Science* 20: 299–308. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02284.x

Carling K. 2000. Resistant outlier rules and the non-Gaussian case. *Computational Statistics & Data Analysis* 33: 249–258. https://doi.org/10.1016/S0167-9473(99)00057-2

Grygar MT, Elznicová J, Tůmová Š, Kylich T, Skála J, Hron K, Álvarez-Vázquez MA. 2023. Moving from geochemical to contamination maps using incomplete chemical information from long-term high-density monitoring of Czech agricultural soils. *Environmental Earth Sciences* 82: 6. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10692-3

Matschullat J, Ottenstein R, Reimann C. 2000. Geochemical background - Can we calculate it? *Environmental Geology* 39: 990–1000. https://doi.org/10.1007/s002549900084

Meinshausen N. 2006. Quantile regression forests. *Journal of Machine Learning Research* 7(35): 983–999.

Němeček J, Podlešáková E, Pastuszková M. 1996. Návrh limitů kontaminace půd perzistentními organickými xenobiotickými látkami pro ČR. *Rostlinná výroba* 42(2): 49–53.

Nziguheba G, Smolders E. 2008. Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Science of the Total Environment* 390: 53–57. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.031

Reimann C, Garrett RG. 2005. Geochemical background – concept and reality. *Science of the Total Environment* 350(1–3): 12–27. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.047

Skála J, Vácha R, Žížala D, Vojtěchovský T, Papaj V, Čechmánková J, Horváthová V. 2024. Metodická příručka k využití nástroje SoilPass pro indikační stanovení převládajícího geogenního vlivu na obsah rizikových prvků v půdách ČR a způsoby jeho terénního ověření. *Certifikovaná metodika*, VÚMOP: 56 s.

Vácha R, Skála J, Čechmánková J, Horváthová V, Hladík J. 2015. Toxic elements and persistent organic pollutants derived from industrial emissions in agricultural soils of the Northern Czech Republic. *Journal of Soils and Sediments* 15: 1813–1824. https://doi.org/10.1007/s11368-015-1120-8