

**T A**  
**Č R**

**Odborná zpráva projektu TJ02000234  
souhrn za roky 2019 - 2021**

**Příloha závěrečné zprávy projektu**

**Číslo projektu:** TJ02000234

**Název projektu:** Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR

**Program:** TJ – Program na podporu aplikovaného výzkumu ZÉTA, 2. veřejná  
soutěž

**Doba řešení:** 06/ 2019 – 05/2021

**Hlavní příjemce:** ČVUT v Praze

**Řešitel:** Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.

**Další účastníci:** Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.  
Sweco Hydroprojekt a.s.

**Číslo smlouvy:** 2019TJ02000234

## 1. Cíl projektu

Cílem řešeného projektu je zpracovat a poskytnout odborné veřejnosti kvalitní a plošně konzistentní informace o půdních charakteristikách na území ČR. Konkrétně se jedná zejména o plošně celistvé vrstvy zrnitostí a hydropedologických vlastností, dále mají být soustředěna dostupná měření hydraulických vlastností půd, databáze rozšířena o další nová měření a validována v terénu v rozsahu odpovídajícímu době trvání projektu. Tato data jsou nezbytná pro hydrologické a erozní modelování, které má své uplatnění v projekci pozemkových úprav, protipovodňové a protierozní ochraně, ale i při optimalizaci hospodaření s vodou v krajině v době sucha. V současnosti existuje několik nesourodých datových zdrojů o půdách s odlišným prostorovým pokrytím a odlišnou podrobností a kvalitou dat. Mnohé z nich navíc nejsou dosud publikovány v uživatelsky dostupné podobě. Odvozené datové produkty budou proto v rámci projektu publikovány formou certifikované mapy a odborné veřejnosti poskytnuty na internetovém portálu formou webových služeb. Hlavním přínosem vzniku datově konzistentní vrstvy půdních dat je zkrácení přípravy podkladů pro projekční praxi či výzkumné projekty v environmentální oblasti. Harmonizace dat pak přinese i snížení počtu možných chyb při neodborné práci s více kvalitativně odlišnými podklady a v důsledku tak přispěje k lepší funkci projektovaných opatření v krajině.

## 2. Výstupy / výsledky projektu

V projektu byly plánovány celkem čtyři výsledky s termínem dokončení v posledním roce 2021. V prvním roce řešení směřovaly všechny aktivity pouze k výsledku V7, v roce 2020 měly být zahájeny aktivity pro další dva výsledky V1 a V6, ale kvůli zpoždění s obstaráváním podkladových dat byla příprava článku (výsledek V6) odsunuta na poslední rok řešení. Poslední ze čtyř plánovaných výsledků představuje tato souhrnná zpráva projektu. Kromě plánovaných výsledků vznikl jeden další výsledek V9. Jedná se o odborný článek kategorie JSC, který popisuje technické zařízení používané na pracovišti řešitele ČVUT pro výzkum hydrologického chování půd a jehož vývoj byl tímto projektem kofinancován. V následujícím textu jsou shrnuty všechny výsledky projektu. Uvedená čísla výsledků odpovídají značení v podaném Návrhu projektu a z technických důvodů na straně informačního systému ISTA netvoří nepřerušenu řadu. Pro snadnější čitelnost a lepší logickou návaznost aktivit pak nejsou uvedeny ve vzestupném číslování.

### **Databáze hydropedologických charakteristik půd - V7 (05/2021)**

Jedná se o soubor datových produktů charakterizující hydropedologické vlastnosti půd na území ČR, především konzistentní údaje o zrnitosti půd na ZPF a lesní půdě, databázi měřených hodnot hydraulické vodivosti a několik dalších odvozených produktů. Nedílnou součástí výsledku je jejich publikace na specializovaném serveru s omezeným nebo volným přístupem dle typu výsledku.

### **Hydropedologická mapa půd ČR - V1 (05/2021)**

Výstup bude vycházet z databáze hydropedologických charakteristik - výsledku V7, se kterým je velmi úzce spjatý. Kartografický soubor map bude sestávat z několika tematických

map pro celé území ČR jako je výskyt převažujících zrnitostních tříd, hydrologické skupiny půd, retenční kapacita aj. Tematické mapy budou šířeny zejména v elektronické podobě. Vybrané mapové i datové produkty budou veřejnosti nabídnuty formou veřejně dostupných mapových a procesingových služeb.

#### **Odborný článek CZ - V6 (05/2021)**

Recenzovaný článek do českého odborného časopisu se zaměřením na hydrologii nebo pozemkové úpravy bude popisovat výsledky a metodiku v rámci projektu odvozených datových vrstev. Názorně představí jejich využití při hydrologickém modelování a dimenzování vybraných vodohospodářských opatření.

#### **Souhrnná výzkumná zpráva - V8 (05/2021)**

Standardní výzkumná zpráva projektu s podrobným popisem shromážděných datových podkladů a metodických postupů při odvozování datových produktů. Kromě nich zpráva shrne funkcionality webového portálu, přes nějž bude většina výsledků poskytována veřejnosti.

#### **Odborný článek ENG - V9 (05/2021)**

Recenzovaný odborný článek typu JSC v podobě Technical Note v zahraničním periodiku MDPI. Článek popisuje technické řešení malého dešťového simulátoru vyvinutého na pracovišti řešitele ČVUT za účelem studia půdních charakteristik a hydrologických a erozních procesů.

### 3. Shrnutí řešení v letech 2019 - 2020

V prvním roce řešení 2019 byly zahájeny tři aktivity vázané na jediný ze čtyř cílů projektu V7 - Databáze hydropedologických charakteristik půd. Detaily lze nalézt v Odborné zprávě projektu za rok 2019, která je přílohou Průběžné zprávy projektu za rok 2019. Zde budou stručně shrnuty proběhlé aktivity a dosažené výstupy.

- Rešeršní **aktivita 7-1** (Rešerše a kompletace datových podkladů a metodik) byla zaměřena na české půdní datové zdroje a metodiky, jejich získání nebo odvození a to jak pro zemědělskou, tak lesní půdu. Řešitelé se při tom zaměřili na dva základní druhy podkladů - hydrologické skupiny půd (HSP) jakožto nejčastěji v ČR využívanou hydropedologickou charakteristiku - a fyzikální vlastnosti půd, zejména zrnitosti, a hydraulickou vodivost. Tato aktivita byla v roce 2019 ukončena, rešerše byla součástí Odborné zprávy projektu za rok 2019.
- **Aktivita 7-2** (Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd) byla do projektu začleněna, neboť v ČR neexistuje žádná jednotná databáze hydraulických vodivostí či jiných půdních měření využívaná napříč institucemi. Existují pouze roztržité interní databáze u jednotlivých institucí a většinou jsou nedostupné dalším řešitelům. Úkolem této aktivity bylo shromáždit výsek hydropedologických dat - měření nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  - jak od řešitelů tohoto projektu, tak od třetích institucí, které budou ochotny svá měření pro účely tohoto projektu sdílet. V roce 2019 byla v rámci této aktivity doplněna a rozšířena interní databáze ČVUT o další zpracovaná historická i nová měření na polním dešťovém simulátoru, z nichž měly být v další fázi projektu inverzním modelováním odvozeny infiltrační charakteristiky půd. Dále pracoviště ČVUT pořídilo v rámci jiných rozvojových aktivit malý polní simulátor, tento projekt byl využit ke kofinancování a předpokládalo se pozdější zapojení simulátoru pro pořízení dalších měření půdních charakteristik.
- V rámci poslední **aktivity 7-3** (Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě) byly ověřeny používané metody a vybrán optimální postup pro harmonizaci zrnitostních půdních dat ze zemědělské a lesní půdy.

V druhém roce řešení 2020 bylo plánováno pokračování ve dvou aktivitách zahájených v roce 2019 a zahájení tří dalších. Obě dřívější a jedna nová aktivita měly být v roce 2020 zakončeny, tyto byly vázané na první ze čtyř cílů projektu: V7 - Databáze hydropedologických charakteristik půd. Kvůli zpoždění při obstarávání klíčových dat byla těmto aktivitám přiřazena nižší priorita a jejich dokončení bylo odloženo na poslední rok řešení. Dokončena byla pouze aktivita 7-3 týkající se harmonizace bodových databází zrnitostí, na jejímž podkladě bylo provedeno navazující digitální mapování půd. Obě odložené i dvě nově zahájené aktivity měly pokračovat i v posledním roce řešení 2021. Zde bude opět uvedeno shrnutí všech aktivit řešených v roce 2020, podrobný popis je uveden v Odborné zprávě projektu za rok 2020.

- Jediná v roce 2020 dokončená **aktivita 7-3** (Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě) se zabývala čištěním a harmonizací obsahu i struktury bodových databází zrnitosti zemědělských a lesních půd pro digitální mapování. V průběhu řešení projektu vyplynula potřeba pracovat se souborem dat ze zemědělské

půdy a z lesní půdy stejnou metodikou, avšak odděleně a až výsledné mapy zrnitosti propojit dohromady. Obě databáze zrnitosti tedy nebyly sloučeny do jednoho souboru.

- **Aktivita 7-2** (Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd) byla zaměřena dvěma směry. Prvním byl průzkum existujících databází měření u třetích stran a snaha o navázání spolupráce v oblasti sdílení dat. Z 10 oslovených institucí byl zaznamenán úspěch pouze ve dvou případech s výsledkem jednoho datasetu půdních zrnitostí a jednoho datasetu hydraulických vodivostí. Druhým směrem bylo další rozšiřování interní databáze měření ČVUT. Kvůli omezením způsobených epidemií COVID-19 byla tato aktivita značně omezena (získávání nových experimentálních výsledků) a redukována na digitalizaci dalších historických experimentů.
- V rámci **aktivity 7-4** (Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks) byla zpracována ucelená rešerše se zaměřením na pedotransferové funkce (PTF) využitelné pro modelování hydropedologických vlastností půd. Tato rešerše je přílohou Odborné zprávy projektu za rok 2020. Vyplývalo z ní mimo jiné, že na základě českých půdních dat dosud nebyla úspěšně odvozena PTF konkrétně pro odvození Ks. Do konce roku nebyla k dispozici podkladová databáze HYPRES CZ, proto byl pokus o odvození příslušné PTF odložen na rok 2021. Na datech z interní databáze VÚMOP bylo verifikováno využití PTF odvozených v zahraničí, konkrétně vztahu dle evropské databáze HYPRES (Wösten et al., 1998). Spolehlivost této PTF se ukázala značně závislá na znalosti všech vyžadovaných analýz - objemové hmotnosti i hodnoty oxidovatelného uhlíku Cox, tedy nejen zastoupení zrnitostních frakcí.
- Klíčovou byla v roce 2020 **aktivita 1-1** (Odvození celistvé vrstvy hydropedologických vlastností půd ČR). Připravena byla data pro odvození map hydropedologických vlastností lesních půd. Pro digitální mapování byla na základě předchozích zkušeností projektového týmu vybrána metoda Quantile Random Forest a připraveno přes 100 kovariátů pro hledání optimálních modelů pro stanovení půdních vlastností. Samotné mapování bylo kvůli zpožděním se získáním podkladových dat odloženo na začátek roku 2021. Dále byly zahájeny analýzy pro definici metodiky pro spojení map půdních vlastností ze zemědělské a lesní půdy do spojitě datové vrstvy a modernizovány webové služby plánované pro publikaci výsledků projektu.
- Na konec roku 2020 byla plánována **aktivita 6-1** (Tvorba a publikace článku o postupech a výsledcích projektu). Kvůli zpožděním s mapováním byla tato aktivita odložena na rok 2021.

## 4. Cíle pro rok 2021 - shrnutí

Hlavním cílem pro rok 2021 bylo uzavření všech započatých aktivit a dosažení všech plánovaných výsledků. Klíčovou aktivitou bylo digitální mapování půdních vlastností na lesních půdách (VÚMOP), spojení výsledných map s analogickými produkty ze zemědělské půdy do celistvých datových vrstev (ČVUT a SWECO), tvorba mapových výsledků (VÚMOP) a jejich certifikace a publikace dat prostřednictvím webových služeb (ČVUT). Dalším cílem bylo odvození hydraulické vodivosti z experimentálních dat ČVUT a VÚMOP a prověření jejich využití pro odvození české verze PTF pro Ksat. Posledním z úkolů byla tvorba a publikace českého odborného článku pro informování veřejnosti o výsledcích projektu a tvorba této Souhrnné zprávy.

Podrobně jsou provedené činnosti a jejich výsledky rozvedeny dále v této zprávě v následující kapitole shrnující aktivity posledního roku řešení.

## 5. Aktivity v posledním roce řešení

V posledním roce řešení byly uzavřeny zpožděné aktivity A7-2 a A7-4, čímž byl dosažen výsledek V7 (databáze půdních charakteristik). Dle plánu pokračovala i zpožděná klíčová aktivita A1-1 a zahájeny byly další dvě aktivity A1-2 a A6 týkající se výsledků V1 (odvození hydropedologických map) a V6 (Odborný článek). Před koncem řešení proběhla aktivita A8 svázaná s posledním výsledkem V8 (Souhrnná zpráva). Původně neplánovanou aktivitou byla spolupráce na odborném článku, který tvoří další výsledek V9. V roce 2021 tedy byly řešeny následující aktivity:

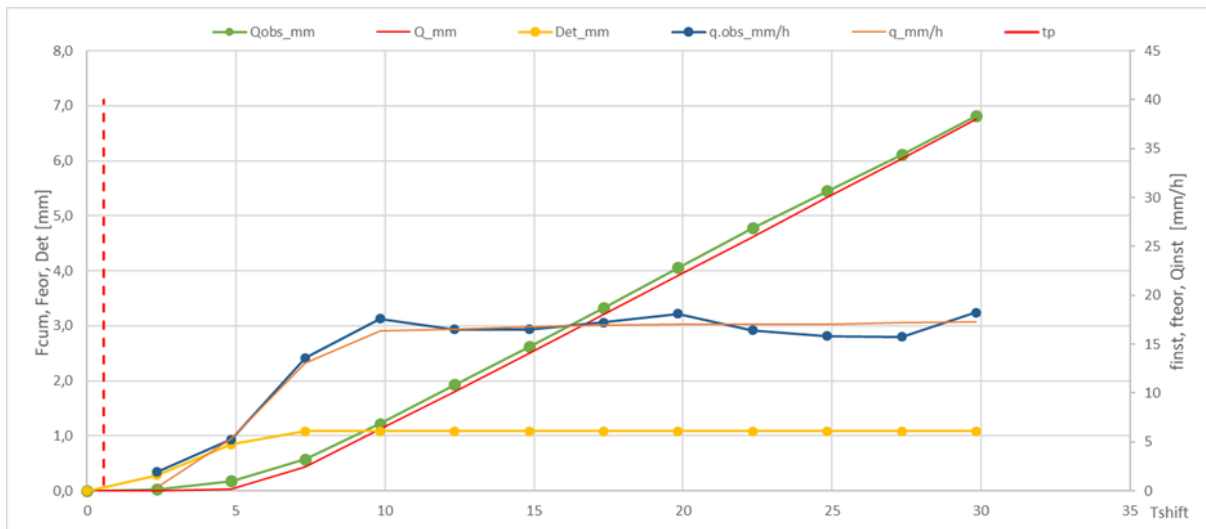
- Aktivita 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd,
- Aktivita 7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks,
- Aktivita 1-1 Odvození celistvé vrstvy hydropedologických vlastností půd ČR,
- Aktivita 1-2 Tvorba a certifikace mapy vybraných hydropedologických charakteristik,
- Aktivita 6 Odborný článek
- Aktivita 8 Tvorba souhrnné zprávy projektu.

### 4.1 AKTIVITA 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd

V roce 2021 bylo provedeno odvození saturované hydraulické vodivosti prostřednictvím inverzního modelování infiltrace a povrchového odtoku z experimentálních ploch s využitím dešťového simulátoru. Podrobnosti o zařízeních a metodice měření jsou uvedeny nebo odkazovány v předchozích Odborných zprávách projektu.

Vstupem pro inverzní modelování byly záznamy o intenzitě srážky a průběhu odtoku z 300 simulací provedených týmem ČVUT a 141 simulací týmem VÚMOP. Pro odvození parametrů infiltrace byl sestaven jednoduchý hydrologický model v prostředí MS Excel, přičemž průběh infiltrace byl modelován metodou Green&Ampt. Dva parametry infiltrační rovnice a dva až tři další hydrologické proměnné byly optimalizovány pomocí rozšíření Řešitele. Pro hodnocení shody byla využita kombinovaná hodnota standardizovaného středního čtverce odchylky

okamžité intenzity a kumulativní hodnoty odtoku. Příklad optimalizovaného modelu znázorňuje Obr. 1. Příprava modelů pro všechny simulace byla provedena automatizovaně, ale samotná optimalizace byla spouštěna a případně upravována individuálně. Tento spíše manuálně náročný přístup byl upřednostněn před automatizovaným řešením (např. s využitím programování v R) kvůli možnosti snadné manipulace s modelem, vybranými datovými body či okrajovými podmínkami. To se ukázalo jako nezbytné kvůli značnému množství nestandardních průběhů simulací a chyb při měření či zpracování záznamů, které byly odhaleny až při samotném modelování.



Obr 1: Příklad optimalizovaného modelu infiltrace a odtoku. Modře a zeleně měřené hodnoty intenzity, resp. kumulativního odtoku, proložené jsou modelované hodnoty. Žlutě povrchová retence. Čárkovaně vyznačena doba výtopy.

Právě kvůli častým chybám v měření různého charakteru nebo kvůli neschopnosti modelu vystihnout pozorovaný průběh odtoku byly simulace roztříděny do tří kategorií věrohodnosti a některé simulace byly vyřazeny úplně. Počty simulací v jednotlivých třídách shrnuje tabulka 1.

Tab. 1: Počet simulací pro odvození Ksat a zatřídění dle věrohodnosti

Třída věrohodnosti	Počet ČVUT	Počet VÚMOP	Význam zatřídění
0	131	49	vyřazeno
3	37	35	špatná shoda nebo závažné chyby v simulaci
2	80	37	průměrná shoda nebo chyby v simulaci s nízkým dopadem na výsledné parametry
1	53	19	velmi dobrá shoda, nejsou známy chyby simulace

Odvozené parametry modelu spolu s metadaty o simulacích (datum, lokalita, plodina, počáteční stav) představují hlavní obsah výsledku veřejné části výsledku V7 - databáze

hydropedologických charakteristik půd poskytované ve formátu csv a RDS na serveru rain.fsv.cvut.cz.

Kromě hodnot Ksat odvozených z vlastních interních databází ČVUT a VÚMOP byla pro potřeby projektu získána zdrojová data databáze HYPRES CZ. K těmto datům se vztahují vlastnická práva, kvůli nimž je možné veřejně publikovat pouze metadata. Součástí databáze (výsledek V7) tedy budou pouze souhrnné informace o množství a typu obsažených dat.

#### 4.2 AKTIVITA 7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks

Tato aktivita byla plánována jako navazující na aktivitu 7-2. Kromě verifikace existujících PTF (proběhlo v roce 2020) měl být na základě rozšířené databáze hydraulických vodivostí proveden pokus o odvození specificky české PTF pro odvození Ks. V případě odvození nové PTF by byla vyvinutá metoda využita pro odvození Ks v rámci aktivity 1-1. Provedená verifikace ukázala určitý potenciál využití PTF na podkladě databáze HYPRES pro určení Ks i pro české podmínky. Spolehlivost je však nutné otestovat na datasetu většího rozsahu a zejména obsahujícím všechny vyžadované analýzy (BD a Cox).

Po získání dat z databáze HYPRES CZ a srovnáním s interními databázemi bylo provedeno kritické zhodnocení počtu záznamů ve vztahu k rozsahu analyzovaných veličin.

Databáze HYPRES CZ obsahuje 83 záznamů o hydraulické vodivosti, zrnitosti, objemové hmotnosti a obsahu organické hmoty celkem z 10 českých lokalit. Jednotlivé zrnitostní třídy jsou pokryty dle tabulky 2. V datasetu nejsou obsaženy informace o metodě odvození Ksat a během další komunikace s poskytovatelem dat se je nepodařilo získat.

Tab 2: počty záznamů v databázi HYPRES CZ podle zrnitostní třídy

Zrnitostní třída	Počet záznamů
silt loam	21
clay loam	15
loam	14
sandy loam	11
silty clay loam	9
loamy sand	4
sand	3
sandy clay loam	3
clay	2
silty clay	1



Experimentální data ČVUT oproti tomu pochází pouze ze čtyř lokalit, v případě VÚMOP se jedná o další jednu lokalitu. Zrnitostní třídy společně pokrývají pouze tři a zejména data ČVUT obsahují jen velmi zřídka informace o objemové hmotnosti a téměř vůbec o obsahu organického uhlíku. Oproti HYPRES CZ jsou pak použité metody odvození (inverzní modelování odtoku) zcela odlišné. Proto nebylo k odvození nové PTF i přes průběžné doplňování hodnot během řešení projektu ze spojeného datasetu přikročeno. Odvození PTF by bylo sice technicky možné, ale její relevance by byla nízká.

V rámci udržování výsledků projektu po jeho ukončení (v průběhu implementace) se předpokládá rozšíření poskytovaných datových vrstev o vrstvu odhadované hodnoty Ksat na základě nejobecnějších PTF na základě čistě zrnitostního zatřídění půd. Tento podklad by měl sloužit jako podpora pro fyzikální hydrologické modelování a najde využití v řadě výzkumných projektů i studií protierozní či protipovodňové ochrany.

#### 4.3 AKTIVITA 1-1 Odvození celistvé vrstvy hydrologických vlastností půd ČR

V roce 2021 proběhlo dokončení vrstev hydrologických vlastností půd ČR. Metodami digitálního mapování půd byly vytvořeny mapy zrnitosti na lesních půdách objemové hmotnosti redukované (OHR), obsahu organického uhlíku (COX) a hloubky půdy (HL), pro které byly v roce 2020 připraveny veškeré podklady. Následně byly propojením s mapami odvozenými v jiných projektech (ovšem stejnou metodikou) pro zemědělskou půdu vytvořeny souvislé mapy procentního zastoupení jílu, prachu, písku, zrnitostních kategorií dle zrnitostního trojúhelníku TKSP, resp. USDA a mapy OHR, COX a HL. Pro spojování byla vytvořena metodika ošetřující překryvy i nedokryvy obou mapových souborů. Na základě výsledných map zrnitostí byla odvozena mapa Hydrologických skupiny půd (HSP). Vytvořené datové soubory byly zprostředkovány odborné veřejnosti pomocí WMS a WPS služeb, souběžně s nimi byl vytvořen informační webový rozcestník.

##### 4.3.1 Data a metody

###### **Digitální mapování půd**

Mapy zrnitosti byly odvozeny metodami digitálního mapování půd (DMP), které pro predikci půdní kategorie či atributu využívají koncept tzv. SCORPAN faktorů (McBratney et al., 2003). Tento koncept říká, že půdní vlastnost SP (třída či atribut) je funkcí půdního typu ( $s = \text{Soil}$ ), klimatu ( $c = \text{Climate}$ ), organismů ( $o = \text{Organisms}$ ), reliéfu ( $r = \text{Relief}$ ), mateční horniny ( $p = \text{Parent material}$ ), času ( $a = \text{Age}$ ) a prostorové pozice ( $n = \text{spatial position}$ ):

$$SP = f(s, c, o, r, p, a, n) + e$$

Či obecně

$$SP = f(Q) + e$$

Kde  $e$  je chyba predikce,  $Q$  je pedologicky významný prediktor.

Principem DMP je nalezení funkce vyjadřující vztah mezi  $m$  pozorováními půdního atributu  $SP$  se známými souřadnicemi  $[x, y]$  a souborem pedologicky významných prediktorů  $Q$ , tedy souborem mapových vrstev o rozsahu  $M$  a souřadnicích  $[X, Y]$ , kde  $[x, y] \subset [X, Y]$ . Jakmile je

sestavena vhodná funkce pro predikci v  $m$  bodech, může být model rozšířen na  $M$  bodů či buněk rastru, respektive může být vytvořena digitální mapa.

Pro mapování zrnitosti na lesní půdě byla vybrána metoda Quantile Random Forest (QRF). Výběr byl proveden na základě dřívějších zkušeností projektového týmu s použitím pedometrických metod pro mapování půdních vlastností. Model QRF vznikl zobecněním klasického RF modelu. U klasického RF je výsledná, modelem predikovaná hodnota spočtena jako průměrná hodnota predikce všech stromů modelu. Oproti tomu QRF model je schopen odhadnout kvantily modelované proměnné pro všechny místa predikce (pixely predikovaného rastru). Kvantil je hodnota, pod kterou leží určitý podíl hodnot. Např. pokud je kvantil  $q_{0,025}$  obsahu jílu 2 %, tak víme, že 2,5 % predikovaných hodnot zastoupení jílu je nižších než 2 %. Z výsledků predikce jednotlivých rozhodovacích stromů je odhadnuta kumulativní distribuční funkce modelované proměnné. Z distribuční funkce je pak možné odhadnout hodnotu modelované proměnné každého kvantilu pravděpodobnosti. Kvantil 0,5 (medián) se používá pro tvorbu výsledné mapy modelované proměnné obdobně jako u klasického modelu RF. Hlavní výhodou QRF oproti RF je však možnost z kvantilů 0,025 a 0,975 odvodit horní a dolní odhad hodnoty modelované proměnné v každém bodě. Vznikne tak konfidenční interval, který s 95 % pravděpodobností pokryje skutečnou hodnotu modelované proměnné v každém pixelu. Tyto mapy slouží k prezentaci nejistoty predikce jednotlivých zrnitostních frakcí.

Digitální mapování půd vyžaduje dva zdroje dat:

- a) Bodovou vrstvu měřených hodnot hledaného atributu
- b) Rastrové vrstvy environmentálních prediktorů v rozsahu mapovaného území

#### *a1) Bodová vrstva zrnitosti na lesní půdě*

Pro mapování zrnitosti na lesních půdách byly použity databáze sond a horizontů poskytnuté pracovištěm ÚHÚL. Jejich základem jsou tzv. inventarizační plochy – kruhové plochy o výměře 500 m<sup>2</sup>, které jsou vybírány tak, aby reprezentovaly okolní půdně vegetační podmínky. V rámci každé plochy je kopána půdní sonda a analyzován její půdní profil. Z jednotlivých diagnostických horizontů jsou odebírány vzorky pro laboratorní rozbor. Databáze obsahují část se záznamy k ploše/sondě a část se záznamy k jednotlivým horizontům. V projektu je využita datová sada Historických půdních sond.

Jedná se o data pořízená v období od roku 1953 do roku 2019, převážně však do roku 1990. Databáze obsahuje přesné souřadnice odběru půdních sond, informace o době odběru, zařazení do lesního typu a lesní oblasti a údaje o geologických a půdních podmínkách stanoviště. K sondám jsou přiřazeny informace o jednotlivých půdních horizontech – určení horizontu, jeho maximální hloubka, zrnitostní rozbor a druh rozboru (4 druhy dle jejich určení, některé druhy neobsahují laboratorní rozbor zrnitosti). Databáze obsahující původně záznamy pro 9 451 sond byla v první fázi vyčištěna a data zrnitosti byla harmonizována na Taxonomický klasifikační systém půd ČR (TKSP) (Němeček et al. 2011). Konečný soubor pro mapování obsahuje 5 327 sond. Podrobnosti o čištění databáze jsou uvedeny v odborné projektové zprávě z roku 2020.

#### *a2) Bodová vrstva dalších půdních vlastností*

Pro mapování ostatních půdních vlastností byla využita kromě databáze historických sond i databáze druhé národní lesní inventarizace (NIL II) (Kučera & Adolt, 2019). Jedná se o data pořízená v období 2011 – 2015 obsahující stejné informace jako historické půdní sondy a navíc informace o reliéfu (sklon a expozice) a objemové hmotnosti. Databáze NIL II

obsahuje 1 567 sond. Databáze byla očištěna o duplicitu a sondy bez udaných měřených hodnot požadovaných půdních vlastností a byla spojena s databází historických sond.

Pro jednotlivé půdní vlastnosti bylo třeba upravit databázi individuálně:

- Obsah organického uhlíku byl v průběhu let měřen 3 metodami: do r. 1985: titrace Mohrovou solí; 1985- 2004: titrace hydrochynonem (oxidačně titrační metoda); 2005 - současnost: spalovací metoda (přístroj Primacs). Srovnání metod měření půdního uhlíku se věnuje několik publikací (např. Jankauskas et al., 2006), z nichž vyplývá, že titrační a spalovací metoda měří systematicky odlišné hodnoty Corg. Pro data měřená od roku 2005 byl aplikován přepočítání dle Jankauskas et al. (2006):

$$Y = 0.162/1.724 + 0.869 X$$

Celkově byla mapa organického uhlíku odvozena z 6 797 sond.

- Objemová hmotnost byla měřena pouze v databázi NIL II cca u poloviny sond. Modelování bylo založeno na 768 sondách.
- Hloubka půdy vychází z obou databází, celkem z 5 075 sond. U hloubky bylo největším problémem definovat pro každou sondu hloubku půdy. Definována byla jako hloubka sola, tedy pouze minerální horizonty. Ze sond byly vymazány všechny nadložní organické horizonty a substrátové horizonty.

#### b) *Environmentální prediktory*

Všechny prediktory jsou připraveny ve formátu tif v rozsahu lesní půdy ČR vymezené polygony Lesních typů (databáze ÚHÚL) v jednotném rozlišení s velikostí pixelu 20 x 20 m. Jedná se celkem o 6 prediktorů faktoru S, 4 prediktory faktoru C, 10 prediktorů faktoru O, 13 základních prediktorů R, každý v 5 různých rozlišeních (celkem 65 vrstev), 4 prediktory faktoru P a 20 prediktorů faktoru N. Celkově se jedná o 109 vrstev. Podrobně jsou vyjmenovány v tabulce 3. Detaily o přípravě prediktorů jsou uvedeny v odborné projektové zprávě z roku 2020.

Tab. 3: prediktory použité pro digitální mapování půd.

prediktor	Skupina SCORPAN	Užívané označení	zdroj / metoda tvorby
Potenciální retence	S	S_POTENC_RET	certifikovaná mapa (Beitlerová et al., 2017)
Retenční vodní kapacita	S	S_RVK	mapa RVK 1 : 500 000, archiv VÚMOP
kategorie lesních typů	S	S_KATEGORIE_LT	mapa lesních typů ÚHÚL
edafická řada lesních typů	S	S_RADA_LT	mapa lesních typů ÚHÚL
lesní vegetační stupeň	S	S_LVS	mapa lesních vegetačních stupňů ÚHÚL
půdní typ	S	S_PUDNI_TYP	půdní mapa 1 : 200 000, ČZU
skupina hornin	P	P_HORNINA	geo mapa + kvartér 1 : 500 000, ČGS

geologické oddělení	P	P_ODDELENI	geo mapa + kvartér 1 : 500 000, ČGS
geologická éra	P	P_ERA	geo mapa + kvartér 1 : 500 000, ČGS
kvartér (ano/ne)	P	P_KVARTER	geo mapa + kvartér 1 : 500 000, ČGS
průměrná roční teplota	C	C_TEMPER	interpolace ze stanice CHMÚ
průměrná roční evapotranspirace	C	C_EVAPOT	interpolace ze stanice CHMÚ
průměrné roční srážky	C	C_PRECIPIT	interpolace ze stanice CHMÚ
regionalizovaný R faktor	C	C_RFAKTOR	mapa CHMÚ
Nadmořská výška	R	R_ELEV_OC0 - R_ELEV_OC5	DMT 4G (ČÚZK)
Expozice	R	R_ASPECT_OC0 - R_ASPECT_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.slope.aspect
Sklon	R	R_SLOPE_OC0 - R_SLOPE_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.slope.aspect
Profilové zakřivení povrchu (profile curvature)	R	R_CURVPROF_OC 0 - R_CURVPROF_OC 5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.slope.aspect
Tangenciální zakřivení povrchu (tangencial curvature)	R	R_CURVTANG_OC0 - R_CURVTANG_OC 5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.slope.aspect
Akumulace odtoku (flow accumulation)	R	R_FLOWACC_OC0 - R_FLOWACC_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.watershed
Směr odtoku (Flow path)	R	R_FLOWPATH_OC 0 - R_FLOWPATH_OC 5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.flow
LS faktor (Weltz et al., 1987)	R	R_LSFACOR_OC0 - R_LSFACOR_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.watershed

S faktor	R	R_SFACOR_OC0 - R_SFACOR_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.watershed
Vícerozměrný index plochosti údolí (multi resolution valley bottom flatness index)	R	R_MRVBFI_OC0 - R_MRVBFI_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.valley.bottom
Topografický index terénu (Topographic position index)	R	R_TPI_OC0 - R_TPI_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / QGIS, TPI
Vlhkostní index terénu (Topographic wetness index)	R	R_TWI_OC0 - R_TWI_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.watershed
Index síly toku (Stream power index)	R	R_SPI_OC0 - R_SPI_OC5	DMT 4G (ČÚZK) / GRASS GIS, r.watershed

#### 4.3.2 Postup zpracování

V první řadě byla připravena trénovací matice, kdy byly k sondám s uvedenými hodnotami půdního atributu vyčteny hodnoty všech prediktorů. Matice byla následně rozdělena na trénovací a testovací data v poměru 80 % / 20 %. Rozdělení bylo vytvořeno v programu R funkcí *createDataPartition* z balíku *Caret* tak, aby bylo v trénovacím i testovacím souboru dodrženo stejné rozdělení dat. Trénovací soubor byl použit pro trénování modelu. Testovací soubor byl následně použit pro hodnocení přesnosti modelu a výsledné mapy.

Pro každou zrnitostní frakci byl trénován model pomocí funkce *caret::train*. Samotné trénování modelu je automatický proces vyžadující od uživatele vstupní data a nastavení hyperparametrů modelu, kterým je potřeba věnovat zvláštní pozornost. Hyperparametry jsou parametry modelu, které nejsou ovlivněny trénováním a nastavuje je uživatel předem. Například se jedná o počet rozhodovacích stromů v Random Forest. Správné nastavení hyperparametrů výrazně ovlivňuje přesnost predikce. Základním principem automatického ladění hyperparametrů je opakované trénování modelu s různými hodnotami hyperparametrů. Navíc se v každé iteraci trénování automaticky provádí interní křížová validace za účelem hodnocení relativní přesnosti modelů v závislosti na nastavení hyperparametrů. Na základě vypočítaných metrik přesnosti RMSE je automaticky vybrán natrénovaný model s nejlepším nastavením hyperparametrů. Nejlepší nastavení hyperparametrů je takové, které vede k nejpřesnější predikci modelované proměnné na trénovacích bodech v rámci křížové validace. Fáze trénování dat je díky hledání vhodných hyperparametrů a interní křížové validaci výpočetně nejnáročnější a nejdelší částí. Každý model zrnitostní frakce byl trénován dvacetkrát s jinými hyperparametry a každá verze byla pro potřeby křížové validace trénována dvacet pětkrát. Celkem tedy byl model trénován pět set krát za sebou.

Hodnocení přesnosti predikce proběhlo na odděleném testovacím souboru. Na bodech testovacího datového souboru byly natrénovanými modely predikovány hodnoty

sledovaných půdních vlastností. Z párů predikovaných a skutečných hodnot cílové proměnné se vypočítala přesnost predikce a výsledné mapy (funkce `caret::extractPrediction`). Pro hodnocení přesnosti byly použity metriky RMSE,  $R^2$ , CCC.

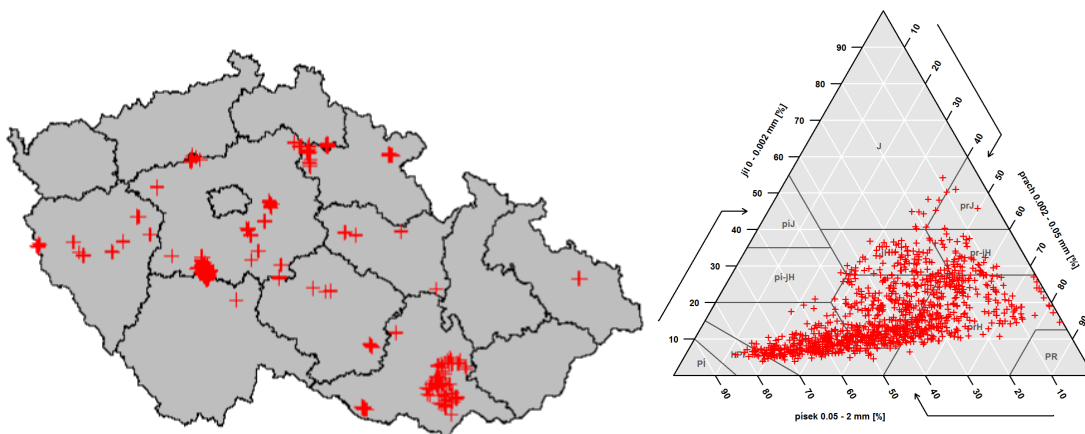
Natrénovaný model s nejlepším nastavením hyperparametrů byl použit pro per-pixel predikci jednotlivých frakcí zrnitosti v R. Modelem QRF byly predikovány kvantily 0,025; 0,25; 0,5; 0,75; 0,975. Výsledkem predikce je pět rastrů, každý reprezentující jeden kvantil. Vlastní mapy zrnitosti vznikly ze středních hodnot predikce (kvantil 0,5 – medián). Z rastrů pro kvantil 0,25 a 0,75 vznikla mapa maximální chyby, která s 50 % pravděpodobností nebude překročena.

Zrnitost půdy je kompozitní parametr, kdy 3 zrnitostní frakce musí dát dohromady 100%. Při digitálním mapování jsou jednotlivé frakce predikovány s neznámou chybou a jejich součet tedy nedává přesně 100 %. Řešením je jednu z frakcí dopočítat podle vzorce

$$\text{Frakce } a = 100 \% - \text{frakce } b - \text{frakce } c$$

U dat zrnitosti obecně platí velká korelace mezi obsahem prachu a písku, přičemž obsah jílu je na obou frakcích méně závislý. Dopočten byl písek vzhledem k menší chybě RMSE.

Mapy byly v posledním kroku validovány na nezávislém validačním datovém souboru, sestávajícím z dat pořízených VÚMOP, v.v.i. v letech 2011 – 2020 v rámci různých projektů a studií. Jedná se celkově o 1 100 sond odebraných na zemědělské půdě, disponujících laboratorními rozbory zrnitosti. Validací soubor na lesní půdě není dostupný. U validačních sond byla identifikována zrnitostní třída a porovnána se zrnitostní třídou výsledné mapy. Rozmístění a zrnitostní složení validčních sond v rámci ČR je patrné z Obr. 2.



Obr. 2: Rozmístění (vlevo) a zrnitostní složení (vpravo) sond nezávislého validačního souboru z let 2011 - 2020

#### 4.3.3 Výsledky mapování zrnitosti půd

Přesnost predikovaných map je uvedena v tabulce 4, graficky schopnost predikovat zrnitost ukazuje Obr. 3, kde jsou pro každou frakci na zemědělské i lesní půdě porovnány měřené a predikované hodnoty v testovacím souboru. Obecně je predikce zrnitosti spolehlivější na zemědělské než na lesní půdě, což je dáno násobně menším počtem trénovacích dat na lesní půdě. Výrazně nejhůře je predikován jíl na lesní půdě, značná část chyby je ovšem

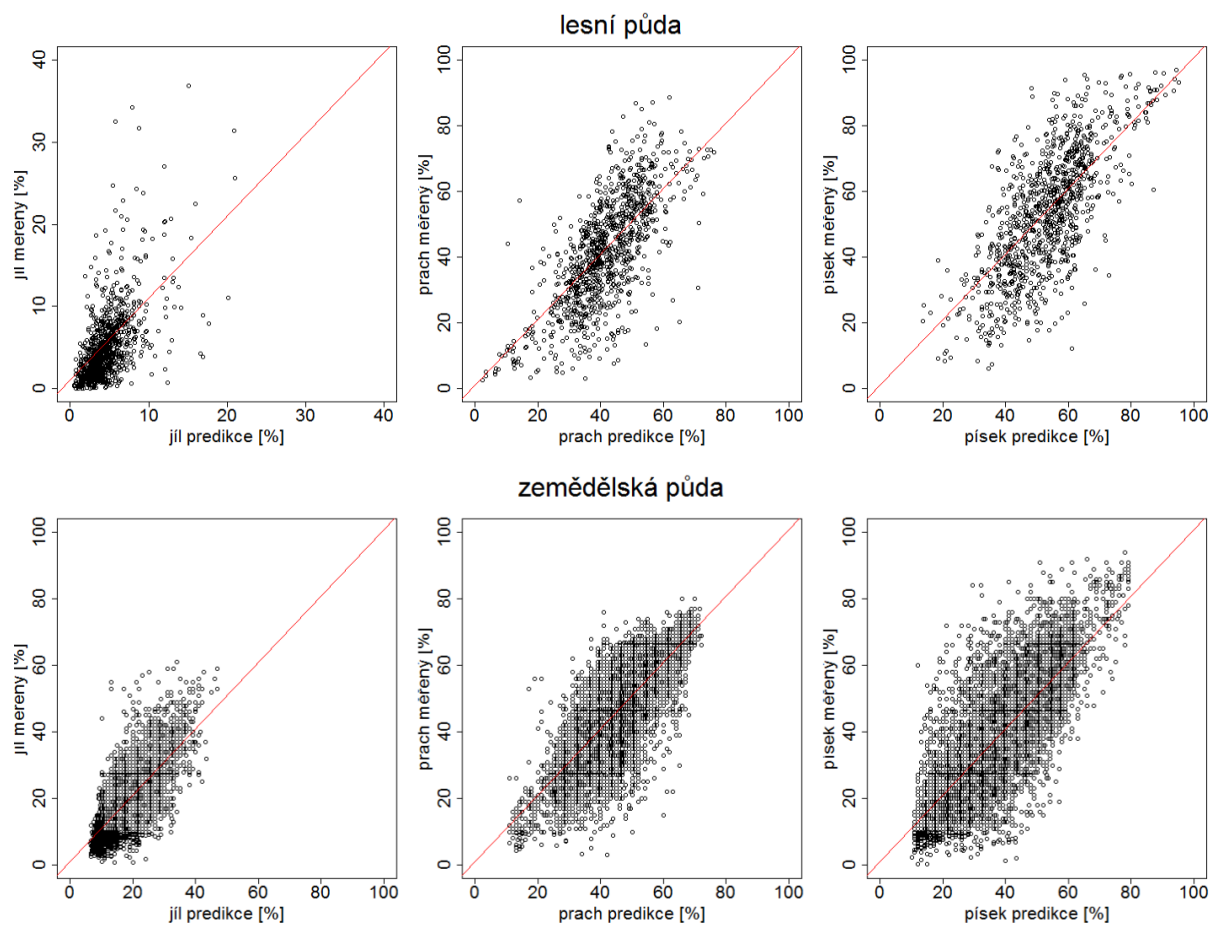
způsobena neschopností modelu predikovat vysoké hodnoty, které jsou v lesích málo zastoupeny a model neměl dostatek informací pro jejich natrénování.

Spolehlivost mapování zrnitosti byla dále vyhodnocena na základě nezávislého validačního souboru. Hodnocena byla shoda zrnitostní kategorie mezi modelovanou mapou a sondami validačního souboru. Na 627 z celkových 1 100 lokalit, tedy v 57 % případů byla určena správná zrnitostní kategorie. Většině chybně určených lokalit byla v mapě přiřazena některá ze sousedních kategorií. Vyhodnocení správnosti určení zrnitostní kategorie je zobrazeno na Obr. 4. Pro každou zrnitostní kategorii zastoupenou v mapě jsou zobrazeny v zrnitostním trojúhelníku sondy z validačního souboru s jejich zrnitostním složením. Z obrázku je patrné, že pouze minimum sond bylo určeno s větší nepřesností, než je sousední kategorie.

Na základě metrik modelu bylo rozhodnuto o dopočítání písčité frakce (písek = 100 – jíl – prach), která vykazuje nejvyšší RMSE. Výsledné mapy zrnitostních frakcí společně s mapami potenciální chyby predikce (u dopočteného písku není dostupná) jsou zobrazeny na Obr. 5, Obr. 6 a Obr. 7. Pro každý pixel vzniklo na základě predikované hodnoty jílu, prachu a dopočtené hodnoty písku zatřídění do zrnitostního trojúhelníku TKSP a klasifikaci do zrnitostní třídy (Obr. 8).

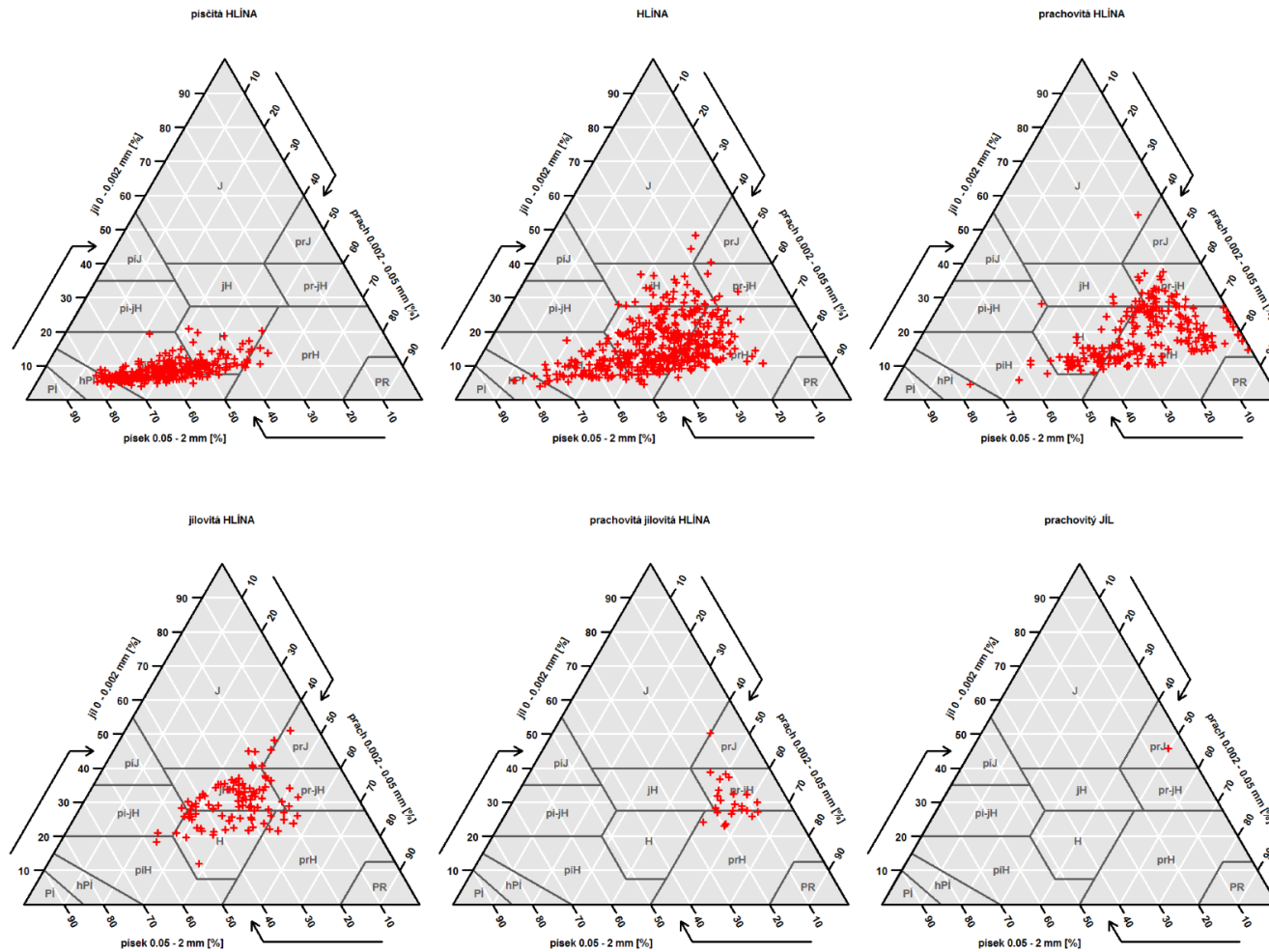
Tab. 4: Přesnost predikce zrnitostních frakcí jíl a prach na lesní a zemědělské půdě

metriky	jíl	prach	písek
<b>les</b>			
RMSE	3,4	11,87	13,23
R2	0,33	0,50	0,51
CCC	0,49	0,65	0,66
<b>Zemědělská půda</b>			
RMSE	5,56	8,95	11,14
R2	0,61	0,61	0,65
CCC	0,74	0,75	0,78

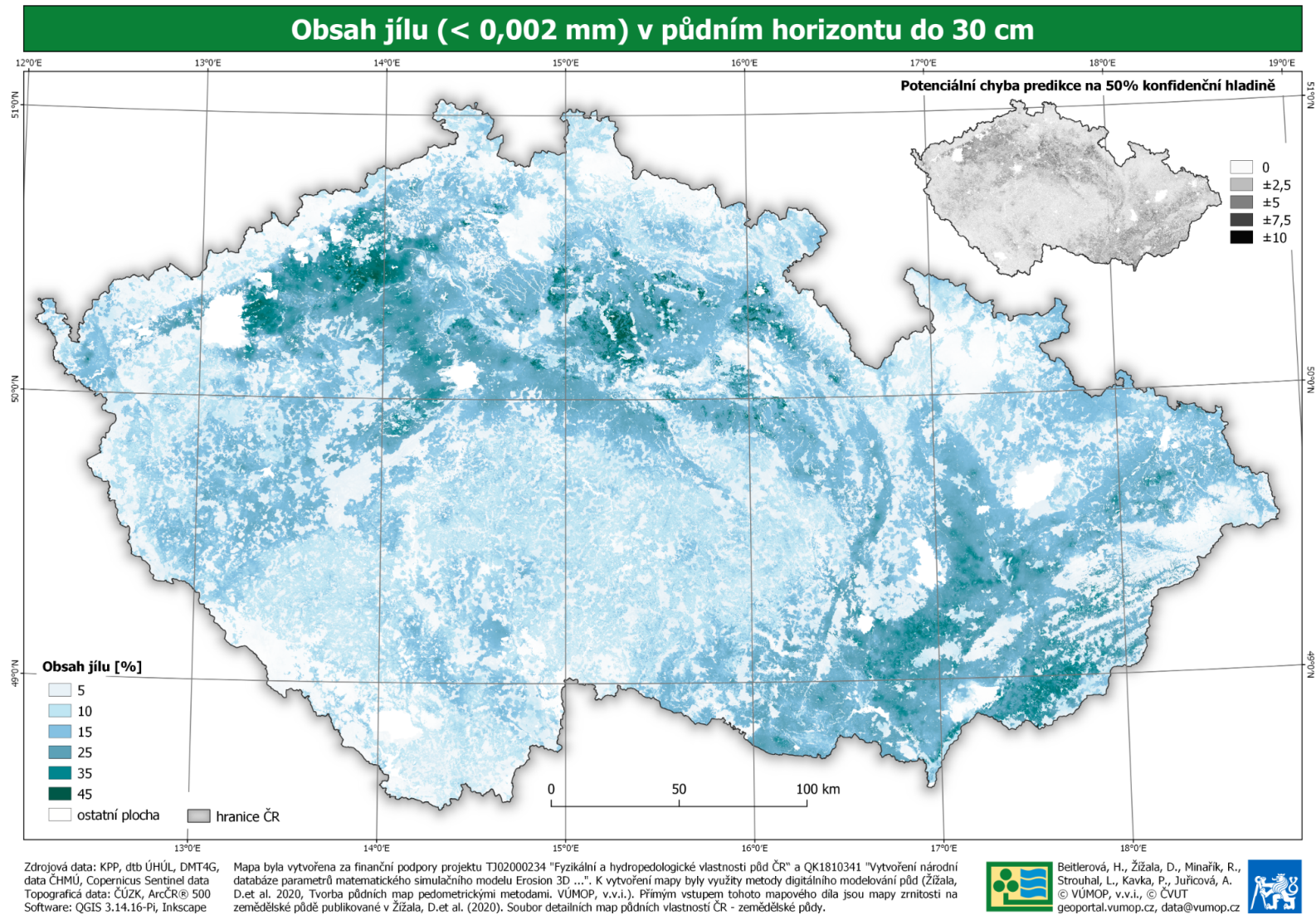


**Obr. 3:** Validace modelu QRF pro jednotlivé frakce na zemědělské a lesní půdě na testovacím souboru (20% celkového množství sond). V grafech jsou porovnány měřené hodnoty zrnitostní frakce s hodnotami predikovanými. Pozn.: jíl na lesní půdě je zobrazen na ose 0 – 40%, ostatní 0 – 100%.

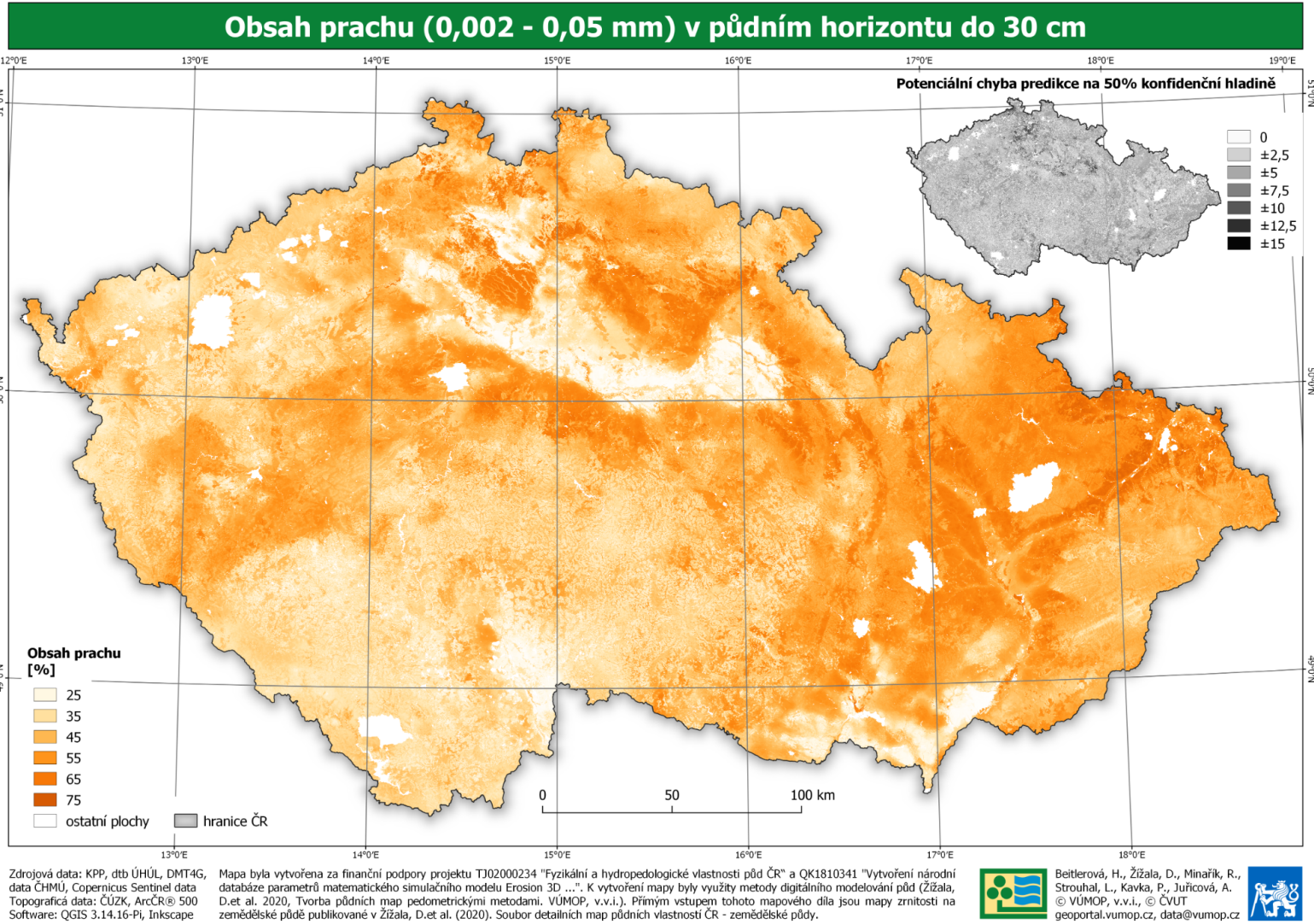




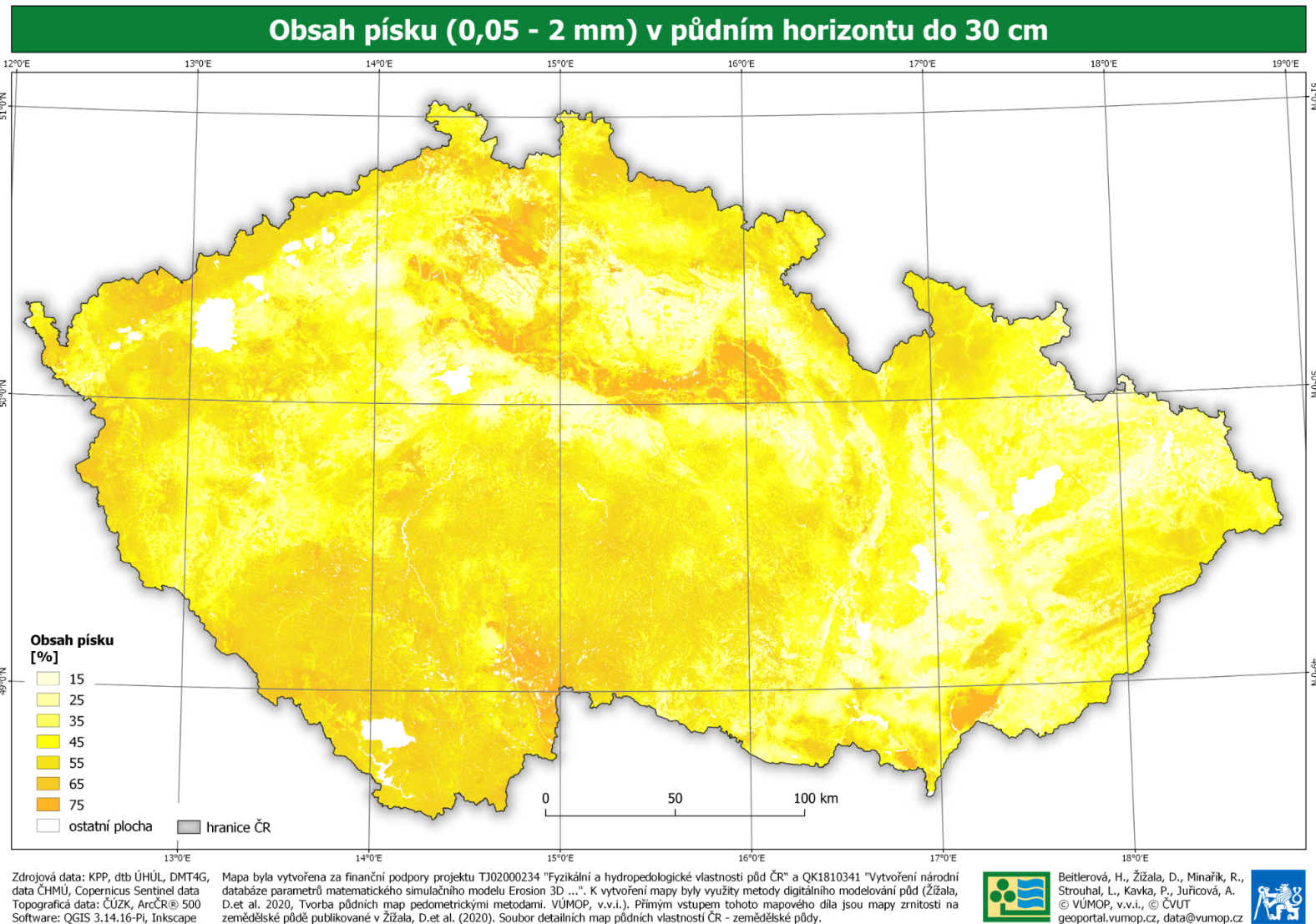
**Obr. 4:** Validace mapy zrnitostních kategorií. Každý trojúhelník zobrazuje jednu zrnitostní kategorii v mapě, červené body zobrazují měřené zrnitostní složení validačních sond vyskytujících se v lokalitách s danou modelovanou kategorií. Z trojúhelníků je patrné, že většina lokalit je zařazena do správné kategorie, případně kategorie sousední.



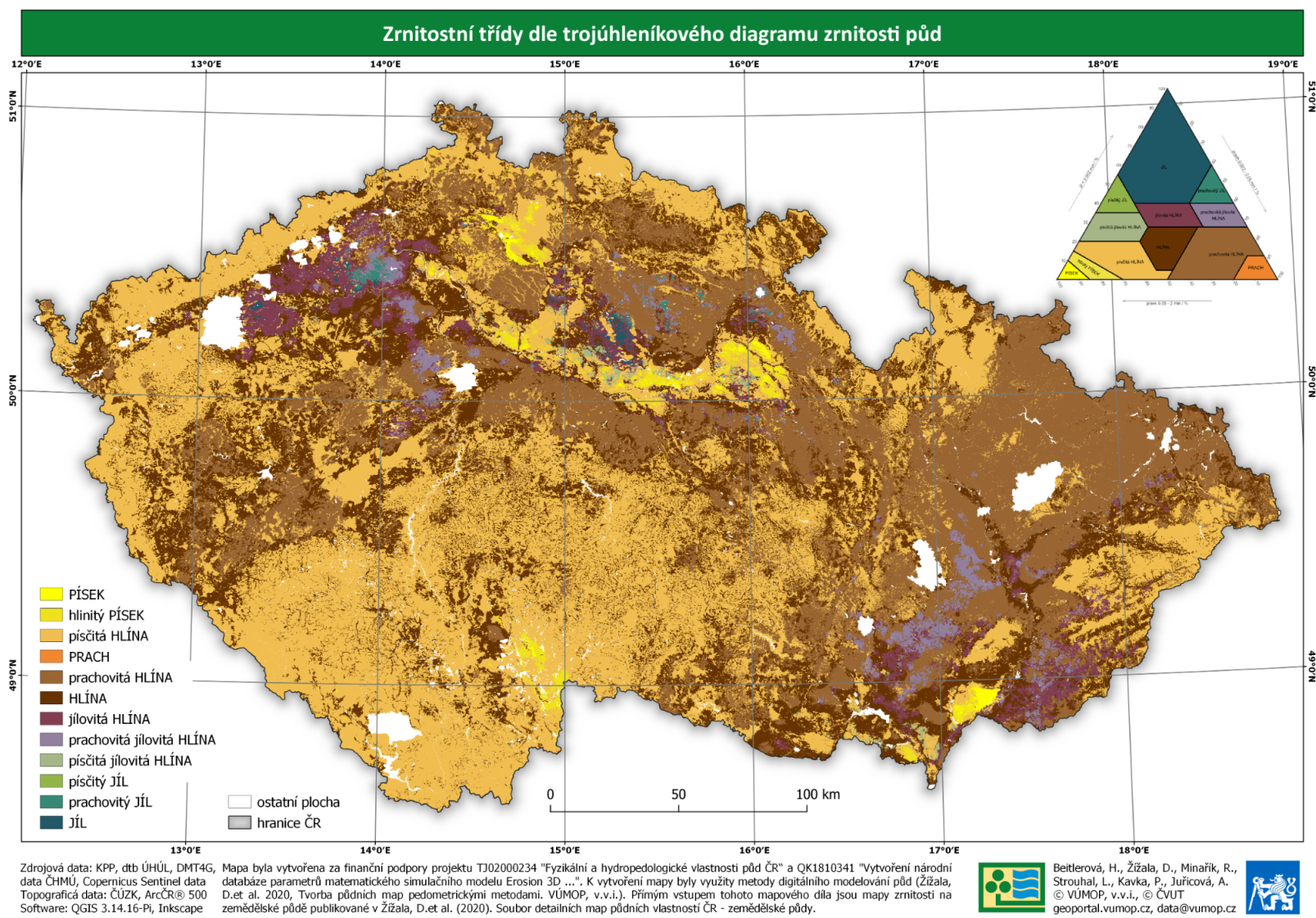
Obr. 5: Mapa zastoupení jílu pro půdy ČR



Obr. 6: Mapa zastoupení prachu pro půdy ČR



Obr. 7: Mapa zastoupení písku pro půdy ČR



Obr. 8: Mapa zrnitostních kategorií dle zrnitostního trojúhelníku USDA

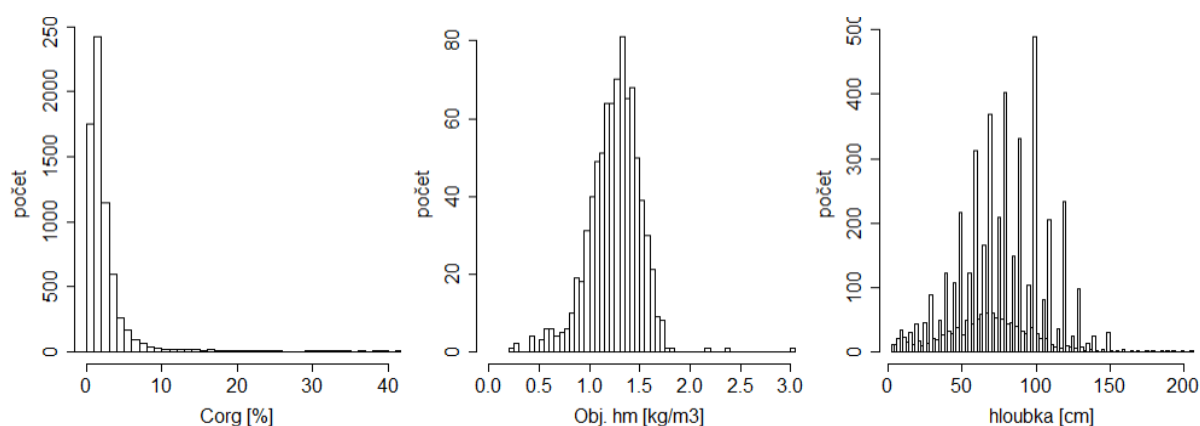
#### 4.3.4 Výsledky mapování dalších půdních vlastností

V rámci projektu byly mapovány i další půdní vlastnosti na lesní půdě – objemová hmotnost, obsah organického materiálu a hloubka půdy. U objemové hmotnosti a hloubky bylo dosaženo podstatně nižší přesnosti než u zrnitosti a mapy nejsou vhodné k praktickému využití. Obsah organického uhlíku vykazuje podobnou přesnost, jako zrnitostní frakce prach a písek a může být použit pro odvození návazných hydraulických vlastností. Pro ucelení přikládáme stručnou informaci o vstupních datech, které se od map zrnitosti liší a výsledky mapování. Metodika zpracování je totožná jako u map zrnitosti.

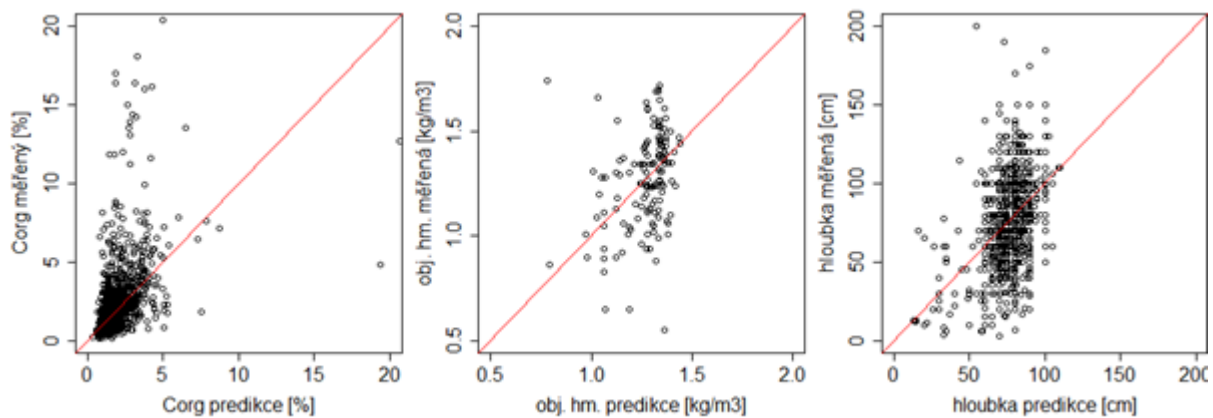
Přesnost predikovaných map je uvedena v Tab. 5, graficky schopnost predikovat jednotlivé půdní parametry ukazuje Obr. 10, kde jsou pro každou půdní vlastnost na lesní půdě porovnány měřené a predikované hodnoty v testovacím souboru. Nejspolehlivější je predikce organického uhlíku. Zde ovšem představují problém půdy s vysokým obsahem uhlíku, zejména rašelinné půdy, které jsou v trénovacím souboru poměrně málo zastoupeny a dosahují extrémně vysokých hodnot. Model půdy s vysokým obsahem uhlíku výrazně podhodnocuje. Mapu je vhodné kombinovat s mapou půdních typů a na rašelinných půdách ji nevyužívat. U objemové hmotnosti a hloubky půdy nebyl model schopen zjistit vztahy mezi mapovaným parametrem a environmentálními prediktory. Mapy jsou zobrazeny na Obr. 11, Obr. 12 a Obr. 13.

Tab. 5: Přesnost predikce zrnitostních frakcí jílu a prachu na lesní a zemědělské půdě

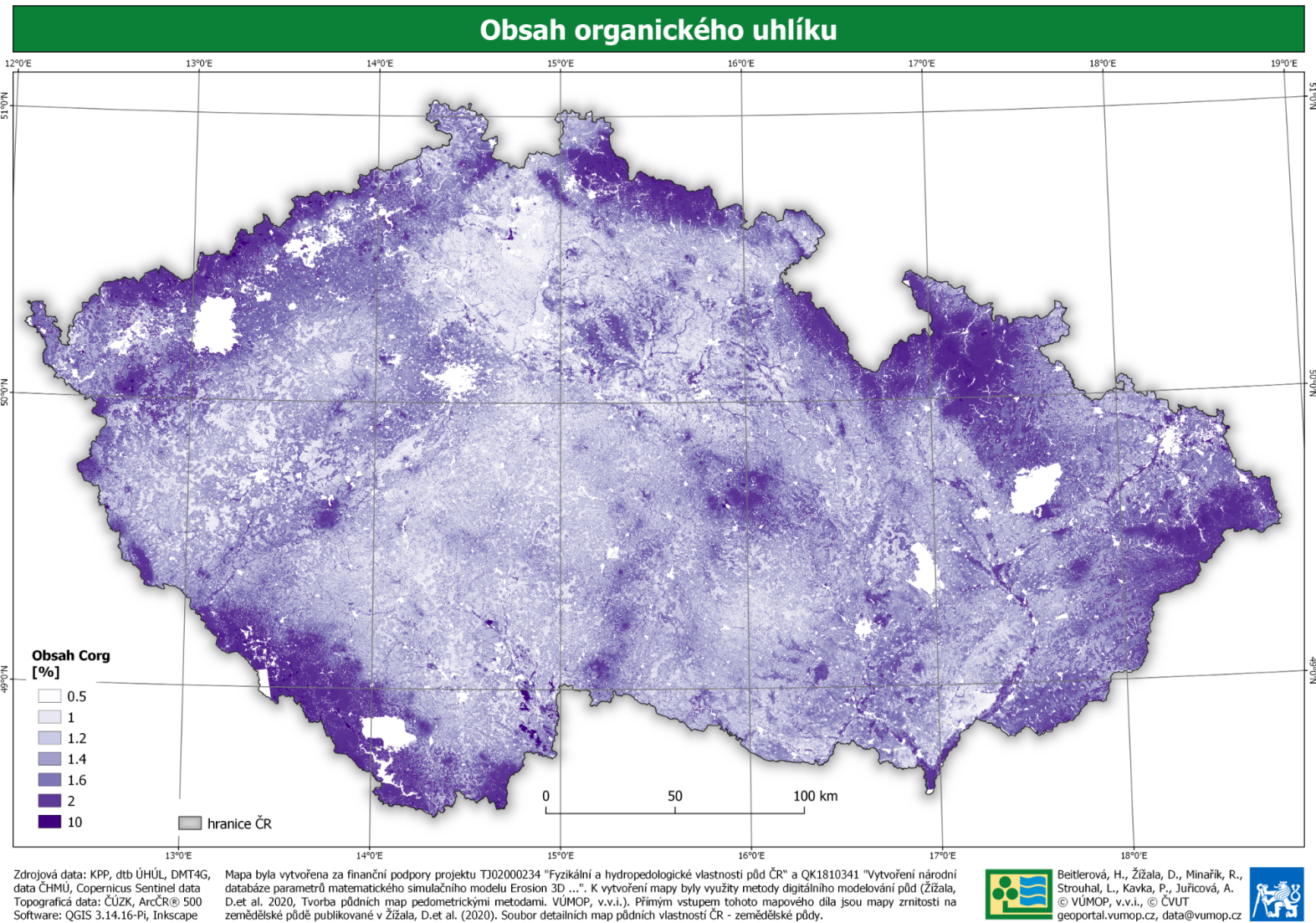
metriky	Corg [%]	Obj. hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Hloubka [cm]
RMSE	3,24	0,255	26,11
R2	0,50	0,06	0,18
CCC	0,67	0,18	0,31



Obr. 9: rozložení měřených hodnot půdních parametrů lesní půdy. Vlevo organický uhlík, uprostřed objemová hmotnost, vpravo hloubka půdy.

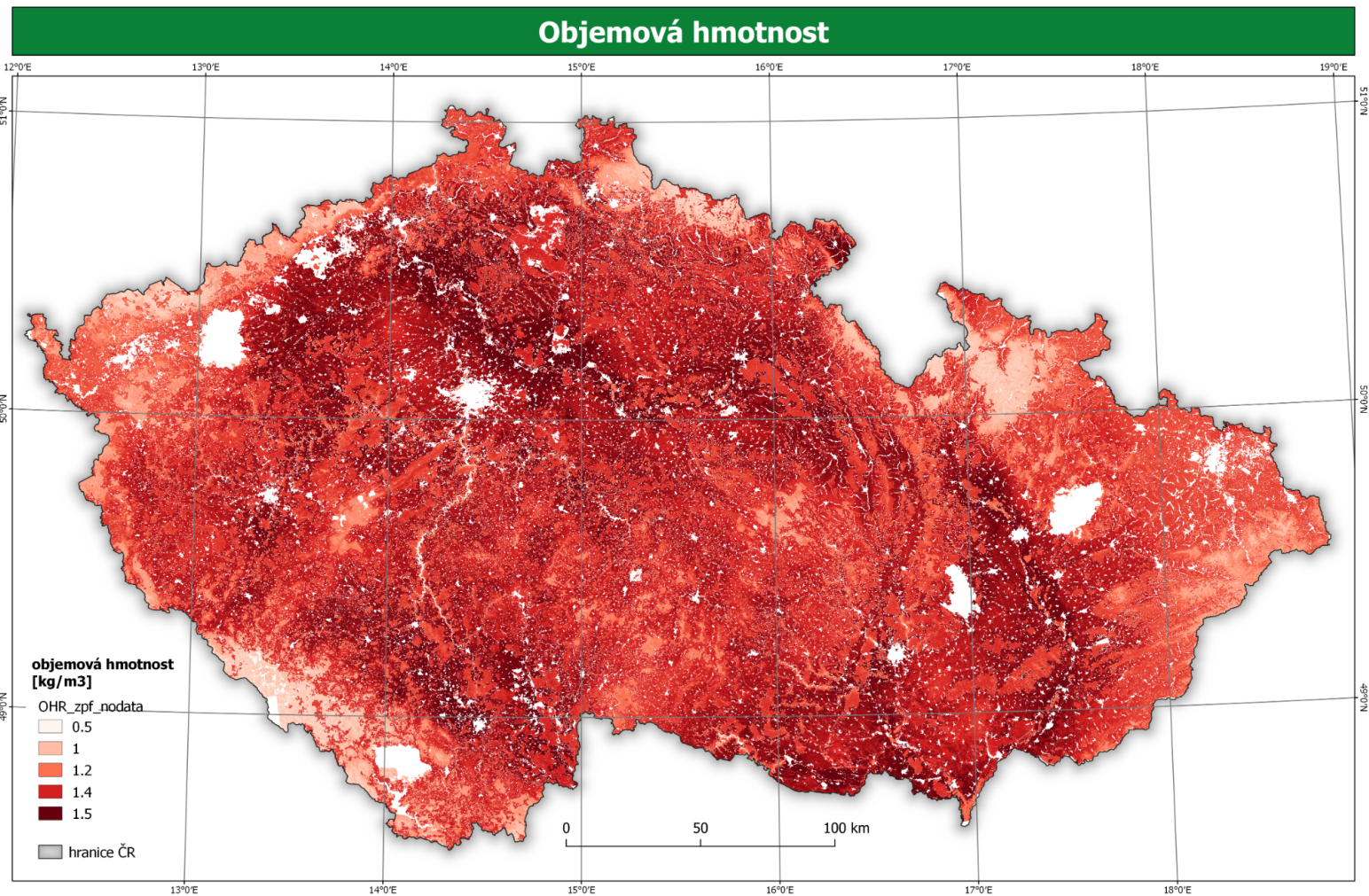


Obr. 10: Validace modelu QRF pro půdní parametry na lesní půdě na testovacím souboru (20% celkového množství sond). Vlevo obsah organického uhlíku, uprostřed objemová hmotnost, vpravo hloubka půdy. V grafech jsou porovnány měřené hodnoty a predikované hodnoty parametru.



Obr. 11: Mapa obsahu půdního organického uhlíku ČR





Zdrojová data: KPP, dtb ÚHÚL, DMT4G, data ČHMÚ, Copernicus Sentinel data  
 Topografická data: ČÚZK, ArcCR® 500  
 Software: QGIS 3.14.16-Pi, Inkscape

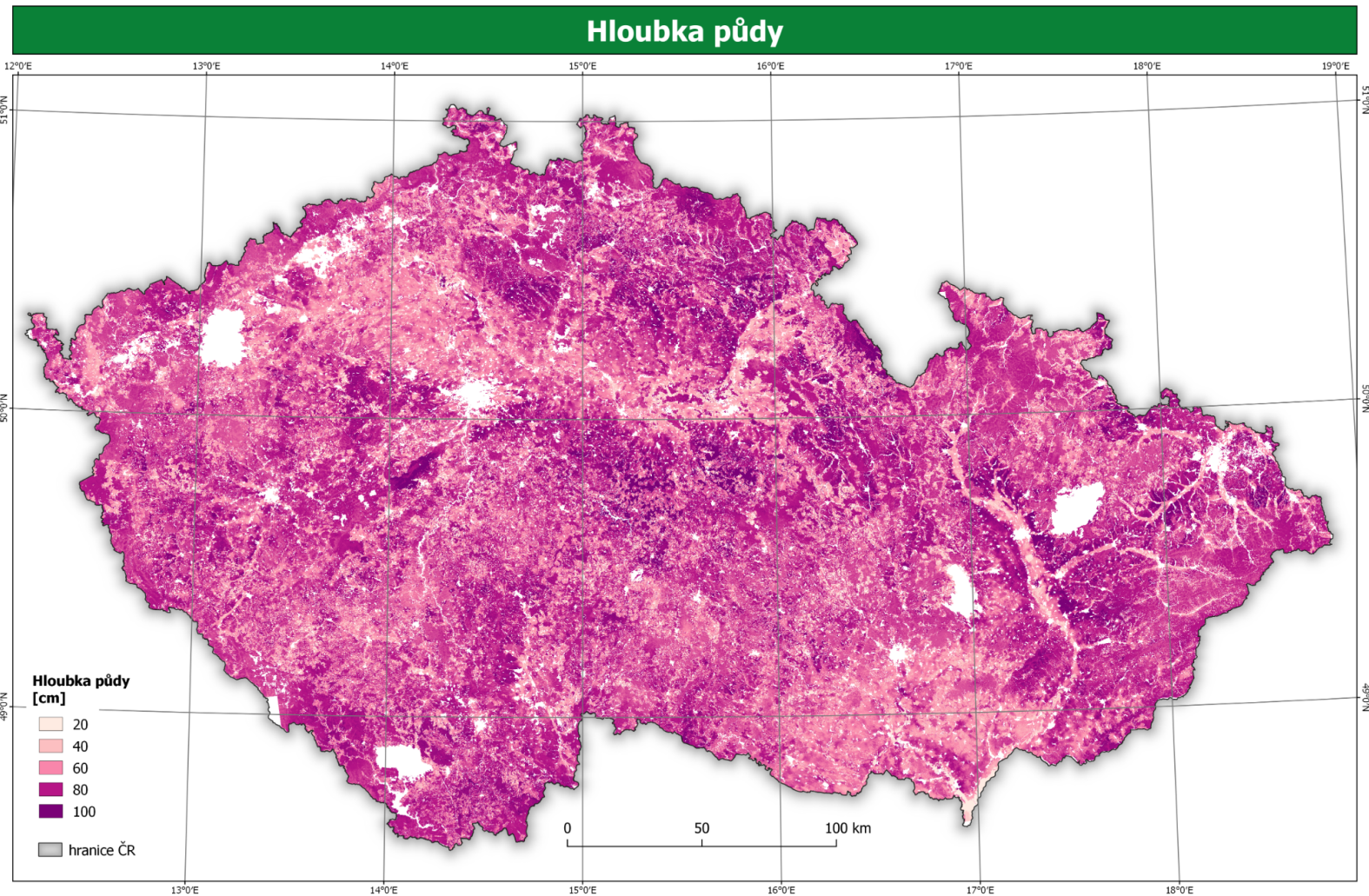
Mapa byla vytvořena za finanční podpory projektu TJ02000234 "Fyzikální a hydro-pedologické vlastnosti půd ČR" a QK1810341 "Vytvoření národní databáze parametrů matematického simulačního modelu Erosion 3D ...". K vytvoření mapy byly využity metody digitálního modelování půd (Žižala, D. et al. 2020, Tvorba půdních map pedometrickými metodami. VÚMOP, v.v.i.). Přímým vstupem tohoto mapového díla jsou mapy zrnitosti na zemědělské půdě publikované v Žižala, D. et al. (2020). Soubor detailních map půdních vlastností ČR - zemědělské půdy.



Beitlerová, H., Žižala, D., Minařík, R., Strouhal, L., Kavka, P., Juřicová, A.  
 © VÚMOP, v.v.i., © ČVUT  
 geoportal.vumop.cz, data@vumop.cz



Obr. 12: Mapa objemové hmotnosti půdy ČR



Zdrojová data: KPP, dtb ÚHÚL, DMT4G, data ČHMÚ, Copernicus Sentinel data  
 Topografická data: ČÚZK, ArcCR® 500  
 Software: QGIS 3.14.16-Pi, Inkscape

Mapa byla vytvořena za finanční podpory projektu TJ02000234 "Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR" a QK1810341 "Vytvoření národní databáze parametrů matematického simulačního modelu Erosion 3D ...". K vytvoření mapy byly využity metody digitálního modelování půd (Žižala, D. et al. 2020, Tvorba půdních map pedometrickými metodami. VÚMOP, v.v.i.). Přímým vstupem tohoto mapového díla jsou mapy zrnitosti na zemědělské půdě publikované v Žižala, D. et al. (2020). Soubor detailních map půdních vlastností ČR - zemědělské půdy.



Beitlerová, H., Žižala, D., Minařík, R.,  
 Strouhal, L., Kavka, P., Juřicová, A.  
 © VÚMOP, v.v.i., © CVUT  
[geoportal.vumop.cz](http://geoportal.vumop.cz), [data@vumop.cz](mailto:data@vumop.cz)



Obr. 13: Mapa hloubky půdy ČR

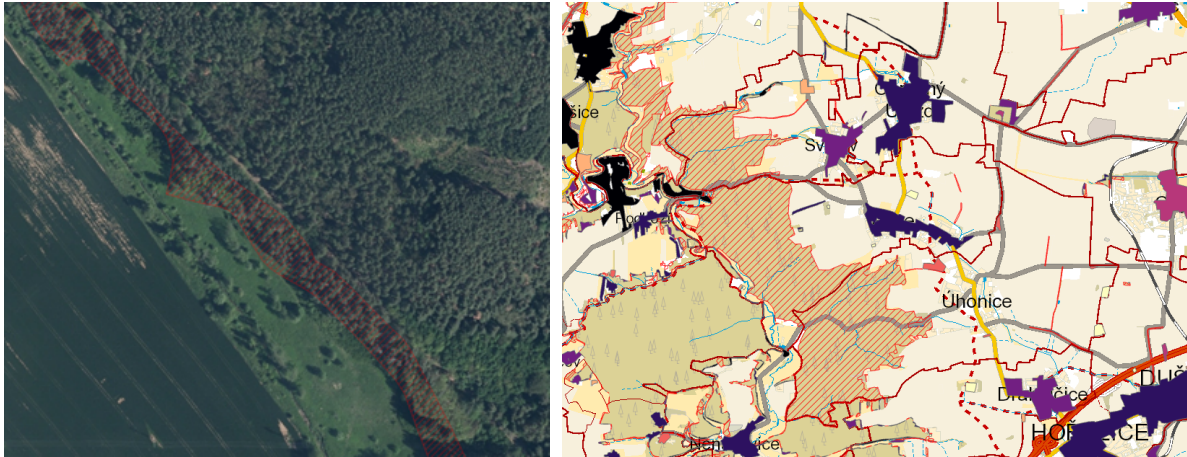
#### 4.3.5 Metodika tvorby spojitých datových vrstev a třídy věrohodnosti

Mapy zrnitosti na lesní a zemědělské půdě vznikly stejnou metodikou, ale v oddělených projektech mimo jiné z důvodu odlišné datové základny. Pro praktické využití výsledných map je zásadní jejich poskytování ve formě bezešvé datové vrstvy s minimálním množstvím oblastí bez hodnot (No data values). K vytvoření bezešvé mapy však nestačí prosté spojení obou zdrojových datových vrstev na zemědělském půdním fondu (ZPF) a lesní půdě (LP), neboť se částečně překrývají a v součtu zdaleka nepokrývají beze zbytku celou plochu ČR. Tvorba bezešvé mapy tak vyžaduje řadu dodatečných operací, které na základě předem stanoveného rozhodovacího řetězce buď zapisují v každém bodě rastru hodnotu z jedné či druhé datové sady nebo jejich kombinace (v případě výskytu jedné nebo obou vrstev), nebo vytváří nové hodnoty interpolačními metodami (v případě nepokrytých míst), nebo ponechávají prázdné hodnoty v místech, kde predikce nedává význam (např. velké vodní plochy).

Kromě mapy samotných hodnot zrnitosti (podílu jednotlivých frakcí a zrnitostní třídy) byla vytvořena i mapa tříd věrohodnosti (confidence class), která v pětistupňové škále vyjadřuje kvalitativně míru spolehlivosti hodnoty v daném bodě např. na základě metody odvození hodnoty. Rozhodovací řetězec a použité hodnoty věrohodnosti jsou popsány níže.

##### **A) Překryvy zemědělské a lesní půdy**

Digitální mapování půd na zemědělské půdě bylo provedeno na prostorových jednotkách vymezených původními mapami Komplexního průzkumu půd. Jejich rozsah tedy plně reflektuje rozsah zemědělského půdního fondu (ZPF) v šedesátých letech 20. století. Oproti tomu k mapování lesních půd byly použity polygony Lesních typů dle databáze ÚHÚL, které jsou neustále aktualizované, neboť se jedná o živé, stále využívané mapové dílo. Jeho nevýhodou je menší polohová přesnost oproti lesním porostům vymezeným v ZABAGED. Překryvy obou podkladových vektorových vrstev tak mohou být důsledkem několika jevů, jedním je prostorová nepřesnost jedné či druhé vrstvy, druhým je skutečný úbytek ZPF na úkor rozšiřování lesa. Prostorově významných překryvů (nad 100 m<sup>2</sup>) obou vektorových vrstev bylo identifikováno v úhrnu více než 2 000 km<sup>2</sup>. Často se jedná o drobné plošné i liniové plochy typu remízků a pásů na rozhraní lesní a orné půdy, jako např. na Obr. 14 vlevo, a jsou důsledkem samovolného rozšiřování lesa na úkor původně zemědělsky využívané půdy. Mezi překryvy se však nachází i plošně rozsáhlé plochy, jako jsou zejména podhorské části hraničních hor (Krkonoše / Šumava), ale i větší celky ve vnitrozemí, které byly ponechány nebo cíleně zalesněny až v pozdější době po komplexním průzkumu zemědělských půd, jako např. část přírodního parku Povodí Kačáku založeného v roce 1988 (Obr. 14 vpravo).



Obr. 14: Červenou šrafovou vyznačený překryv plošného vymezení zemědělské půdy z 60. let a současné lesní půdy s vymezeným Lesním typem. Vlevo úzký pás způsobený zřejmě samovolnou sukcesí nebo nepřesným mapovým podkladem, vpravo relativně nový Přírodní park Povodí Kačáku založený v roce 1988.

Při tvorbě spojitě mapy byly v místech překryvů jednotně využity hodnoty z mapování lesních půd. Vzhledem k tomu, že obě datové sady vznikly metodou digitálního mapování a jen v naprostých výjimkách se v těchto místech nacházela sonda se skutečně analyzovanými hodnotami, nelze jednoznačně určit, která z hodnot je správnější. Přednost hodnotám z mapování lesních půd byla dána kvůli o něco aktuálnější datové základně a kvůli konzistenci s aktuálními mapami půdního pokryvu vzhledem k rozdílnému statistickému rozdělení hodnot v lese a na ZPF, v jehož důsledku jsou zejména na mapě obsahu jílů patrné ostré předěly mezi zemědělskou a lesní půdou. Nutno poznamenat, že samotná změna půdního pokryvu neobhájí preferenci hodnot podle „novějšího“ typu půdního pokryvu, neboť zrnitostní složení lze předpokládat relativně nezávislé na způsobu využívání (obráceně to však neplatí). Tato preference tak byla dána pouze nutnou volbou na základě výše popsaných důvodů.

## B) Nezmapovaná a přetvořená území

Kromě překryvů vrstev půd ze ZPF a lesní půdy bylo nutné ošetřit plochy, kde digitální mapování půd nebylo provedeno. Nepokryté území po vyčlenění plochy velkých měst, velkých vodních nádrží a bažin či močálů (dle datasetu ArcČR) a zanedbání nevýznamných polygonů (do 100 m<sup>2</sup>) zůstalo k ošetření více než 7 000 km<sup>2</sup> území, což je přibližně 10 % rozlohy ČR. Kromě drobných plošných i liniových prvků typu malé vodní nádrže, vodního toku nebo území menších obcí se v nezmapovaných územích nachází i značně rozlehlé plochy, kde bylo nutné rozhodnout, zda a jakým způsobem má být informace o půdních charakteristikách doplněna. V následujícím textu je uveden postup a rozhodovací pravidla pro vynechání / doplnění hodnot v místech mimo oblast pokrytou digitálním mapováním.

### Ba) Rozlehlá nezmapovaná území

Nejrozsáhlejší nezmapované oblasti tvoří současné vojenské újezdy. Zde nebyly k dispozici půdní sondy ani klíčové prediktory (polygony lesních typů), proto bylo od predikce hodnot

zrnitostí v těchto územích upuštěno. V mapách zrnitostních frakcí i v mapě věrohodnosti zde není poskytována žádná hodnota.

Prázdné hodnoty byly dále vynuceny na území všech vodních ploch nad 2 ha podle ZABAGED (verze z roku 2015). U vodních ploch obecně nelze uvažovat stejnou zrnitost půdy jako v jejich blízkém okolí vzhledem k transportu a usazování sedimentu. Hranice 2 ha pro doplňování / vynechání hodnot byla určena s ohledem na uvažované rozlišení rastrového výstupu a praktické aspekty práce při environmentálním modelování.

#### *Bb) Přetvořená území*

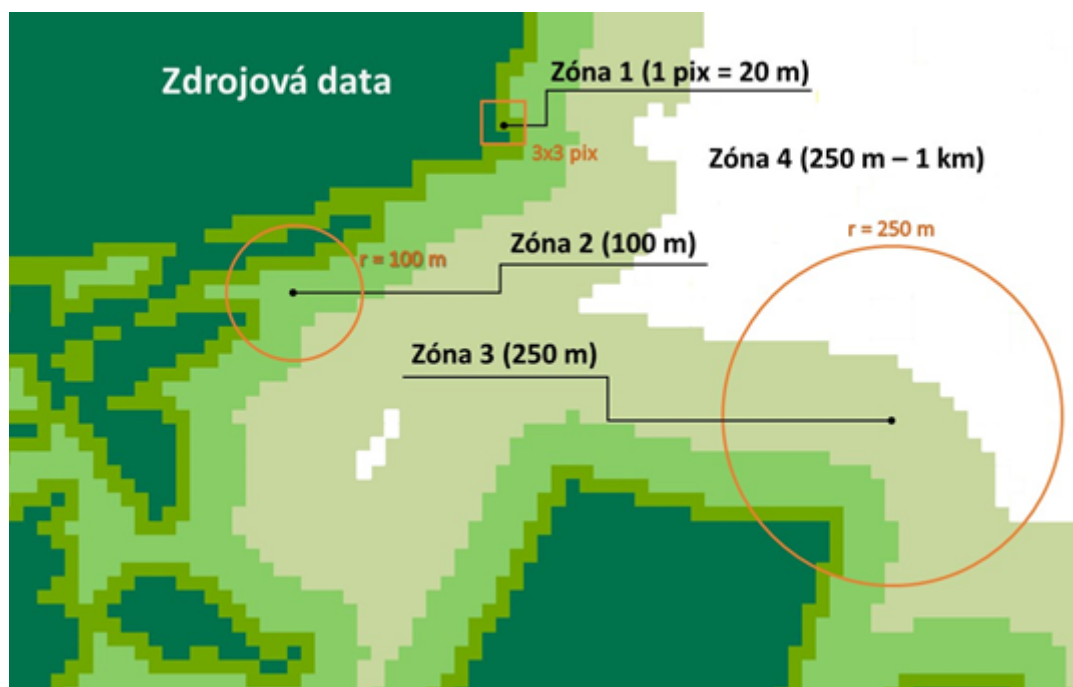
V metodice tvorby spojitě mapy je v dalším textu pracováno s extrapolací hodnot do maximální vzdálenosti 1 km. I při použití takto velké vzdálenosti stále zůstalo 6 oblastí velkých městských aglomerací, kde zůstalo významné území nepokryté. Jedná se o Prahu, Brno, Ostravu, Olomouc, Plzeň a Ústí nad Labem. Protože se jedná o území s výrazným ovlivněním půdního povrchu lidskou činností, bylo zde rozhodnuto stejně jako u velkých vodních ploch hodnoty zrnitosti vůbec neposkytovat, přestože v okrajových částech data místy existovala (zejména z mapování původně zemědělských ploch, které byly později urbanizovány). Polygon určující území bez dat byl vymezen následujícím způsobem:

V rámci projektu VG20122015092 byla na pracovišti řešitele ČVUT vytvořena z polohopisu ZABAGED vrstva polygonů Intravilánu dle komplexní metodiky, kterou popisuje Dostál et al. (2014). Polygony zmíněných 6 aglomerací byly zmenšeny záporným bufferem o 100 m, samostatné okrajové části byly odstraněny a vnitřní obvod byl poloautomaticky zjednodušen. Nejkomplexnějším problémem jsou přetvořená území v oblasti povrchových dolů a výsypek. Jedná se o prostorově stále se proměňující území a v měřítku celé ČR neexistuje datový podklad vymezující polohu všech historických výsypek, ani charakteristiky použitých materiálů. U malých dolů objektů lze předpokládat využití místních materiálů, u větších dolů se však jedná o extrémně přetvořená území s neznámými půdními charakteristikami, které není možné bez projektové dokumentace půdních děl odhadnout. Proto bylo podobně jako u velkých městských aglomerací rozhodnuto zde data o zrnitosti půd vůbec neposkytovat. Jako polohopisný podklad byla vytvořena polygonová vrstva spojující plochy ze ZABAGED 2015 z kategorie *Povrchová těžba, lom a Halda odval* s výslednou plochou nad 0,25 km<sup>2</sup>. Celkem 109 polygonů bylo ručně doeditováno nad ortofotosnímkiem.

#### *Bc) Drobná nezmapovaná území*

Zbylé plochy po vyjmutí výše vyjmenovaných případů byly doplňovány extrapolovanými hodnotami ve čtyřech zónách dle vzdálenosti, jak znázorňuje Obr. 15. Nejmenší zóna o rozměru 1 pixelu (20 m) byla doplňována průměrnou hodnotou v rámci prostorového filtru 3x3 pixely. Tento filtr byl užitečný k zahlazení drobných liniových nespojitostí typu silnice nebo drobného vodního toku. Třída věrohodnosti dat v této první zóně byla uvažována rovná originálním datům (confidence = 1). Druhá zóna pokrývala oblast od okraje první zóny do vzdálenosti 100 m od okraje originálních hodnot z digitálního mapování a zapisovány sem byly průměrné hodnoty z kruhového filtru o poloměru 100 m. Analogicky třetí zóna pokrývala oblast 100 až 250 m od okraje zmapovaných ploch, přičemž do průměrování byly kvůli spojitosti zahrnuty i hodnoty z nižších zón. Výsledné vrstvy extrapolovaných hodnot ve třech zónách byly vytvořeny samostatně pro rastrové výstupy z mapování na ZPF a na lesní půdě,

celkem tedy 6 rastrů. V rámci nejvzdálenější zóny 250 m až 1 km byly zapisovány průměrné hodnoty z kilometrového filtru ovšem již ze *spojených* vrstev zrnitostí půd na ZPF a lesní půdě. Těmto hodnotám byla v následujícím rozhodovacím algoritmu vždy přiřazena nejnižší třída věrohodnosti (confidence = 5).



Obr. 15: Zóny dle vzdálenosti pro extrapolaci a příslušné filtry pro průměrování hodnot. Pro zónu 4 není zobrazen dosah prostorového filtru o průměru 1 km.

Jako podklad pro rozhodovací algoritmus pro zapisování hodnot zrnitostí byly kromě zonace dle vzdálenosti od původních vrstev použity vybrané třídy evropské databáze Corine Land Cover 2018 (CLC) s hrubým rozlišením 100 m a vybrané vrstvy s vysokým rozlišením (High resolution layers) z roku 2018. Jejich seznam se specifikací tříd nebo rozsahu hodnot a zkratky používané v následujícím textu uvádí Tabulka. 6.

Tab. 6: datové vrstvy projektu Copernicus použité pro rozhodovací proces přiřazení hodnot zrnitostí a třídy věrohodnosti

Copernicus produkt	Třídy / rozsah hodnot	Zkratka
Corine Land Cover 2018	Broad-leaved forest, Coniferous forest, Mixed forest, Moors and heathland, Transitional wodland-shrub	COR_WOODS
	Non-irrigated arable land, Vineyards, Fruit trees and berry plantations, Pastures, Complex cultivation patterns, Land principally occupied by agriculture	COR_AGRO
	Inland Marshes, Peat bogs, Water courses, Water bodies	COR_WATER
Forests – Tree Cover Density	0 – 100 %	FOREST
Grassland – Status map	0 / 1	GRASS

Water & Wetness	Permanent + Temporary water	WATER
Imperviousness	0 – 100 %	IMP

V prvním kroku extrapolace byly zapisovány hodnoty v pixelech, kde detailní vrstva FOREST indikovala hustotu stromového porostu nad 10 %. Zde se algoritmus postupně dotazoval na existenci hodnot ze všech tří výše popsaných zón, přičemž v rámci jedné zóny dával přednost vždy lesním datům. Teprve když se ve vzdálenosti do 250 nenacházela žádná hodnota na ZPF ani lesní půdě, byla zapsána hodnota ze čtvrté zóny, tedy ze spojeného 1 km filtru. Současně byla do rastru věrohodnosti zapsána třída 1-5 podle použité zóny a podle skutečnosti, zda zapsaná hodnota pocházela z mapování lesní půdy nebo ZPF; v druhém případě byla třída věrohodnosti penalizována kvůli nesouladu s půdním pokryvem dle vrstvy FOREST.

Pokud v posuzovaném pixelu nebyla splněna předchozí kritéria pro výskyt stromových porostů, byly v druhém kroku zapisovány extrapolované hodnoty, pokud detailní vrstva GRASS indikovala výskyt trvalého travního porostu (hodnotu 1). Postup dotazování na zóny a zapisování hodnot byl stejný jako v prvním kroku, pouze s opačnou preferencí hodnot ze ZPF před hodnotami z lesní půdy.

Pokud ani v druhém kroku nebyla přiřazena hodnota, dotazoval se algoritmus na přítomnost vrstev COR\_WOOD a poté COR\_AGRO. Při pozitivním prvním testu bylo území považováno za les a proběhla stejná rutina identifikace dat dle jednotlivých zón jako v prvním kroku u vrstvy FOREST. V opačném případě a při pozitivním testu na vrstvu COR\_AGRO bylo území považováno za zemědělskou půdu a proběhla stejná rutina jako ve druhém kroku u vrstvy GRASS.

V posledním kroku již nebyl zjišťován půdní pokryv dle žádné podkladové vrstvy a byla zapsána extrapolovaná hodnota z nejbližší nalezené zóny s preferencí lesních dat – obdobně jako v prvním kroku, pouze u tříd věrohodnosti nebyla data ze ZPF penalizována. Penalizace věrohodnosti zde byla provedena ve všech případech právě kvůli nejistotě ohledně skutečného půdního pokryvu.

Pomocí výše popsaného algoritmu byly zapsány extrapolované hodnoty zrnitostí do všech nepokrytých míst kromě vyjmenovaných a záměrně vynechaných území. Současně byly zapsány předběžné třídy věrohodnosti dat podle vzdálenosti místa extrapolace od zdrojových dat a podle půdního pokryvu. Tyto třídy byly dále penalizovány v případě, že v daném pixelu byl identifikován půdní pokryv některého z následujících typů:

- Vodní plocha 0,5 – 2 ha dle ZABAGED. Třída věrohodnosti zvýšena na nejhorší hodnotu 5.
- Intravilán dle výše popsané polygonové vrstvy z řešitelského archivu. Pokud zároveň  $IMP > 30(15) \%$ , pak třída věrohodnosti zhoršena o 3 (resp. 2), v opačném případě o 1 stupeň, maximálně však na hodnotu 5.
- Vodní plocha dle vrstvy WATER. Třída zhoršena o 2, nejvýše na hodnotu 5.
- Vodní plocha dle vrstvy COR\_WATER. Třída zhoršena o 1, nejvýše na hodnotu 5.

#### 4.3.6 Mapa hydrologických skupin půd (HSP)

Podle metodiky USDA NRSC (2009) je hydrologická skupina půdy definována zejména na základě hydraulické vodivosti (a dále hloubky k hladině podzemní vody), což je ovšem velmi špatně dostupná a značně proměnlivá fyzikální charakteristika. Ve světě tak je v praxi nejčastěji HSP stanovována na základě zrnitosti půdy, s níž je hydraulická vodivost nejtěsněji svázána. Za příklad lze jmenovat HYSOGs250m - globální dataset HSP pro použití v metodě odtokových křivek (SCS-CN). Při jeho zpracování byla v souladu s původní metodikou určena HSP na základě USDA klasifikace zrnitosti pro každou z dostupných hloubek v rámci půdního profilu a výsledná HSP v každém pixelu pak stanovena jako nejméně příznivá (nejméně propustná) z nich. Stejný postup byl aplikován v tomto projektu. V rámci digitálního mapování zrnitostí na lesní půdě byly v tomto projektu odvozeny třídy zrnitosti ve třech hloubkách. Na zemědělské půdě byly k dispozici zrnitostní třídy pro dva hloubkové horizonty. HSP byly na základě zrnitostní třídy přiřazeny podle Tabulky 7.

Tab.7: Přiřazení HSP na základě třídy zrnitosti (USDA)

HSP	Zrnitostní třída USDA
A	písek
B	písčítá hlína, hlinitý písek
C	jílovitá hlína, prachovitá jílovitá hlína, písčítá jílovitá hlína, hlína, prachovitá hlína, prach
D	jíl, prachovitý jíl, písčítý jíl

#### 4.3.7 Publikace datových vrstev

Odborné veřejnosti budou nabízeny z datových vrstev odvozených v projektu spojitě mapy zrnitostí podle klasifikace USDA (jak obsahy jednotlivých frakcí, tak výsledné třídy zrnitosti) a mapa HSP. Nejsnadnější přístup k datům je pomocí webových služeb, připraveny byly náhledová služba (WMS) a služba poskytování dat (WPS). Více informací o dostupnosti služeb je uvedeno na <https://rain.fsv.cvut.cz/pudy/>. Tematická mapová aplikace k nahlížení map je umístěna na mapovém serveru <https://geoportal.vumop.cz/>, kde jsou rovněž uvedeny základní informace o použitých datech a metodách odvození.

##### **WMS služba**

Slouží k prohlížení publikovaných mapových vrstev. Uživatelé mapových aplikací umožňujících připojení k WMS službě (QGIS, ArcGIS, aj.) mohou mapy půdních vlastností zobrazit a zakomponovat do vlastních mapových výstupů. Služba neumožňuje dotazování na hodnoty či připojené atributy.

##### **WPS služba**

Pro stažení omezeného výřezu dat k nekomerčním účelům lze využít webovou processingovou službu. Uživatel QGIS s nainstalovaným WPS pluginem může s využitím polygonu vlastního zájmového území získat výřez originálních rastrových dat a využít je pro



vlastní analýzy. Potřebný postup je názorně popsán v příslušné sekci na serveru [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz).

#### 4.4 AKTIVITA 1-2 Tvorba a certifikace mapy vybraných hydroopedologických charakteristik

Po dokončení aktivity 1-1 bylo navázáno tvorbou výsledného kartografického díla - souboru map fyzikálních a hydroopedologických charakteristik půd. Součástí aktivity je certifikační proces mapového díla a jeho poskytnutí odborné veřejnosti pomocí webových služeb (částečný překryv s aktivitou 1-1).

V prostředí QGIS byl připraven vzor mapového listu, který je jednotný s již dříve vytvořenými mapami půdních charakteristik na zemědělské půdě. Dílo tak zapadá do celkového konceptu a designu produktů zprostředkovávajících veřejnosti pedologické mapové podklady. Mapový list sestává z hlavního mapového okna zobrazujícího mapu dané půdní charakteristiky, pokud je relevantní, tak vedlejšího mapového okna zobrazujícího spolehlivost mapy, názvu mapy, legendy k obou mapovým oknům a tiráže (Viz. Obr. 5-8).

Výsledek Namp byl v řádném změnovém režimu odsunut o 6 měsíců, samotný výsledek tedy není dokončen. Výsledné mapy a popis jejich odvození popisované v rámci aktivity 1-1 jsou konzultovány s externím aplikačním garantem SPÚ. Státní pozemkový úřad je zároveň certifikačním orgánem.

#### 4.5 AKTIVITA 6 Odborný článek

Souběžně s tvorbou mapových výstupů (aktivita 1-2) proběhla tvorba odborného článku zaměřeného na informování veřejnosti o výsledcích projektu a způsobu jejich získání a využití. Vzhledem k cílové skupině příjemců výsledků byl k publikaci vybrán časopis *Pozemkové úpravy*. Článek s názvem *Fyzikální a hydroopedologické vlastnosti půd nejen pro návrh společných zařízení v rámci PÚ* prošel recenzním řízením a byl přijat k publikaci v červnovém čísle (vychází na přelomu června / července).

Nezávisle na ostatních aktivitách spolupracovali řešitelé ČVUT na dalším odborném článku *Swinging-Pulse Sprinkling Head for Rain Simulators*, který byl publikován v zahraničním časopise MDPI v režimu Open Acces. Článek popisuje technické řešení malého dešťového simulátoru vyvinutého na pracovišti řešitele ČVUT za účelem studia půdních charakteristik a hydrologických a erozních procesů, který byl využit v rámci tohoto projektu pro rozšíření databáze experimentálních měření hydrologických vlastností půd (aktivita A7-2).

#### 4.6 AKTIVITA 8 Tvorba souhrnné zprávy projektu

Tato aktivita nevyžaduje popis metodiky dosažení.

## 5. Komentář k vynaloženým finančním prostředkům za celé období řešení projektu

V rámci řešeného projektu jako celku byly položky čerpány v souladu s návrhem projektu. Převody mezi jednotlivými roky vycházely částečně z úprav časového harmonogramu projektu a částečně také z důvodů COVID-19, která zasáhla dobu řešení projektu. Zejména se jedná o cestovní náklady spojené jak s řešením projektu, tak s publikací výsledků.

Z výše uvedených důvodů nebyly prostředky projektu zcela vyčerpány. Celkem nespotřebovaná podpora dosahuje 153 551.03 Kč (z toho 129.8 tis. Kč ČVUT a 23,7 tis. Kč SWECO Hydroprojekt). Intenzita podpory za celou dobu řešení projektu je 83.36%. Osobní náklady byly čerpány v souladu s návrhem projektu.

### **ČVUT**

Náklady spojené s řešením projektu byly rámcově čerpány v souladu s návrhem projektu. Mezi jednotlivými obdobími řešení projektu došlo meziročně k přesunu prostředků v souladu se smlouvou o řešení projektu.

Osobní náklady plánované na celou dobu řešení čerpány v souladu s návrhem. Meziročně došlo k přesunům jak z důvodů COVID-19, tak z důvodů úprav členů řešitelského kolektivu z důvodů mateřské dovolené. Umožnění odchodu na mateřskou a následně rodičovskou dovolenou se zachováním příležitosti návratu zpět je v souladu s myšlenkou TAČR ZÉTA.

Z hlediska ostatních přímých nákladů byly v rámci projektu pořízeny prostředky pro řešení (výpočetní technika, náklady na údržbu a provoz velkého dešťového simulátoru - z projektu hrazeno částečně, záznamové zařízení a sensorika pro měření s malým simulátorem). Plánované cestovní náklady nebyly dočerpány. Náhradou za omezenou možnost seznámit odbornou veřejnost s postupem prací na řešeném projektu byl z projektu částečně hrazen příspěvek uvedený v mezinárodní databázi WOS jako "Open Access". Významným nákladem v posledním roce řešení jsou pak služby spojené s tvorbou WPS služeb zpřístupňující výřezy půdních map odborné veřejnosti.

Režijní náklady za celou dobu řešení tvoří 19,99 % nákladů.

### **VÚMOP**

U organizace VÚMOP byly prostředky čerpány v souladu s podmínkami projektu, a to následujícím způsobem:

Osobní náklady byly využity na náklady na osoby řešitelského týmu v rozsahu jejich zapojení a jim odpovídající náklady na povinné zákonné odvody. Z ostatních prostředků byla část financí využita v souvislosti s celkovým hladkým zajištěním projektu - kurz manažerských dovedností (řešitelka, financováno částečně), notebook a sluchátka (financováno částečně), podpora od Esri (zajištění GIS software), zajištění běžných drobných služeb a potřeb (kancelářské potřeby, poštovné, zajištění kopírky a tiskárny,...), odpisy dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku, cestovné v souvislosti s projektovými schůzkami a účasti na měření dat v terénu. Dále byly pořízeny půdní rozborů využité ve výsledku V1 a V7 (financováno částečně), data od České geologické služby

(financováno částečně), služby od ÚHÚL na zpracování dat v souvislosti s výsledkem V1 a kurz programování DataCamp v souvislosti s výsledkem V1.

V roce 2019 a 2020 byla část financí převedena do FÚUP, v roce 2021 byly finance dočerpány.

### **SWECO**

V roce 2020 byly prostředky čerpány dle podmínek projektu. Celkové předpokládané náklady 650 000 Kč byly mírně překročeny do výše 665 638 Kč. Vyšší celkové náklady nemají vliv na poskytnutí veřejné podpory. Vyšší náklady spojené s řešením tohoto projektu společnost Sweco Hydroprojekt a.s. uhradí z výnosů svých podnikatelských aktivit.

## **7. Způsob zapojení jednotlivých členů konsorcia do řešení projektu a popis jejich spolupráce, komentář k řešitelskému týmu**

### **ČVUT**

Pracoviště ČVUT v Praze v roli hlavního příjemce mělo úlohu koordinátora projektu a řízení celého týmu. Z odborných aktivit bylo ČVUT v Praze částečně zapojeno do řešení aktivit spojených se všemi výsledky projektu.

Z hlediska ověření hydropedologických vlastností půd byly v gesci pracoviště prováděny polní experimenty s dešťovým simulátorem (DS). Historická data měření na DS a změřená v době projektu byla využita pro rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd. Zahájilo činnosti v aktivitě 7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ksat. Před zahájením aktivity 7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě vedlo jednávání s poskytovatelem dat o lesních půdách a korekci nalezených chyb. Obdobně pak před zahájením vlastního mapování v aktivitě 1-1 vyjednávalo o možnostech odvození půdních prediktorů na přesných polohách původně zneřádkovaných bodových datech. Záměr a hlavní metody projektu prezentovalo na online konferenci EGU Online 2020. Nakonec tým ČVUT měl hlavní roli v tvorbě výsledku V6 (Odborný článek) a při tvorbě nástrojů pro poskytování výsledných datových produktů prostřednictvím online služeb.

### **VÚMOP**

Těžiště prací týmu VÚMOP spočívalo ve výsledku V1 a jeho příslušných aktivitách. V rámci tvorby hydropedologické mapy půd ČR se spolupodílel na opatření potřebných dat, dodal, využil a rozšířil know-how a výsledky z předchozích projektů zabývajících se digitálním mapováním půd, provedl preprocesing dat potřebných k tvorbě map a samotnou tvorbu mapových vrstev metodami digitálního mapování půd za využití dostupných půdních databází, dat dálkového průzkumu země, digitálního modelu terénu, GIS technologií a programovacího jazyka R. Na závěr vytvořil samotné mapové dílo včetně metodiky. Na výsledku V6, odborném článku se spolupodílel tvorbou textů a předcházejících rešerší. Na výsledek V7 databáze hydropedologických charakteristik přispěl svojí databází experimentů s dešťovým simulátorem, na které odvodil požadované hydropedologické charakteristiky. Na výsledku V8 souhrnné výzkumné zprávě se podílel v rámci psaní textů z výše popsanych činností. Mentor přispěl k odbornému i manažerskému rozvoji mladého řešitelského týmu.

Řešitelka zajišťovala komunikaci s hlavním řešitelem a ostatními týmy, spolupodílela se na koordinaci projektu.

## **SWECO**

Společnost SWECO zpracovala v rámci aktivity 1-1 GIS analýzu prostorových konfliktů a nedostatků plošných databází zemědělské, lesní a ostatní půdy a navrhla metodiku pro jejich odstranění při výsledném spojování produktů DMP.

Spolupráce zapojených pracovišť odpovídala potřebám naplnění cílů projektu. Z hlediska odborné náplně - digitálního mapování půd a odvozování Ksat z experimentů s dešťovým simulátorem, byla intenzivní především spolupráce mezi řešitelskými kolektivy ČVUT a VÚMOP. Při tvorbě a aplikaci metodiky pro spojování produktů DMP spolu komunikovaly zejména týmy ČVUT a Sweco. Schůzky řešitelů ze všech tří pracovišť se v roce 2021 nekonaly. Jedním z důvodů byla přetrvávající nepříznivá situace v důsledku pandemie COVID-19. Dvoustranné schůzky konané nepravidelně výhradně v online podobě za účelem řešení specifických úkolů se ukázaly jako postačující, i když vlivem zpožděných termínů některých aktivit a zvýšenému vytižení klíčových členů týmu docházelo místy ke komunikačním nedostatkům.

## **Komentář k řešitelskému týmu**

Do řešitelského kolektivu byly zapojeny klíčové osoby podle návrhu projektu. V týmu ČVUT zapojené Ing. L. Weyskrabové, Ph.D. byl ponechán snížený úvazek z důvodu zvýšených rodinných povinností akcelerovaných pandemií COVID-19. Do týmu ČVUT byli formou DPP zapojeni dva doktorandi se specifickými dílčími úkoly (plnění databáze měření, skriptování v Python apod.). Týmy ostatních řešitelů zůstaly ve stejném složení jako v prvním roce řešení. V týmu VÚMOP byly v roce 2021 úvazky čerpány pouze na klíčové osoby, které zastaly i výkon ostatních osob. Úvazky klíčových osob byly navýšeny. Změny nastaly vzhledem k časovému posunu prací na projektu a personálním změnám v souvislosti s Covid 19. V součtu byly osobní náklady využity v souladu s návrhem projektu.

## **8. Naplňování programu ZÉTA z hlediska jeho specifického zaměření**

Program ZÉTA je zaměřen na podporu mladých vědců - na rozvoj aplikační kultury nastupující výzkumné generace a na kariérní rozvoj členek a členů řešitelského týmu. V posledním roce řešení pokračovala úzká spolupráce mezi zapojenými pracovišti, bohužel vlivem pandemie COVID-19 výhradně v online podobě. Řešitelský tým je genderově vyvážený. Odbornost prací je zajištěna dohledem zkušených mentorů.

Ke sladování soukromého a pracovního života přispívá příležitost pracovat na zkrácený úvazek s možností flexibilní pracovní doby a prací z domova. Mladí vědeckí pracovníci tak neztratí kontakt s profesí a zároveň se mohou věnovat rodičovství. Zvyšuje se tím také pravděpodobnost bezproblémového zapojení členů například po ukončení rodičovské

dovolené zpět do pracovního kolektivu. Tento aspekt byl v roce 2021 dále komplikován pandemií COVID-19, která zvýšila časovou náročnost péče o rodinu a ztížila podmínky k práci.

## 9. Reference

- Behrens, T., Schmidt, K., MacMillan, R. A., & Viscarra Rossel, R. A. (2018). Multiscale contextual spatial modelling with the Gaussian scale space. *Geoderma*, 310(July 2017), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.015>
- Behrens, T., Schmidt, K., Viscarra Rossel, R. A., Gries, P., Scholten, T., & MacMillan, R. A. (2018). Spatial modelling with Euclidean distance fields and machine learning. *European Journal of Soil Science*, 69(5), 757–770. <https://doi.org/10.1111/ejss.12687>
- Beitlerová, H., Novotný, I., Lang, J., Kapička, J., & Žížala, D. (2017). *Potenciální retence zemědělské půdy v ČR*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). Classification and Regression Trees. *Biometrics*, 40(3), 874. <https://doi.org/10.2307/2530946>
- Dostál, T., J. Krása, David V. a kol. 2014. *Erozní smyv - zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu*. [Dílčí zpráva projektu VG 20122015092 za roky 2012-2014. Dílčí část zprávy za příjemce ČVUT v Praze]. Praha. Interní archiv ČVUT.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer.
- Hengl, T., Nussbaum, M., Wright, M. N., Heuvelink, G. B. M., & Gräler, B. (2018a). Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*, 2018(8). <https://doi.org/10.7717/peerj.5518>
- Hengl, T., Nussbaum, M., Wright, M. N., Heuvelink, G. B. M., & Gräler, B. (2018b). Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*, 2018(8). <https://doi.org/10.7717/peerj.5518>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning with Application in R*. Springer New York. <https://doi.org/978-1461471370>
- Jankauskas, B., Slepetiene, A., Jankauskiene, G., Fullen, M. A., & Booth, C. A. (2006). A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma*, 136(3–4), 763–773. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.05.015>
- Kučera, M., & Adolt, R. (2019). *Národní inventarizace lesů v České republice - výsledky druhého cyklu 2011 - 2015* (1.). Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem.
- McBratney, A. B., Mendonça Santos, M. L., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. In *Geoderma* (Vol. 117, Issues 1–2). [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- Nemeček, J., Rohošková, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., & Novák, P. (2011). *Taxonomický klasifikační systém České republiky* (2nd ed.). CZU v Praze.
- USDA NRSC. (2009). *National Engineering Handbook, chapter 7*. Part 630 Hydrology.
- Šercl, P. (2008). Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické Zprávy*, 61(2).

- Weltz, M. A., Renard, K. G., & Simanton, J. R. (1987). Revised Universal Soil Loss Equation for western rangelands. *U.S.A./Mexico Symposium of Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production In Arid Zones*.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A. and Le Bas, C., 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. DLO Winand Staring Centre, Report 157, Wageningen, the Netherlands.
- Zádorová, T., Žížala, D., Penížek, V., & Juřicová, A. (2018). *Harmonizace databáze KPP s klasifikacemi TKSP a WRB 2014. Certifikovaná metodika*. VÚMOP.
- Žížala, D., Minařík, R., Juřicová, A., Zádorová, T., Beitlerová, H., & Penížek, V. (2020). *Soubor detailních map půdních vlastností ČR - zemědělské půdy*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i.
- Žížala, D., Minařík, R., Vašát, R., Skála, J., Juřicová, A., Tereza, Z., Penížek, V., & Beitlerová, H. (2020). *Tvorba půdních map pedometrickými metodami* (D. Žížala (ed.); 1. vyd.). Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i.