SoilPass

Nový informační rozcestník pro zefektivnění preventivní ochrany zemědělské půdy před vstupy rizikových látek

Skála Jan, Žížala Daniel, Vojtěchovský Tomáš,
Papaj Vladimír, Vácha Radim

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

Osnova

- představení projektu
- představení metodologického pozadí nástroje - práce se vstupními daty + použité algoritmy prediktivního mapování
- představení interaktivního rozcestníku – základní koncept, grafické rozhraní
- praktická ukázka funkcionalit rozcestníku

- prostor pro dotazy či návrhy doplnění funkcionalit rozcestníku

Motivace tvorby nástroje

- 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 – kaly, komposty, sedimenty
- ČR má nebývalé množství informací o hygienickém stavu půdy i komplexní legislativní nástroje ochrany zemědělské půdy - chybí volně dostupná datová základna pro komplexní informování vlastníků, hospodařících subjektů, rozhodovacích orgánů ochrany půdy a aktérů managementu půdy

SS03010364 Systém na podporu rozhodování při hodnocení kvality půdy z hlediska obsahu rizikových látek v zemědělských půdách České republiky

Program Prostředí pro život 3
2021 - 2023

Program **Prostředí pro život**

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

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

- cílem projektu je poskytnout **otevřený nástroj** pro nezávislou metodickou a informační podporu k hodnocení hygienického stavu půd – tj. nabídnout zdroj věrohodných nezávislých informací o obsazích rizikových látek jako podklad pro přiměřenou ochranu zemědělské půdy v návaznosti na existující legislativní rámec ochrany ZPF

Informační rozcestník – SoilPAss

- k naplnění cíle projektu bude spuštěn v roce 2024 interaktivní nástroj „SoilPAss = „Soil Pollution Assesment“ (https://soilpass.vumop.cz/), který bude součástí geoportálu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy - https://geoportal.vumop.cz/
- systém zahrnuje interaktivní mapovou aplikaci, která může sloužit nejen k identifikaci oblastí se zvýšenými obsahy, ale také oblastí nezatížených či s deficitem biogenních stopových prvků
- živý systém – doplňování informací o aktuálních změnách regulací, nových poznatcích výzkumu či metodické návody nejen k použití aplikace, ale obecně k hodnocení hygienického stavu půdy

Ústřední myšlenka projektu

Využít kombinace:

- BAD – pro modely využít „*best available data*“ - maximálně možný rozsah relevantních záznamů získaných v termínu řešení projektu

- BAT – využít „*best available techniques*“ - nasazení progresivních nástrojů digitálního mapování půd pomocí algoritmů strojového učení + zapojení široké palety doplňkových proměnných pro prediktivní modely

BAD + BAT = velká potřeba datových vstupů

- kombinování dat pocházejících z různých (geo)chemických vzorkování může být velmi užitečné pro prediktivní modelování, neboť umožňuje zvýšit nejen územní detail, ale také pokrytí znakového prostoru, neboť datově-založené metody strojového učení predikují spolehlivě uvnitř znakové prostoru vysvětlujících proměnných – tj. při jeho dobrém pokrytí dostatečným počtem vzorků, což se může zdát obtížné při prediktivním modelování (geo)chemických obsahů prvků/látek v půdě, kde se potkávají dvě nepříznivé okolnosti: jednak analytická a ekonomická náročnost stanovení a jednak potřeba pokrytí celé řady prediktorů charakterizující predispozice půdy ke znečištění – zranitelnost k sorpci, faktory expozice ke zdrojům (přirozeným i antropogenním) a faktory ovlivňující depozici ze zdrojů či post-depoziční změny

BAD

- získání relevantních dat = shromáždění dat z různých zdrojů + harmonizace na jednotný analytický normativ dle platné Vyhlášky č. 153/2016 Sb.) tj. „pseudototální“ obsah po rozkladu lučavkou královskou
- harmonizace = robustní regresní řešení pro přepočty mezi různými extrakty používanými ve zdrojích dat

! Děkujeme Ministerstvu životního prostředí ČR a Ministerstvu zemědělství ČR 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.

BAD – rizikové prvky – proč harmonizace?

- Z hlediska vztahu k platné legislativě lze datové vstupy použité pro RP v projektu rozdělit na dvě obecné skupiny:
  - 1) data, která se svým analytickým postupem shodují s legislativně danými postupy pro hodnocení obsahu prvků v zemědělských půdách dle platné Vyhlášky č. 153/2016 Sb. - tj. jsou výsledkem rozkladu vzorku (tj. převedení do roztoku) pomocí mineralizace lučavkou královskou
  - 2) data, které nejsou výsledkem extrakčního postupu shodného s legislativními požadavky – tj. mají odlišný analytický způsob stanovení obsahu RP

BAD – rizikové prvky – data 1)

- data, která se svým analytickým postupem shodují s legislativně danými postupy pro hodnocení obsahu prvků v zemědělských půdách dle platné Vyhlášky č. 153/2016 Sb. - tj. jsou výsledkem rozkladu vzorku (tj. převedení do roztoku) pomocí mineralizace lučavkou královskou

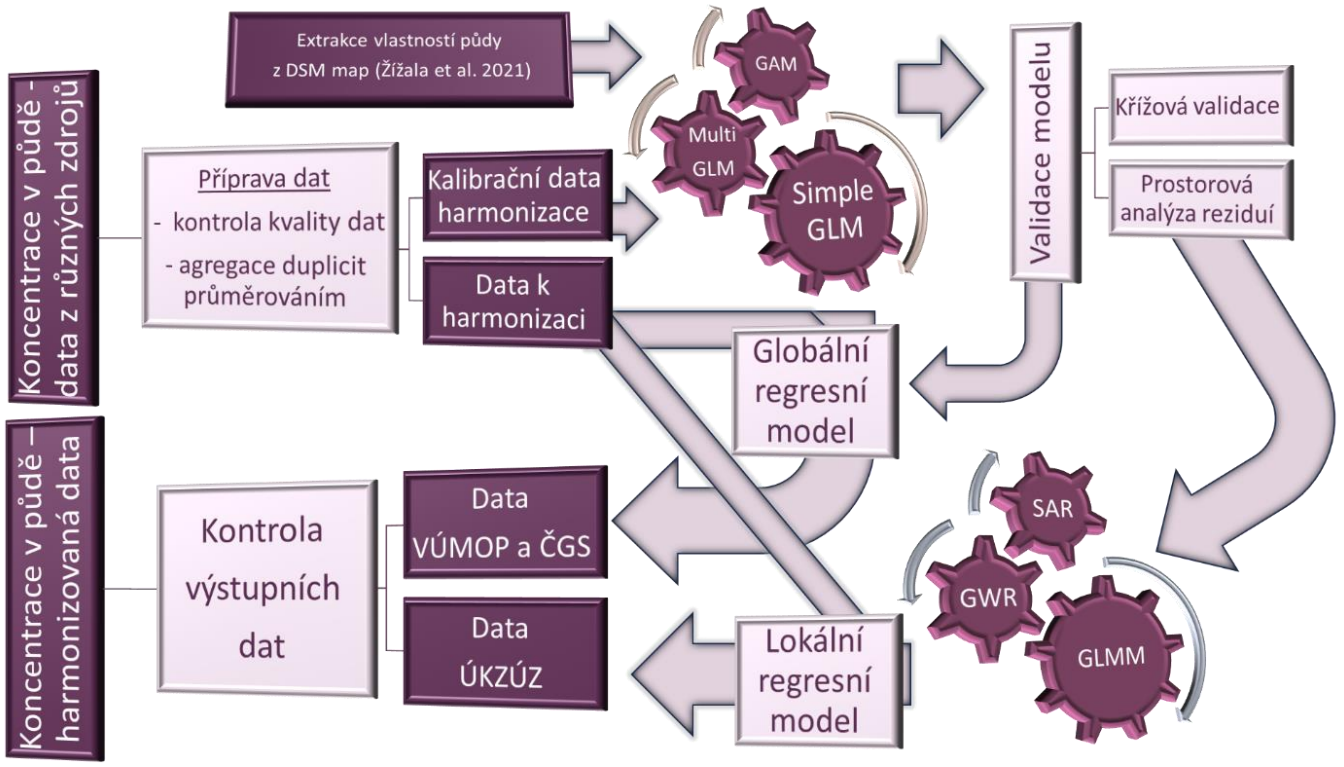
  - výsledky Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) z Bazálního monitoringu půd (BMP) a Registru kontaminovaných ploch (RKP) od roku 1998
  - výsledky z přeshraničního projektu – Rizikové látky v půdě ve vztahu k životnímu prostředí – přeshraniční základy ochrany půdy (Bavorsko – Česká republika)
  - výsledky z Mezinárodních evropských projektů FOREGS (SALMINEN et al. 1998) a GEMAS (REIMANN et al. 2014).
  - archivní data z výzkumné činnosti VÚMOP
  - data z analytických stanovení na referenčních plochách při Inventarizaci úložných míst těžebního odpadu v rámci Operačního programu Životní prostředí (OPŽP) v letech 2010–2012.
  - cílená data pořízená v rámci projektu TAČR - analytické srovnání různých extrakčních metod na výběru ploch v ČR

BAD – rizikové prvky – data 2)

- data, které nejsou výsledkem extrakčního postupu shodného s legislativním požadavkem – tj. mají odlišný analytický způsob stanovení obsahu RP a byla nutná harmonizace dat pomocí regresního přepočtu
  - data Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) z Registru kontaminovaných ploch (RKP) do roku 2009 - parciálního rozklad půdní matrice chladnou 2 mol/l HNO_3 dle ZBÍRAL et al. (2004)
  - data z litogeochemické databáze (ČGS 1997) pro půdy – archivní analytické údaje o chemickém složení vzorků půd odebraných v rámci různých regionálních geochemických průzkumů, geologického mapování a výzkumu České geologické služby – výsledky klasickou celkovou (tříkyselinovou) mokrou extrakci prvků s analytickou koncovkou ICP nebo AAS, nebo výsledky z nedestruktivní analýzy rentgenovou fluorescenční analýzou (RFA).
  - data z Monitoringu cizorodých látek (MCL) - kombinace celkového tříkyselinové extrakce pomocí HNO_3, $HClO_4$, HF (ISO 14869-1:2001) a dále parciálního rozkladu půdní matrice chladnou 2 mol/L HNO_3 (ZBÍRAL et al. 2004).

BAD – rizikové prvky – data 2)

- pracovní postup pro odvození spolehlivých přepočtových rovnic mezi jednotlivými extrakty zahrnoval testování celé řady regresních modelů (obecný lineární model - GML, zobecněné aditivní modely - GAM, geograficky vážené regresní modely – GWR), přičemž jako závislé proměnné byly pro přechodové modely, kromě obsahů z relační extrakce, vybrány další doplňkové půdní parametry – pH, C_{ox}, zrnitost půdy



BAD – rizikové prvky – data 2)

- Data ÚKZÚZ – přepočet mezi extrakty kyseliny dusičné a lučavky královské - nejspolehlivější výsledky byly dosaženy pomocí lokálních přepočtových modelů pomocí tzv. geograficky vážená regrese - GWR (BRUNSDON et al. 1998)

	Data kalibrace	*Simple R^2*	*Multi R^2*	*GAM R^2*	*GWR R^2*	*Simple – reziduální Moran I**	*Multi – reziduální Moran I**	*GAM – reziduální Moran I**	*GWR – reziduální Moran *I*	*Data přepočet*
As	7 142	0.51	0.52	0.59	0.81	0.25	0.23	0.24	-0.007	5 235
Be	7 142	0.62	0.62	0.64	0.85	0.23	0.23	0.21	0.07	21 926
Cd	7 142	0.63	0.64	0.68	0.79	0.15	0.14	0.15	-0.008	46 077
Co	7 142	0.84	0.85	0.87	0.91	0.24	0.19	0.13	-0.006	27 779
Cr	7 142	0.71	0.76	0.78	0.86	0.23	0.14	0.14	-0.007	46 068
Cu	7 142	0.71	0.72	0.75	0.87	0,33	0,28	0.22	-0.006	41 827
Ni	7 142	0.72	0.75	0.78	0.88	0.33	0.21	0.17	-0,008	40 741
Pb	7 142	0.84	0.84	0.84	0.89	0.10	0.10	0.09	0.008	46 095
V	7 142	0.68	0.73	0.75	0.85	0.29	0.18	0.18	-0.006	25 717
Zn	7 142	0.61	0.62	0.67	0.82	0.30	0.28	0.21	-0.005	41 875

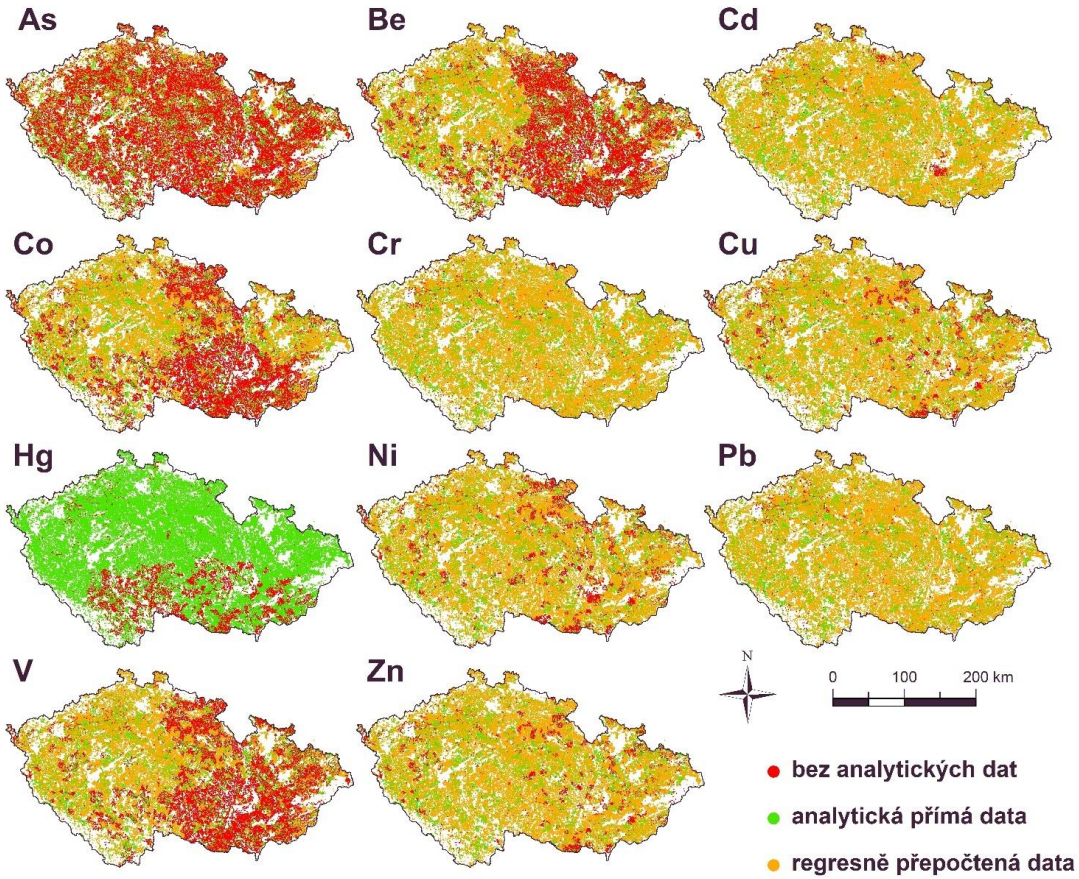
BAD – rizikové prvky – data 2)

- Data ČGS a MCL (VÚMOP) – regresní přepočet na základě kombinace extrakce kyselinou dusičnou) a celkového 3-kyselinového rozkladu – jednoduché lineární modely byly dostatečně robustní

	Data kalibrace	*Simple R^2*	*Multi R^2*	*GAM R^2*	*Výsledný počet dat po harmonizaci*
As	160	0.72	0.72	0.74	3 979
Be	160	0.71	0.69	0.70	3 775
Cd	160	0.74	0.72	0.74	3 542
Co	160	0.95	0.95	0.96	3 086
Cr	160	0.88	0.88	0.93	3 707
Cu	160	0.98	0.97	0.98	3 707
Ni	160	0.91	0.91	0.92	3 441
Pb	160	0.90	0.90	0.91	3 730
V	160	0.85	0.86	0.88	3 413
Zn	160	0.97	0.97	0.97	3 707

BAD – harmonizovaná data

- výsledkem harmonizace dat pro rizikové prvky jsou dva typy dat
  - 1) data, která byla přímo analyticky určená mineralizací vzorku lučavkou královskou
  - 2) data, která byla na cílový obsah v lučavce královské regresně přepočítaná z jiného extraktu (či kombinace extraktů) – data zatížena oproti 1) nejistotou přepočtu, proto jsou následně v modelu penalizována (model dává větší váhu datům typu 1, přičemž míra spolehlivosti přepočtu vyjádřená koeficientem determinace regresního modelu určuje váhy vzorku pro prediktivní model)

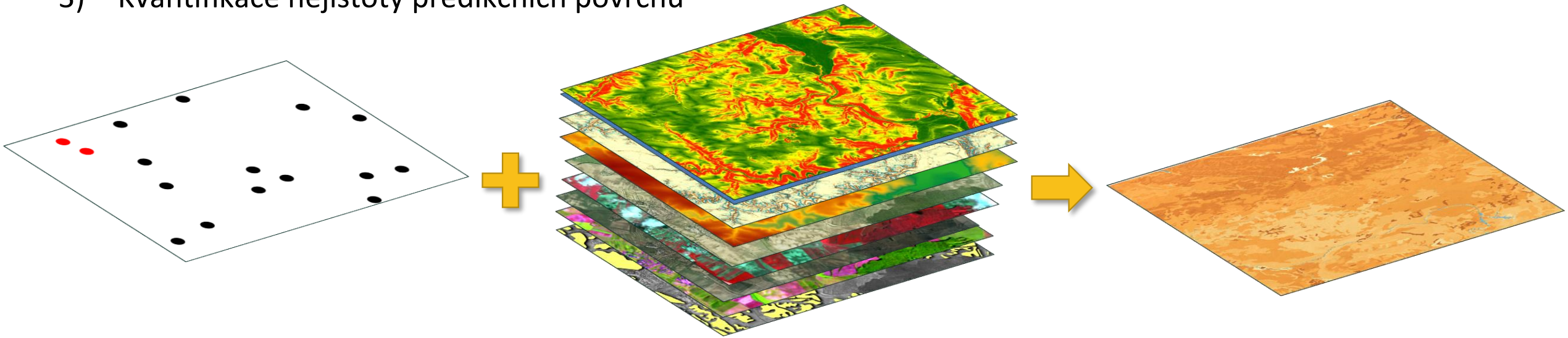


BAT

Principy Digitálního mapování půd

- půdní vzorky – BAD (harmonizovaná data) + pomocné proměnné, tzv. kovariáty (prediktory)

1) Kalibrace modelu – nalezení nelineárních vztahů mezi vzorky a prediktory
2) Predikce v neměřených bodech a tvorba predikčních povrchů
3) Kvantifikace nejistoty predikčních povrchů



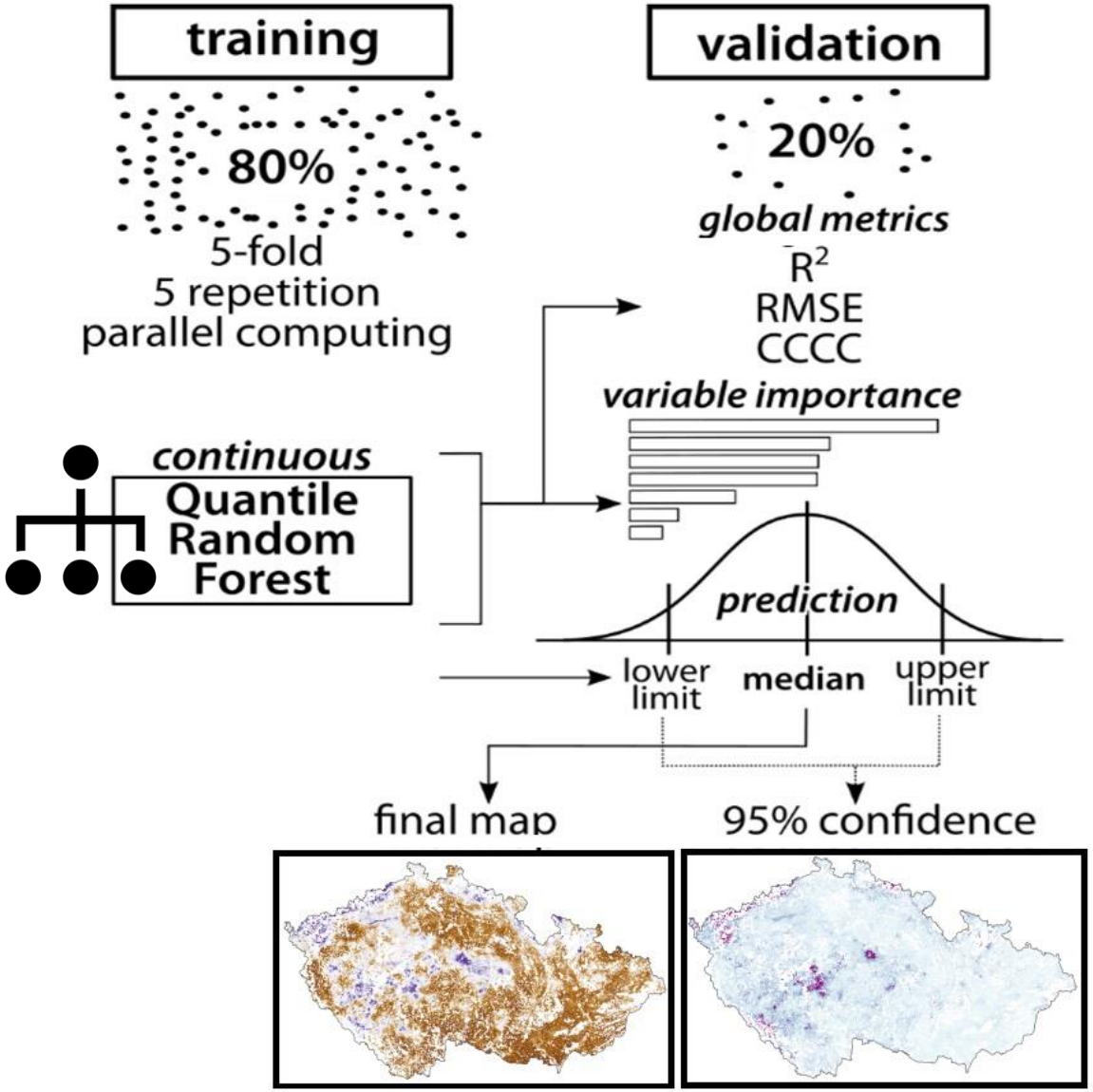
BAT

- pro modelování vztahů mezi prediktory a cílovými proměnými použit algoritmus kvantilové formy náhodných lesů – „*Quantile Regression Forest*“ (QRF) (MEINSHAUSEN 2006)

- kvantilová verze náhodných lesů - umožňuje lokální hodnocení spolehlivosti modelu pomocí šířky predikčního intervalu, která doplňuje celkovou míru přesnosti modelu kvantifikovaného z rozdílů predikovaných a skutečně naměřených hodnot v souboru dat odejmutých z primárního vzorku před vlastním trénováním modelu

- trénování vážené verze QRF z důvodu zohlednění spolehlivosti dat při kombinování regresně přepočtených i přímo naměřených dat

- kvantifikace vlivu důležitosti kovariantních proměnných (tzv. „*variable importance*“) –tj. jaké prediktory jsou informačně hodnotné pro přesnou predikci



BAT - Prediktory použité pro tvorbu modelů

- použitý model náhodných lesů je založen na kvantifikování vztahů mezi modelovanou proměnnou a prediktory ve známých bodech, které pak slouží k predikci modelované proměnné v bodech, kde cílovou informaci o modelované proměnné neznáme.
- z hlediska pochopení prostorové distribuce znečišťujících látek jsou důležité zejména interakce mezi faktory: zdroje kontaminace, distribuční mechanismy, vlastnosti kontaminantů a sorpční vlastnosti půdy
- ~ 30 prediktorů prostředí + 20 prostorových prediktorů (geografické obalové vzdálenosti pro popis prostorových autokorelačních vztahů)

    - přirozené zdroje prvků v půdách (půdní vlastnosti, vlastnosti geologického podloží)
    - antropogenní zdroje (koncentrace znečištění v ovzduší, urbanizace, hustota dopravní sítě, hustota zaniklé těžby)
    - terénní vlastnosti
    - klimatické charakteristiky

BAT – prediktory pro přirozené zdroje prvků

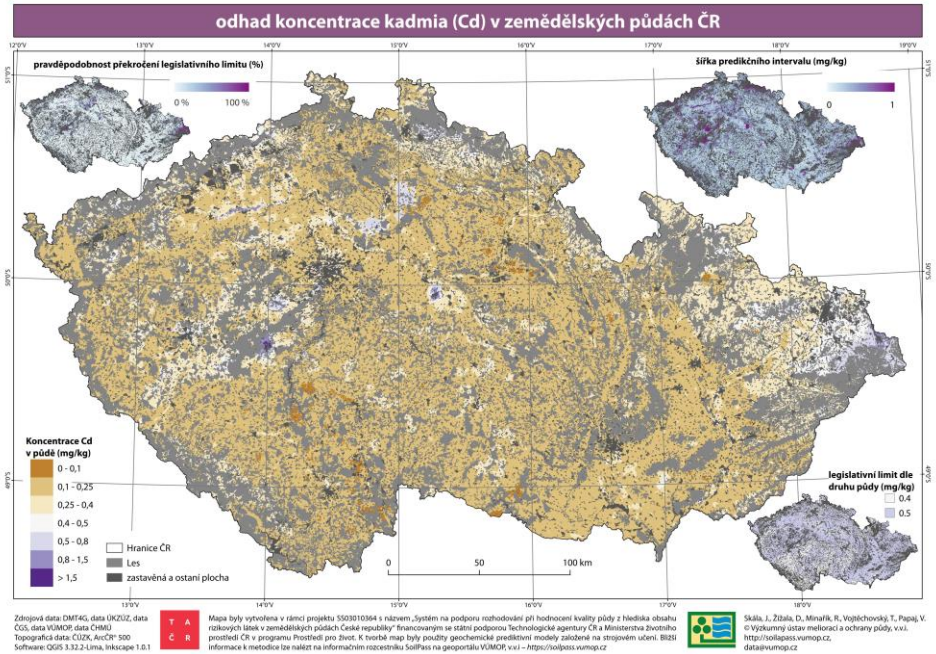
- pro potřeby prediktivního mapování byly vytvořeny rastrové podklady agregovaných skupin půdotvorných substrátů - kombinace několika zdrojů z geologického mapování (nezakryté geologické mapy ČR - © Česká geologická služba) a pedologického mapovaní (mapování půdotvorných substrátů - VÚMOP)
- pro lepší parametrizaci litologické variability podloží bylo využito doplňkových numerických proměnných pro potencionální zpřesnění litologie pokrývající geofyzikální anomálie pro rozlišení nehomogenity horninového prostředí - anomálie tíhového zrychlení, magnetické anomálie a anomálie radioaktivity hornin v podobě úhrnné aktivity gama z letecké radiometrie (© Česká geologická služba)
- pro lepší parametrizaci geochemické variability podloží byly připraveny odvozené rastrové podklady pro vzdálenost k nejbližší tektonické poruše a jejich hustota, dále hustota úložišť těžebního odpadu (dle databáze © Česká geologická služba) pro odhad výskytu přirozených metalogenních zón

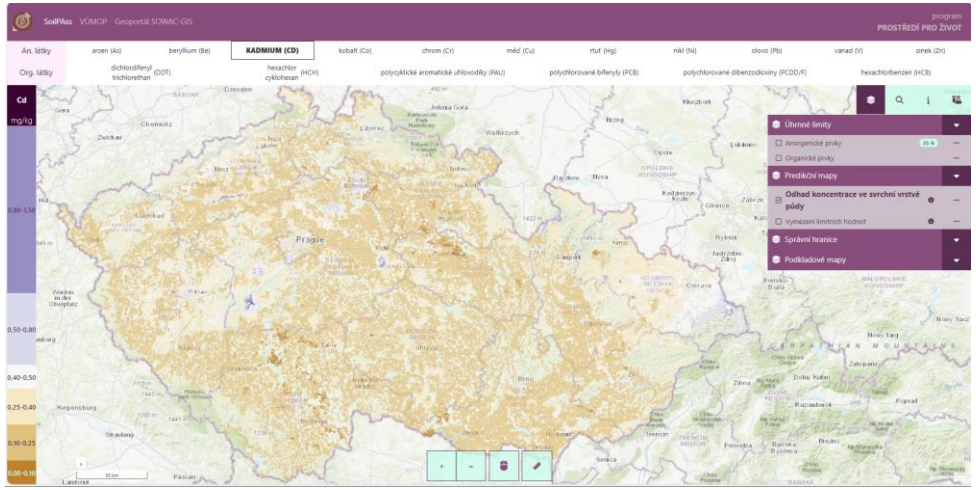
BAT – prediktory pro antropogenní zdroje prvků

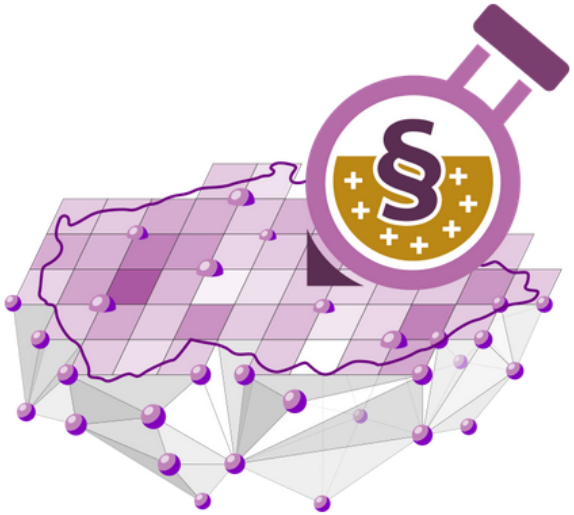
- pro parametrizaci antropogenně podmíněných atmosférických vstupů rizikových látek/prvků do půdy bylo využíváno kombinace – parametrů reliéfu (expozice) s využitím klimatických (srážkových) dat a výsledků monitorování znečišťujících látek v ovzduší v rámci Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) (BARTOŇOVÁ 2004) - přímé informace o imisních vstupem pro některé látky (benzo(a)pyren, As, Cd, Ni, Pb), pro ostatní typy látek byly využity pětileté průměry parametru PM10, tj. suspendované částice, které jsou dobrým indikátorem potencionální atmosférické zátěže
- kromě stacionárních emisních zdrojů se na zvýšených zátěžích mohou podílet i mobilní spalovací zdroje – zejména doprava – na základě vektorových podkladů silniční a dálniční sítě byly pomocí jádrového vyhlazení s vážením pro intenzitu dopravy (třídy silnic) vytvořeno hustotní pole intenzity vlivu dopravy
- pravděpodobnost antropogenních zátěží, zejména těch průmyslových, roste v urbánních a periurbanních oblastech - míru urbanizace lze dobře parametrizovat pomocí výsledků dálkového průzkumu Země pomocí intenzity umělého jasu noční oblohy z osvětlení (ELVIDGE et al. 2017)
- pro zjednodušený odhad dlouhodobého vlivu hospodaření na zemědělské půdě byla na základě archivních dat LPIS (1996–2020) provedena kategorizace 4 typů využití půd - plochy, které byly v jednotlivých letech vedeny vždy jako orná půda, resp. jako travní porost, dále plochy, které v daném období byly alespoň jednou vedeny jako chmelnice či vinice, a dále zbytek ploch, kde se kultury v různých letech střídaly (kromě uvedených ploch chmelnic a vinic).

Výsledné mapy

- statické mapy vs. interaktivní povrchy
- prediktivní povrch koncentrací – 11 x (RP) + 7 x (POPs)
  - Q5 – dolní hranice predikce
  - Q50 – průměrná predikce
  - Q95 – horní hranice predikce
- prediktivní povrch pravděpodobnosti překročení limitní hodnoty - 11 x (RP) + 7 x (POPs)
  - Lehké půdy + Běžné půdy = kombinovaný povrch
- prediktivní povrch pravděpodobnosti výskytu lehké půdy (< 0,01 mm) = pravděpodobnost platnosti přísnějších limitních hodnot - 1 x
- prediktivní povrch pravděpodobnosti překročení alespoň jedné limitní hodnoty – 2 x
  - rizikové prvky
  - organické polutanty







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

HODNOCENÍ ZNEČIŠTĚNÍ PŮDY

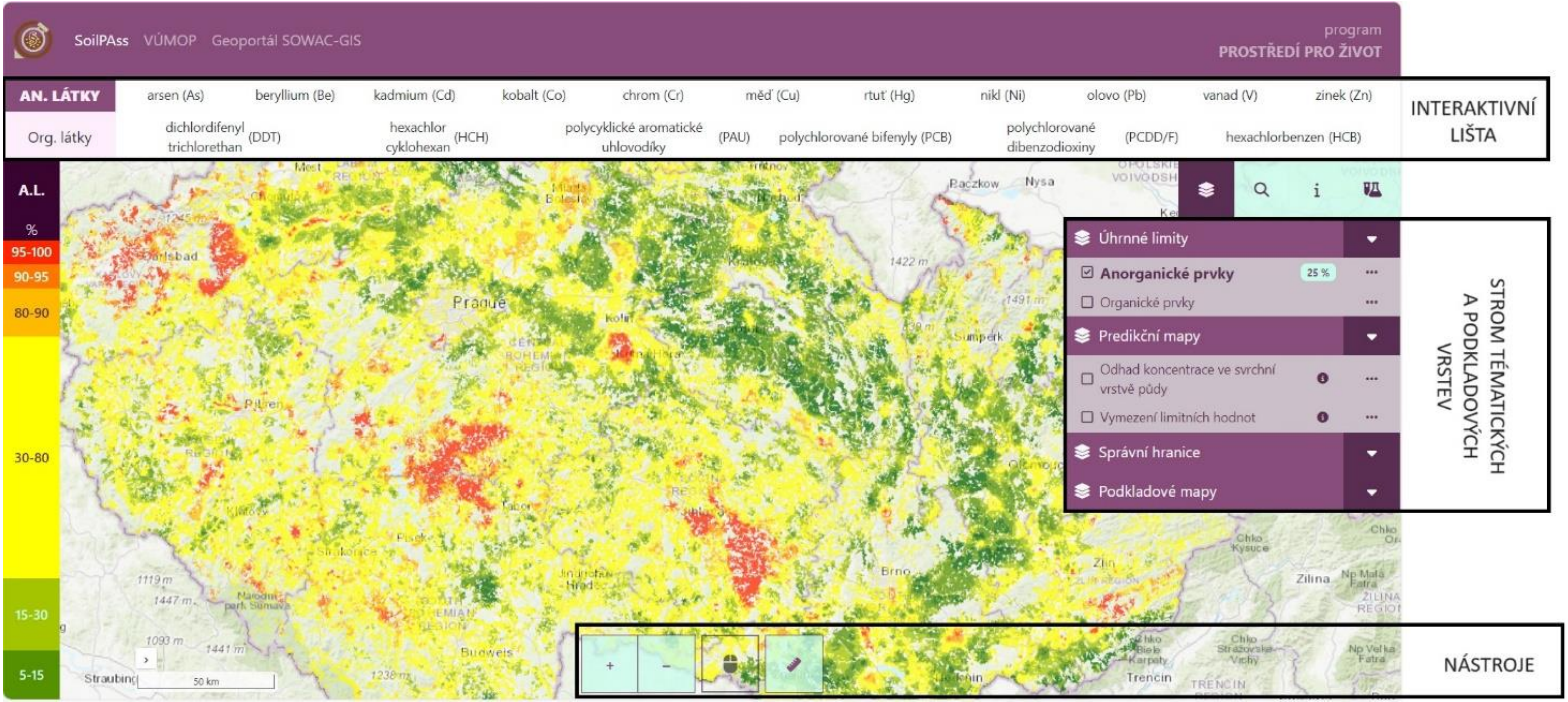
VSTUP DO APLIKACE

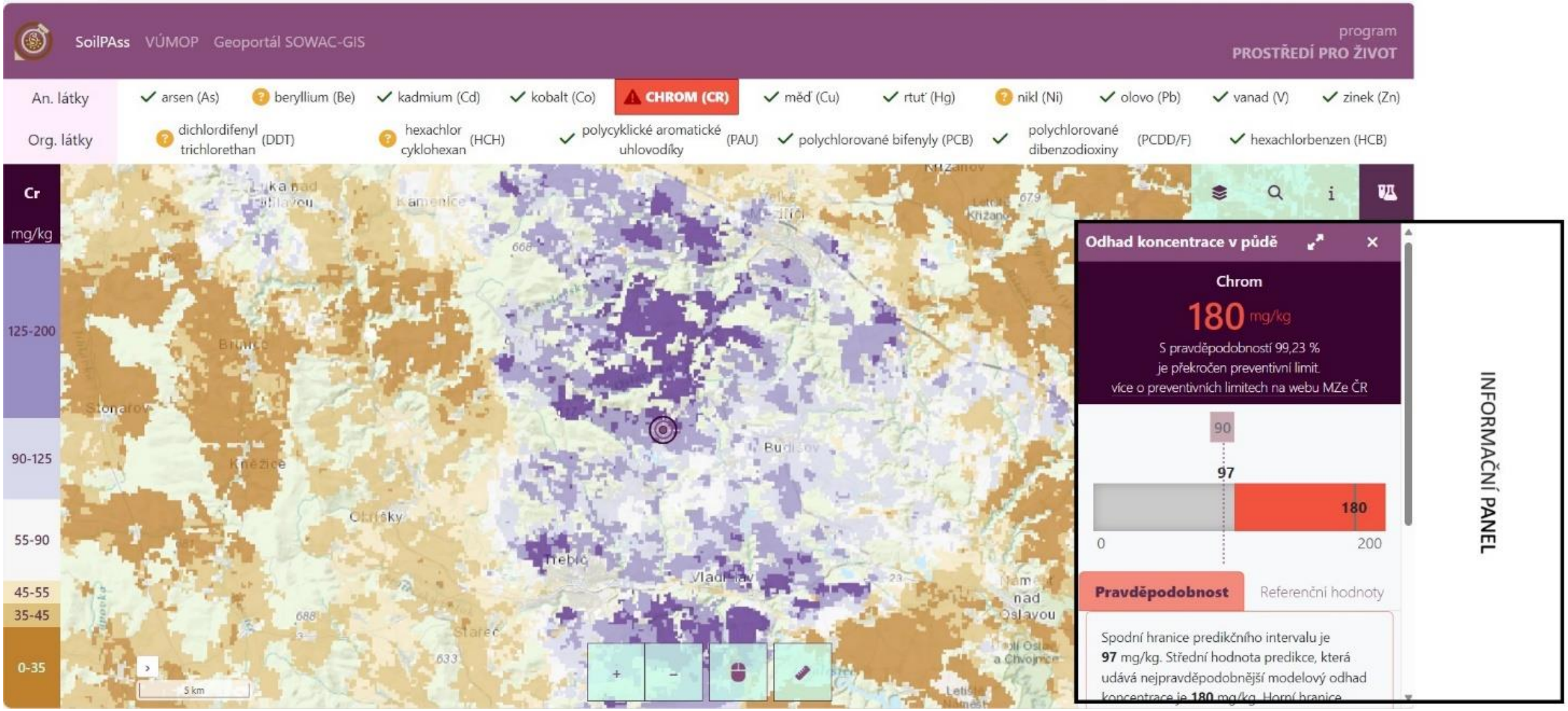
Vítejte v internetové aplikaci HODNOCENÍ ZNEČIŠTĚNÍ PŮDY (SoilPAss = „Soil Pollution Assesment") pro hodnocení hygienického stavu zemědělské půdy na Vámi zvolené lokalitě. Cílem je poskytnout věrohodné informace o obsahu rizikových látek v zemědělské půdě jako podklad pro přiměřenou ochranu ZPF v návaznosti na existující legislativní kritéria znečištění, která určují oprávněné legislativní požadavky pro regulaci vstupu rizikových látek na straně hygienické jakosti jak aplikovaných materiálů, tak cílových půd pro aplikaci. Naplnění požadavků lze objektivně stanovit pouze analyticky, proto tato aplikace poskytuje metodickou a informační podporu pro potencionální identifikaci vhodných zemědělských pozemků plnící s dostatečnou pravděpodobností legislativní požadavky. Výstupy analýz jsou výsledkem propojení existujících analytických výsledků s progresivními predikčními nástroji a jsou pouze informativní – tj. slouží pouze pro indikaci pravděpodobného stavu a optimalizaci výběru vhodných ploch.

https://soilpass.vumop.cz

Interaktivní mapová aplikace

- mapová aplikace je založena na grafickém rozhraní, které vychází z uživatelsky ověřené podoby v rámci geoportálu VÚMOP
- základními ovládacími prvky interaktivního prostředí aplikace jsou:
    - strom tematických a podkladových vrstev,
    - interaktivní lišta,
    - panel nástrojů,
    - informační panel.

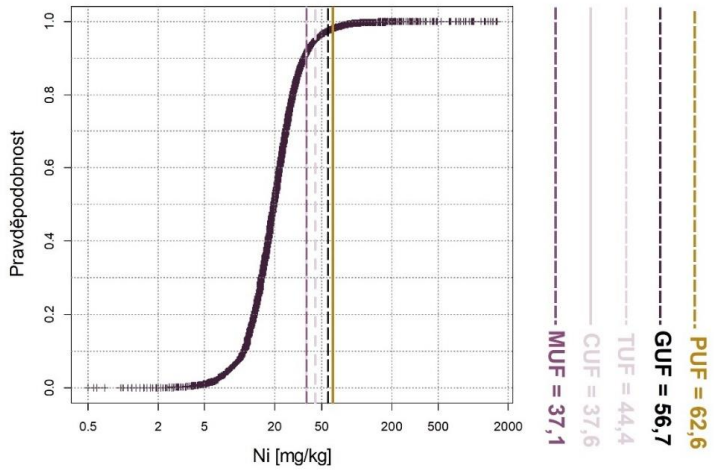

SoilPAss
VÚMOP
Geoportál SOWAC-GIS
program
PROSTŘEDÍ PRO ŽIVOT
AN. LÁTKY
arsen (As)
beryllium (Be)
kadmium (Cd)
kobalt (Co)
chrom (Cr)
měď (Cu)
rtuť (Hg)
nikl (Ni)
olovo (Pb)
vanad (V)
zinek (Zn)
Org. látky
dichlordifenyl trichlorethan (DDT)
hexachlor cyklohexan (HCH)
polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)
polychlorované bifenyly (PCB)
polychlorované dibenzodioxiny (PCDD/F)
hexachlorbenzen (HCB)
INTERAKTIVNÍ LIŠTA
A.L.
%
95-100
90-95
80-90
30-80
15-30
5-15
Úhrnné limity
Anorganické prvky
25 %
Organické prvky
Predikční mapy
Odhad koncentrace ve svrchní vrstvě půdy
Vymezení limitních hodnot
Správní hranice
Podkladové mapy
STROM TEMATICKÝCH A PODKLADOVÝCH VRSTEV
Prague
Brno
Zlín
Žilina
Trenčín
Nysa
50 km
NÁSTROJE


SoilPAss VÚMOP Geoportál SOWAC-GIS
program
PROSTŘEDÍ PRO ŽIVOT
An. látky
arsen (As)
beryllium (Be)
kadmium (Cd)
kobalt (Co)
CHROM (CR)
měď (Cu)
rtuť (Hg)
nikl (Ni)
olovo (Pb)
vanad (V)
zinek (Zn)
Org. látky
dichlordifenyl trichlorethan (DDT)
hexachlor cyklohexan (HCH)
polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)
polychlorované bifenyly (PCB)
polychlorované dibenzodioxiny (PCDD/F)
hexachlorbenzen (HCB)
Cr
mg/kg
125-200
90-125
55-90
45-55
35-45
0-35
5 km
Odhad koncentrace v půdě
Chrom
180 mg/kg
S pravděpodobností 99,23 % je překročen preventivní limit.
více o preventivních limitech na webu MZe ČR
90
97
180
0
200
Pravděpodobnost
Referenční hodnoty
Spodní hranice predikčního intervalu je 97 mg/kg. Střední hodnota predikce, která udává nejpravděpodobnější modelový odhad koncentrace je 180 mg/kg. Horní hranice
INFORMAČNÍ PANEL

Interaktivita mapové aplikace

- lokalizace zájmového bodu kurzorem
- rychlé „skenování“ prediktivního povrchu
- místopisné vyhledávání
- po lokalizaci bodu kurzorem – rychlá kategorizace zájmových prvků na interaktivní liště pomocí ikon kategorizují prvky/látky dle potřeby pozornosti
- bližší informace o odhadu koncentrací a pravděpodobnosti překročení limitních hodnot lze získat v informačním panelu
- možnost změny zobrazeného povrchu volbou na interaktivní liště mezi jednotlivými parametry, zatímco zvolený bod zůstává zafixován a na informačním panelu dostává uživatel detailní informace o vždy zvoleném prvku/látce
- rozšířená práce s informačním panelem

Národní výpočet – všechna data dostupná v ČR



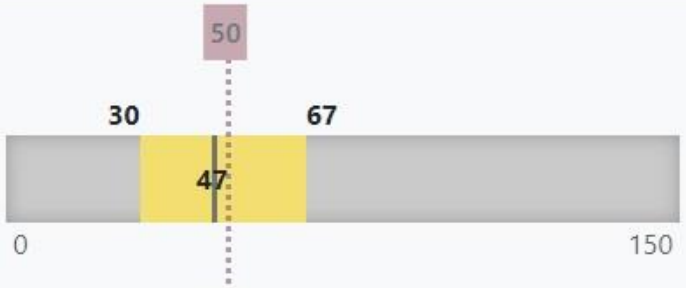
$$CUF = Q_{50} + 1.5\,(Q_{75} - Q_{25})$$ GRYGAR et al. (2023)

Odhad koncentrace v půdě

Nikl

47 mg/kg

S pravděpodobností 76,08 % je překročen preventivní limit.
více o preventivních limitech na webu MZe ČR



Pravděpodobnost | Referenční hodnoty

Spodní hranice predikčního intervalu je **30** mg/kg. Střední hodnota predikce, která udává nejpravděpodobnější modelový odhad koncentrace je **47** mg/kg. Horní hranice predikčního intervalu je **67** mg/kg.

Legislativní limit v místě je **50** mg/kg.

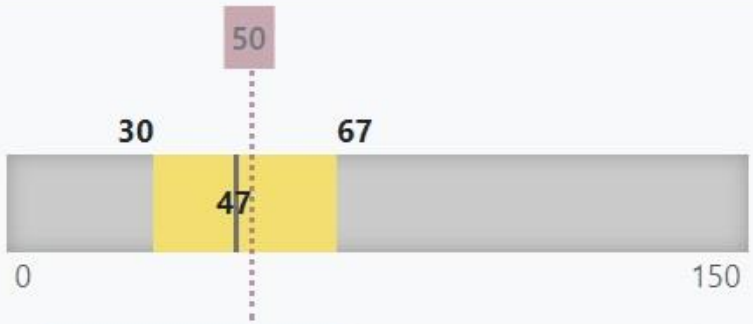
Predikční interval překrývá legislativní limit.
Více zde.

Odhad koncentrace v půdě

Nikl

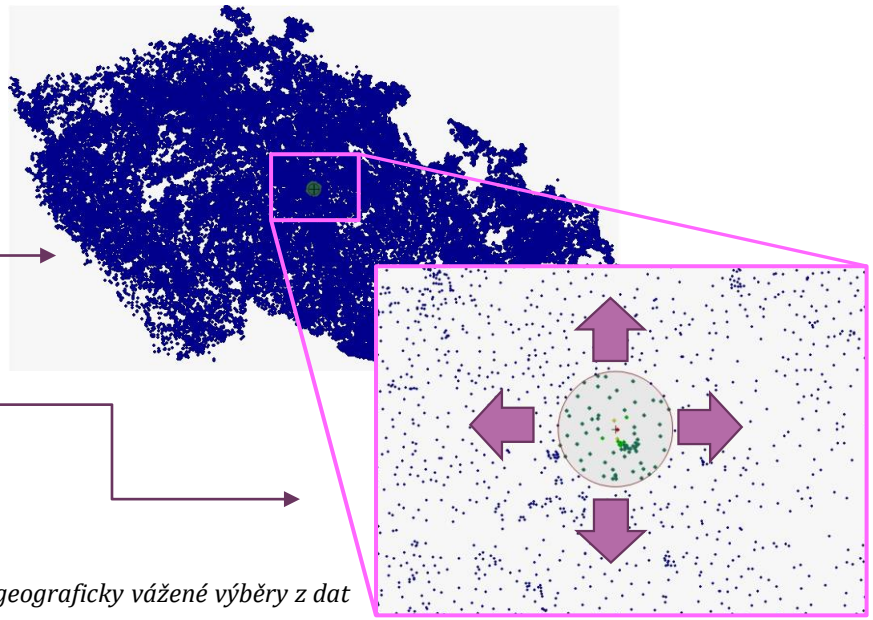
47 mg/kg

S pravděpodobností 76,08 % je překročen preventivní limit.
více o preventivních limitech na webu MZe ČR

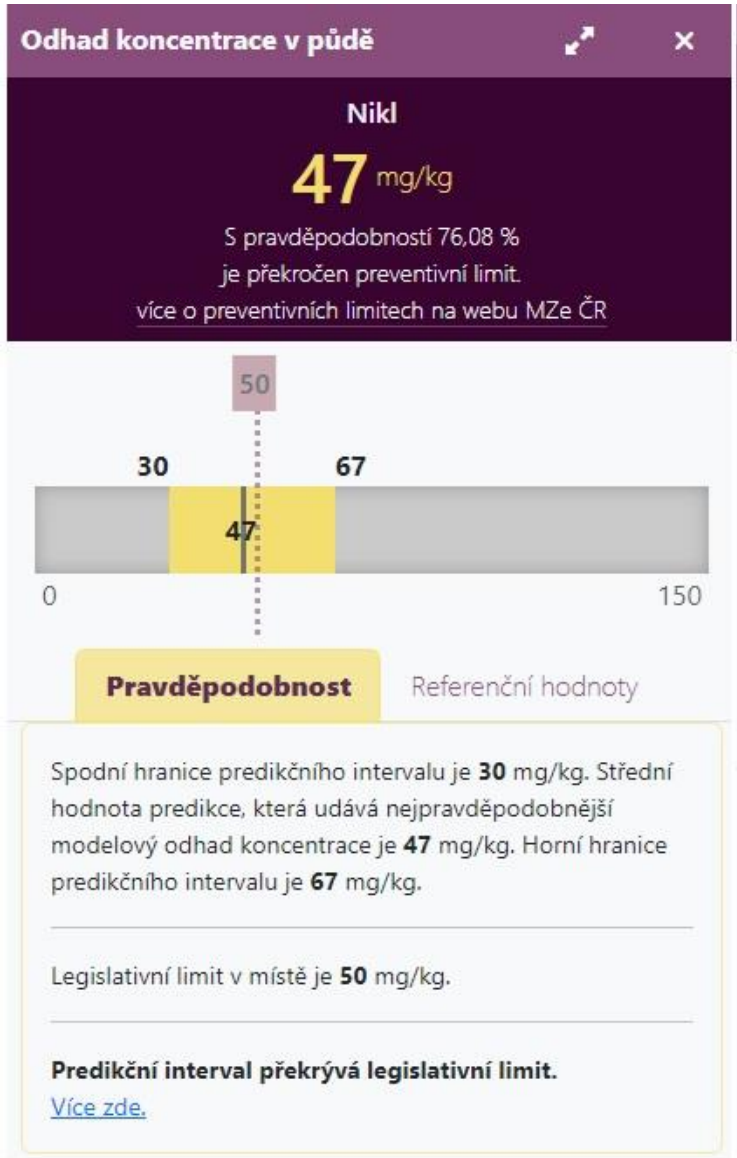


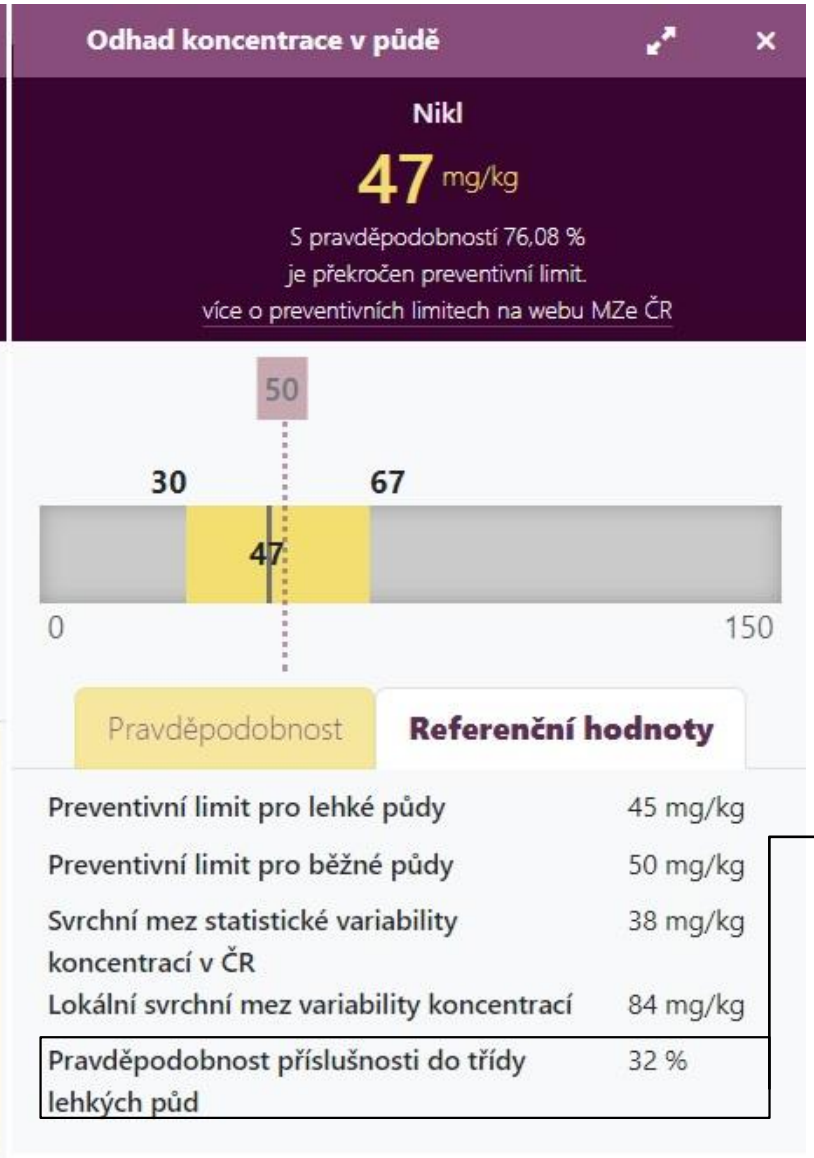
Pravděpodobnost | **Referenční hodnoty**

Preventivní limit pro lehké půdy	45 mg/kg
Preventivní limit pro běžné půdy	50 mg/kg
Svrchní mez statistické variability koncentrací v ČR	38 mg/kg
Lokální svrchní mez variability koncentrací	84 mg/kg
Pravděpodobnost příslušnosti do třídy lehkých půd	32 %

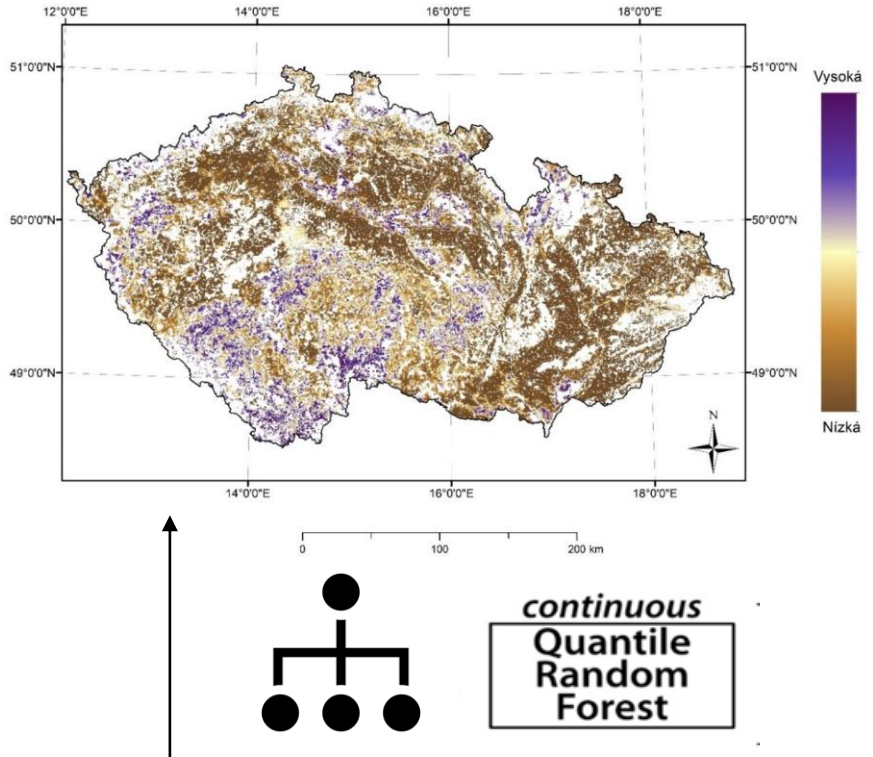


Lokální výpočet – geograficky vážené výběry z dat





Pravděpodobnost, že půda má obsah částic o velikosti < 0,01 mm nižší než 20 % - modelováno na základě dat KPP (základní sondy)



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

	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

Děkuji za pozornost

Jan Skála
+420 257 027 241
skala.jan @vumop.cz
www.vumop.cz

Literatura

- *Bartoňová A. 2004. Aktuální otázky znečištění ovzduší. Praha: Univerzita Karlova, 216 s.*
- *Brunsdon Ch, Fotheringham S, Charlton M. 1998. Geographically Weighted Regression. Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician), 47 (3).*
- *Elvidge CD, Zhizhin M, Ghosh T, Hsu FC, Taneja J. 2021. Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019. Remote Sensing 13(5).*
- *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. Environ Earth Sci 82.*
- *Meinshausen N. 2006. Quantile regression forests. J. Mach. Learn. Res. 7.*
- *Reimann C, Birke M, Demetriades A, Filzmoser P, O'Connor P. 2014. Chemistry of Europe's agricultural soils – Part B: General background information and further analysis of the GEMAS data set. Geologisches Jahrbuch (Reihe B 103), Schweizerbarth, Hannover, 352 pp.*
- *Salminen R et al. 2005. FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, 526 p.*
- *Zbíral J, Honsa I, Malý S, Čižmár D. 2004. Analýza půd III. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.*