

# Odborná zpráva projektu TJ02000234 za rok 2020

## Příloha průběžné 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. Cíle pro rok 2020 - shrnutí

V předchozím - prvním roce řešení 2019 byly provedeny rešerše dostupných datových zdrojů relevantních pro projekt a metodik jejich vzniku. Bylo zahájeno jednání k získání klíčových dat o fyzikálních a hydropedologických vlastnostech lesních půd, ty však nebyly kvůli průtahům v komunikaci s jejich poskytovatelem do konce prvního roku dodány v plném rozsahu. Hlavním cílem pro rok 2020 tedy bylo maximálně urychlit a dokončit proces nákupu dat o lesních půdách a provést jejich harmonizaci s půdními daty pro zemědělskou půdu. V druhé půli roku mělo být navázáno s přípravou digitálního mapování zrnitostí na lesních půdách. Zároveň mělo pokračovat shromažďování dat o hydraulických vodivostech půd (Ks) na území ČR uvnitř řešitelských institucí i od třetích stran. Existující interní databáze měla být rozšířena o nová experimentální data a provedena verifikace a pokud možno zpřesnění existujících pedotransferových funkcí pro určení Ks. Podrobně jsou provedené činnosti a jejich výsledky rozvedeny dále v této zprávě u kapitoly shrnující aktivity druhého roku řešení.

## 3. Výstupy / výsledky projektu

V projektu jsou plánovány celkem čtyři výsledky. Vzhledem k délce řešení projektu mají všechny termín dokončení až v 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. Poslední ze čtyř výsledků představuje souhrnná zpráva projektu, která bude vyhotovena až na konci řešení. Pro přehlednost zde shrnujeme všechny plánované výsledky projektu. Uvedená čísla výsledků odpovídají značení v podaném Návrhu projektu a z technických důvodů netvoří nepřerušovanou řadu. Pro snadnější čitelnost a logickou návaznost aktivit pak nejsou uvedeny ve vzestupném číslování.

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

Jedná se o soubor datových produktů charakterizujících 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 processingových 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.

## 4. Aktivity v druhém roce řešení

V druhém roce řešení bylo plánováno pokračování ve dvou aktivitách zahájených v roce 2019 a zahájení tří dalších. Celkem tři z těchto pěti aktivit měly být v roce 2020 zakončeny, tyto byly vázané na jeden ze čtyř cílů projektu: V7 - Databáze hydropedologických charakteristik půd. Dvě nově zahájené aktivity mají pokračovat i v posledním roce řešení. V následujícím seznamu plánovaných aktivit je v závorce uvedeno jejich předpokládané zakončení.

- Aktivita 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd (09/2020),
- Aktivita 7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě (06/2020),
- Aktivita 7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks (12/2020),
- Aktivita 1-1 Odvození celistvé vrstvy hydropedologických vlastností půd ČR (03/2021),
- Aktivita 6 Tvorba a publikace článku o postupech a výsledcích projektu (05/2021).

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

V ČR v současné době neexistuje žádná jednotná databáze hydraulických charakteristik půd postavená na datech z více institucí s výjimkou omezeně dostupné HYPRES CZ (Miháliková, 2013). Sestavení a publikace takové databáze přesahuje rovněž rozsah tohoto projektu i politickou realitu na poli výzkumných institucí. Cílem této aktivity bylo od počátku shromáždit výšek hydropedologických dat - měření nasycené hydraulické vodivosti Ks - od řešitelů projektu a třetích stran ochotných ke spolupráci za účelem odvození a publikace druhotných výstupů (viz aktivita 7-4), tedy nikoliv databáze samotné. Souběžně mělo proběhnout další rozšíření interních databází řešitelů o nové experimentální výsledky. Tato aktivita měla být ukončena v září 2020. Vzhledem k níže popsáným průtahům (zejména ale nejen se získáním kritických dat pro klíčovou aktivitu 7-3) nebyla však do závěru roku 2020 uzavřena, což způsobilo zpoždění některých činností v navazující aktivitě 7-4. Vzhledem k časové rezervě v posledním roce řešení 2021, vysoké hodnotě každé potenciálně získatelné informace od třetích stran a nízké provázanosti s hlavním výsledkem projektu, bylo rozhodnuto v aktivitě pokračovat i po plánovaném ukončení, nejpozději však do února 2021.

#### 4.1.1 Spolupráce a získání dat od třetích stran

Nejnáročnějším úkolem této aktivity v roce 2020 se ukázala snaha o získání půdních dat od třetích stran. Prostřednictvím emailu a později telefonicky byli kontaktováni vedoucí nebo řešitelům osobně známí pracovníci na různých odborných institucích a byla nabízena spolupráce na sdílení půdních dat. Částečně jistě v důsledku epidemie COVID-19 byla komunikace velmi časově náročná, poznamenaná velkými časovými prodlevami. V některých případech jsme neobdrželi reakci ani po opakovaném oslovení. Poměrně častým jevem bylo odkázání na konkrétního pracovníka, často u jiné instituce, což poukázalo na velmi omezený okruh českých pedologických pracovníků a jejich provázanost napříč institucemi. Tabulka 1 shrnuje oslovené subjekty či osoby a výsledek jednání o sdílení dat.

Tab. 1: Kontaktované instituce a výsledek jednání o sdílení půdních dat

Instituce	Osoba	Výsledek jednání
FAPPZ, ČZÚ	dr. Miháliková	přislíbena spolupráce, data očekávána 01/2021
FŽP, ČZÚ	dr. Pavlásek	obecný souhlas se spoluprací, dosud bez výsledku
PřF, UK	dr. Šefrna	bez odezvy
PřF, UK	dr. Jeníček	nedisponuje, odkaz na dr. Vlčka
AF, MENDELU	doc. Kozlovská	nedisponuje, odkaz na dr. Vlčka
ÚH, AV ČR	dr. Vlček	získáno cca 90 sond se zrnitostmi, Ks nedisponuje
ČGS / BC AV ČR	dr. Oulehle	info o dostupných datech, dále bez reakce
ČGS	Ing. Janderková	hydraulickými daty nedisponuje, odkaz na AOPK
AOPK	Vondrová	roztříštěná data ve studiích, odkaz na ČGS
VÚV Brno	dr. Dzuráková	nedisponuje

Největším úspěchem jednání byla přislíbená spolupráce s autory jediné české publikované databáze HYPRES CZ, která sloužila k odvození pedotransferových funkcí (zejména parametrů retenční čáry, PTF pro Ks se pro malý rozsah dat nepodařilo odvodit). Tato data bohužel nejsou z historických důvodů volně dostupná, ale po jednání s autory databáze se podařilo dosáhnout příslibu sdílení vybraných datových sad pro účely tohoto projektu. V době psaní této zprávy byly v procesu přípravy a výběru dat.

Jediného dalšího úspěchu bylo dosaženo při jednání s ÚH AV ČR, jehož výsledkem bylo získání databáze cca 90 půdních sond s rozbory zrnitostních frakcí. Tato data budou v projektu použita spolu s interní databází VÚMOP pro validaci mapových produktů odvozených metodami DMP (aktivita 1-1). Bohužel součástí prováděných analýz nebylo měření Ks, proto tato data nepřispějí k aktivitě popsané v této části zprávy.

#### 4.1.2 Rozšíření interních databází řešitelů experimentálními metodami

V Průběžné zprávě tohoto projektu za rok 2019 jsou podrobně popsány interní databáze půdních charakteristik spravované řešiteli ČVUT a VÚMOP. V databázi VÚMOP je evidováno pouze 30 sond, na jejichž vzorcích byly laboratorně odvozeny hodnoty nasycené hydraulické vodivosti (Ks). Stejně jako databáze ČVUT dále obsahuje řadu měření z polních experimentů s dešťovým simulátorem, jejichž analýzou a inverzním modelováním odtoku a infiltrace lze

efektivní hodnoty  $K_s$  odvodit. Tento přístup byl již vyzkoušen na datech VÚMOP v rámci jiného projektu řešitele QK1810341 při odvozování kalibračních parametrů pro fyzikálně založený model EROSION-3D. Výsledky jsou v tuto chvíli v procesu publikace (Beitlerová et al., 2020). Výsledkem analýz nebyly přímo hodnoty  $K_s$ , ale tzv. skinfaktoru, který v modelu E3D ze zrnitosti odhadnuté hodnoty  $K_s$  upravuje. V tomto projektu je plánováno na publikovanou práci navázat, odvodit přímo hodnoty  $K_s$ , spojit získaný soubor s dalšími databázemi řešitele ČVUT a třetích stran a pokusit se odvodit pedotransferovou funkci nezávislou na zahraničních datech (viz aktivita 7-4).

Pracoviště ČVUT v Praze i VÚMOP využívají od roku 2012 mobilní dešťový simulátor se zadešťovanou plochou 10 x 2 m (běžně využívaná je 8 x 2 m), který je převážně nasazován na zemědělských pozemcích ke sledování povrchových procesů (eroze, povrchový odtok, tvorba rýh) ve vztahu k vývojovým fázím pěstovaných rostlin a použité zemědělské technice. Oba simulátory byly vyvíjeny ve spolupráci za účelem provádění experimentů na společných projektech, mají tedy podobnou konstrukci a principy fungování a při experimentech jsou sledovány podobné parametry. Popis simulátoru ČVUT a principy měření uvádí Kavka (2018).

Za devět let provozu simulátoru na ČVUT bylo zařízení nasazeno v rámci různých výzkumných projektů na více než 170 simulacích, které byly orientovány zejména na výzkum povrchových procesů (plošný odtok a eroze) na orné půdě. Tabulka 2 uvádí přehled hlavních parametrů simulací obsažených v databázi ke konci roku 2020.

Tab. 2: Přehled experimentů s dešťovým simulátorem zahrnutých v databázi ČVUT

Počet simulací se suchými poč. podmínkami	170
Počet návazných simulací s vlhkými poč. podmínkami	133
Období měření	05/2012 – 04/2020
Lokality	Třebešice, Býkovice, Nové Strašecí, Řisuty
Velikost exp. plochy	8 x 2 m
Sklon exp. plochy	9 %
Srážková intenzita	37 - 88 mm/h
Půdní pokryv	úhor udržovaný, ječmen ozimý, oves ozimý, pšenice ozimá, řepka ozimá, ječmen jarní, hrách jarní, slunečnice, hořčice, vojtěška, pšenice jarní, pohanka, kukuřice, hrách ozimý, svazenka, žito ozimé

V rámci této aktivity bylo v roce pokračováno v kontrole a doplňování archivních záznamů i nových simulací - převážně v podobě xls tabulek - do SQL databáze. Původně bylo plánováno do konce roku 2020 využít tato data k odvození hodnot efektivní hydraulické vodivosti. Kvůli zpoždění klíčových aktivit projektu byla této aktivitě přiřazena nižší priorita a její řešení prodlouženo do února 2021.

Naprostá většina dosud provedených simulací ve výše jmenované databázi ČVUT byla realizována na orné půdě pomocí simulátoru se zadešťovanou plochou 8 x 2 m (resp. včetně přesahu 10 x 2 m). Další plochy jako jsou lesní pozemky a trvalé travní porosty tak nebyly pomocí simulátoru měřeny. Zároveň v roce 2019 pracoviště ČVUT pořídilo malý polní simulátor se záměrem studovat hydrologické procesy ve větším detailu a také mimo zemědělské pozemky a v méně přístupném terénu. Zařízení je převozná osobním automobilem a k provádění experimentů stačí 2 osoby. Zadešťovaná plocha čtvercového tvaru má v základním režimu rozměry 1 x 1 m, lze ji však rozšířit až na 2x2 m.

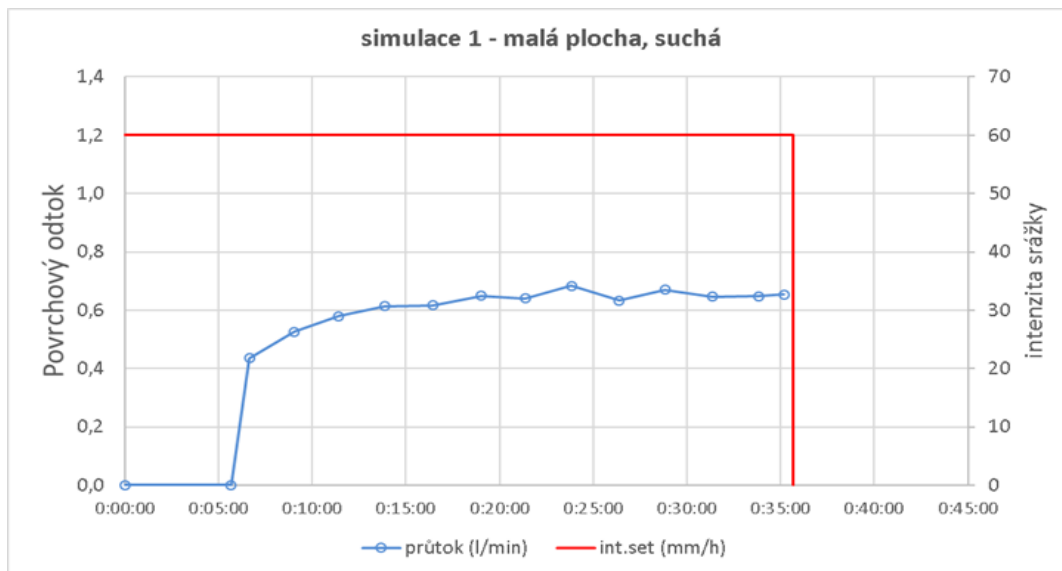
Na rok 2020 bylo v rámci této aktivity plánováno řádově 10 výjezdů s velkým a/nebo malým polním simulátorem s cílem studia odtokové odezvy na travnatých porostech různého charakteru a odvozením efektivních hodnot  $K_s$  pro rozšíření datasetu pro odvození pedotransferové funkce. Bohužel kvůli nepříznivým dopadům pandemie COVID-19 byly realizovány pouze tři měřicí kampaně shrnuté v tabulce 3. Všechny experimenty byly provedeny na travním porostu, ovšem na různě využívaných pozemcích. Ve Svinařově se jednalo o tříletý travní porost na orné půdě, v Býkovicích o trvalý porost pravidelně sečené údolní louky a v Uherčicích o zatravněné meziřadí vinice.

Tab. 3: Přehled experimentálních kampaní

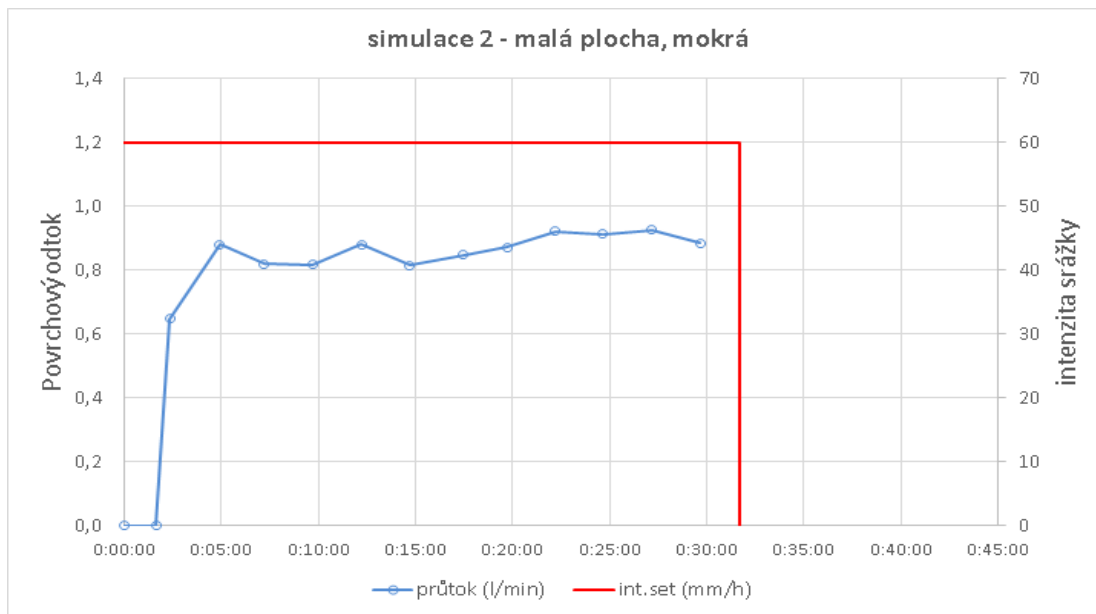
Datum	Lokalita	Pokryv	Úhrn (mm)	Doba opakování (let)
20. 4.	Svinařov	Tráva na OP	30-40	5-20
26. 5.	Býkovice	Louka, OP	52	20
8. 10.	Uherčice	Vinice	44	50

Z prvního experimentu bylo získáno poměrně málo relevantních dat, neboť plánovaný srážkový úhrn se ukázal jako nedostatečný v porovnání s neočekávaně vysokou infiltrační kapacitou půdy. Ta dosahovala až 50 mm/h a drobný pozorovaný odtok bylo těžké odlišit od pozadového odtoku ze sběrného trychtýře. Druhá experimentální kampaň byla úspěšnější a poskytla standardní data pro modelování infiltrace a odvození parametrů infiltrace (mj. hodnoty  $K_s$ ), které je plánováno spolu ostatními simulacemi na další rok řešení projektu. Nejzajímavější výsledky poskytla poslední zadešťovací kampaň na vinici u Uherčic. Průběh pozorovaného odtoku v odezvě na simulovanou srážku o intenzitě 60 mm/h je zachycen na obrázku 1 a 2. Z pozorovaného odtoku lze jednoduše odhadnout infiltrační kapacitu půdy, tedy přibližnou

hodnotu  $K_s$  jako rozdíl ustálené intenzity odtoku (na obrázku 1 přibližně 0,65 l/min) a maximální teoretické intenzity (při intenzitě srážky 60 mm/h a ploše 1 m<sup>2</sup> rovné 1 l/min). Významným zjištěním je rozdílná infiltrační kapacita odvozená z první, suché a druhé, mokré simulace. V prvním případě je odhadovaná hodnota  $K_s = 0,35$  l/min (21 mm/h), zatímco v druhém pouze 0,1 l/min (6 mm/h). Zde se patrně projevuje efekt vzduchu uzavřeného v půdních pórech a zpomalující proces infiltrace.



Obr. 1: průběh simulované intenzity deště a pozorovaný odtok při prvním zadešťování 1 m<sup>2</sup> experimentální travnaté plochy



Obr. 2: průběh simulované intenzity deště a pozorovaný odtok při druhém zadešťování 1 m<sup>2</sup> experimentální travnaté plochy do vlhkých podmínek



#### 4.2 AKTIVITA 7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě

Do konce prvního roku řešení 2019 měla být získána kritická data z půdních rozborů na lesní půdě spravovaných na ÚHÚL. Do června roku 2020 měla být dokončena tato aktivita zaměřená na harmonizaci lesních dat s daty KPP na zemědělské půdě. Kvůli průtahům v komunikaci s poskytovatelem dat byla do konce prvního roku dodána pouze jejich část. Patrně kvůli stále živému procesu tvorby databáze lesních dat NIL II a historicky prvnímu exportu požadovaných záznamů si opakovaná komunikace, vyjasňování požadavků a korekce chybných položek vyžádaly čas až do června roku 2020. Zde popisovaná aktivita harmonizace s daty KPP tedy mohla začít až v okamžiku, kdy již bylo v Návrhu projektu plánováno její ukončení.

U obou datových zdrojů - KPP a ÚHÚL proběhla standardizace zrnitostních kategorií na základní frakce Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček et al., 2011), který vychází z mezinárodně platného klasifikačního systému NRSC USDA (USDA, 1987). Klasifikace dat zrnitosti KPP proběhla v rámci digitalizace dat KPP. V rámci tohoto projektu byla zpracována data ÚHÚL tak, aby byla sjednocena s daty KPP. Práci lze popsat v následujících krocích:

- 1) odstranění horizontů bez rozborů zrnitosti. Jedná se většinou o organické horizonty a opadanku, kde se zrnitostní rozbor nedělá, ale také o horizonty, kde jej nebylo možné provést kvůli malé mocnosti, velkému prokořenění či skeletovitosti aj.

Tab. 4: Zrnitostní frakce v datech ÚHÚL a frakce USDA

zrnitostní frakce v datech ÚHÚL	rozsah zrnitosti [mm]	zrnitostní frakce TKSP
FJ	< 0,002	jíl
ZF I	< 0,01	-
VJP	0,002 - 0,01	prach
ZF II	0,01 - 0,05	
ZF III	0,05 - 0,1	písek
ZF IV	0,1 - 2	

- 2) výpočet základních zrnitostních frakcí - jíl < 0,002 mm, prach 0,002 - 0,05 mm a písek 0,05 - 2 mm. Zrnitostní frakce uvedené v datech ÚHÚL a jejich převod na základní

frakce je uveden v tabulce 4. U různých sond byly prováděny zrnitostní rozborů v různých kategoriích. V rámci čištění dat došlo k jejich sjednocení. U většiny sond chybí kategorie FJ (fyzikální jíl, částice do velikosti 0.002 mm). Ten byl dopočten lineární interpolací mezi dvěma nejbližšími známými údaji, tedy 0 mm a 0.01 mm. V praxi se většinou pro dopočtení zrnitostní frakce využívá log-lin transformace. Ta ovšem generovala nepravděpodobně vysoké hodnoty jílu. Vhodnost lineární místo log-lineární transformace u malých (jílových) částic byla již dříve zjištěna na datech interní databáze VÚMOP ze zemědělských ploch. Pokud chyběla některá z ostatních frakcí, byla dopočtena log-lin transformací.

- 3) Oprava chyb - u některých horizontů nedává součet zrnitostních frakcí 100 %. U horizontů s chybou do 5 % byla chyba rovnoměrně rozpočítána mezi jednotlivé frakce. Horizonty s vyšší chybou byly vymazány. Jedná se o 68 horizontů.
- 4) Horizonty s mocností > 40 cm mají více zrnitostních rozborů z různých hloubek horizontu, hloubky však nejsou uvedeny. Tyto hodnoty byly zprůměrovány, takže každý horizont má jedinečný údaj o zrnitosti
- 5) Sjednocení hloubky horizontů v rámci půdního profilu - vzhledem k tomu, že každý půdní profil má jiný počet horizontů, které jsou jinak mocné a každý má jinak hluboké organické horizonty, byla zrnitost interpolována váženým průměrem pro každých 30 cm půdního profilu. Jako nulová hloubka profilu byl stanoven horní okraj prvního minerálního horizontu. Hloubky jednotlivých horizontů v sondě byly tedy sníženy o mocnost vymazaného organického horizontu. Zrnitost byla spočtena, pokud existovalo ve vrstvě alespoň 10 cm půdy s určenou zrnitostí. Pokud byl tedy v předchozích krocích vymazán horizont uprostřed půdního profilu, mohla být stále zrnitost dopočtena ze sousedního profilu, pokud zasahoval do daného pásma alespoň 10 cm.

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 nebylo třeba slučovat do jednoho souboru.

Tato kapitola byla věnována čistě harmonizaci zrnitosti. Dalšímu zpracování a čištění databáze je věnována kapitola 4.4.2. (aktivita 1-1), kde je uveden přehled počátečního stavu databáze a stavu po očištění (počet sond a horizontů).

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

V rámci aktivity byla zpracována ucelená rešerše se zaměřením na pedotransferové funkce (PTF) využitelné pro modelování hydropedologických vlastností půd. Rovněž byly sesbírány komplexní informace o již existujících publikovaných PTF a jejich kritické zhodnocení. Výhodiskem rešerše jsou především možnosti pro jejich odvezení a metodika pro stanovení a upřesnění nových PTF na aktuálně dostupných datech. Provedená rešerše je samostatnou přílohou Průběžné zprávy tohoto projektu. Vyplývá z ní, že na základě českých půdních dat dosud nebyla úspěšně odvozena PTF konkrétně pro odvození Ks. Tímto úkolem se na zřejmě největším datovém souboru zabývala Miháliková a kol. (2013) při konstrukci databáze HYPRES CZ, nicméně jejich datový soubor se ukázal jako příliš malý pro odvození příslušné PTF. Řešitelům projektu se podařilo vyjednat přístup k vybraným datům použitým v HYPRES CZ

a díky plánovanému rozšíření vlastními interními databázemi řešitelů (viz aktivita 7-2) se otevírá cesta k dalšímu pokusu. Tato aktivita je plánována na poslední rok řešení 2021.

Před získáním přístupu k vybraným datům HYPRES CZ se řešitelé v rámci této aktivity věnovali v roce 2020 ověření možnosti využití PTF odvozených v zahraničí. Z důvodu regionální blízkosti podkladových dat byla ověřována parametrická PTF evropské databáze HYPRES (Wösten et al., 1998) ve tvaru:

$$\ln(K_s) = 7.755 + 0.0352*S + 0.93*topsoil - 0.967*BD^2 - 0.000484*C^2 - 0.000322*S^2 + 0.001*S^{-1} - 0.0748*OM^{-1} - 0.643*\ln(S) - 0.01398*BD*C - 0.1673*BD*OM + 0.02986*topsoil*C - 0.03305*topsoil*S$$

kde  $K_s$  je nasycená hydraulická vodivost v cm/den; C a S procentuální podíly jílové a prachové frakce; OM je procentuální podíl organické hmoty; BD odpovídá redukované objemové hmotnosti a topsoil/subsoil jsou kategorické hodnoty označující svrchní (1) resp. hlubší půdní vrstvu (0).

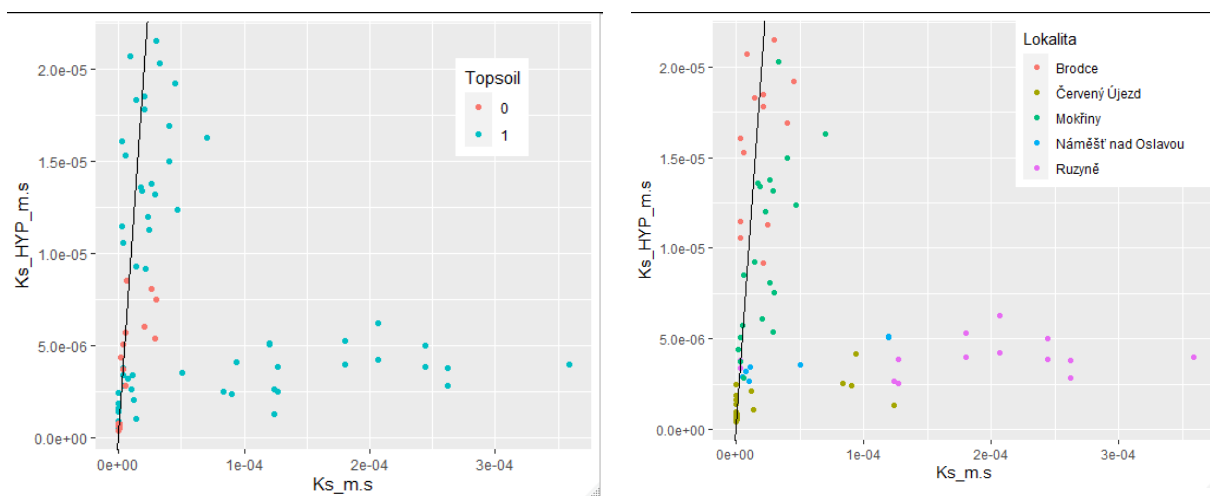
Pro verifikaci Wöstenovy PTF byla použita interní databáze řešitele VÚMOP obsahující přibližně 90 vzorků s laboratorně analyzovanými hodnotami  $K_s$ . Vzorky pochází pouze z pěti lokalit a pokrývají 7 zrnitostních tříd. U všech byly k dispozici kompletní zrnitostní rozborů, ovšem objemová hmotnost BD a obsah organické hmoty OM (použity byly laboratorně stanovené hodnoty oxidovatelného uhlíku Cox) nebyly stanoveny u značného množství vzorků. Chybějící hodnoty byly doplněny a označeny podle tabulky 5. Pro zařazení do topsoil/subsoil byla zvolena hraniční hloubka 30 cm.

Tab. 5: Počet chybějících analýz objemové hmotnosti (BD) a obsahu uhlíku (Cox) u vzorků s měřeným  $K_s$  v interní databázi VÚMOP a způsob jejich doplnění

Označení doplněné hodnoty	Počet chybějících rozborů	Způsob doplnění
BD0	7	převzaty ze vzorků stejné sondy a nejbližší hloubky
BD1	14	převzaty průměry ze vzorků ze stejné odběrné kampaně
Cox0	4	Hodnoty pod mezí stanovení 0,12 %, přiřazeno 0,05 %
Cox1	7	převzaty průměry ze vzorků ze stejné lokality ale jiné odběrné kampaně (roku), 1x ze stejné kampaně
Cox2	38	zcela chybí, pro topsoil odhadnuto 0,5 %; pro subsoil 0,25 %

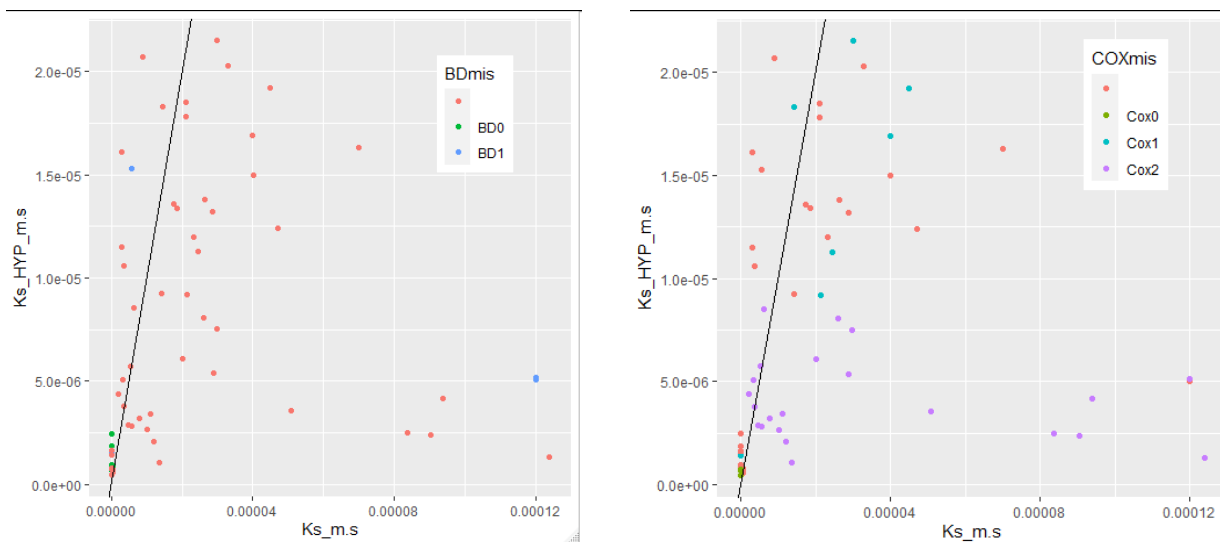
Jak je zřejmé z výše uvedené tabulky, větším problémem byly chybějící hodnoty obsahu Cox. U 11 vzorků chyběly obě veličiny, s jednou výjimkou byly všechny odebrány v lokalitě Ruzyně.

Míra shody vyjádřena Nash-Sutcliffe koeficientem mezi pozorovanými (měřenými) hodnotami  $K_s$  a predikovanými hodnotami  $K_{s\_HYP}$  byla při použití celého kontrolního datasetu záporná ( $NS = -0,34$ ). Při vynesení měřených a pomocí PTF predikovaných hodnot se ukazuje (obrázek 3), že dataset se rozpadá na dva homogenní celky, přičemž jeden z nich je poměrně rovnoměrně rozprostřen kolem přímky ideální shody 1:1 a druhý vykazuje řádové odchylky. Jak je patrné z obrázku 3 vlevo, relativně subjektivní rozčlenění na topsoil/subsoil odchylky predikce dobře nevysvětluje, na rozdíl od lokality vzorkování (obrázek 3 vpravo).



Obr. 3: Měřené hodnoty  $K_s$  vs hodnoty predikované pomocí PTF z databáze HYPRES s rozlišením podle příslušnosti vzorku ke svrchnímu či hlubšímu půdnímu horizontu (vlevo) a k lokalitě vzorkování (vpravo).

Po vyřazení problematických vzorků z lokality Ruzyně (kvůli chybějícím rozborům BD i Cox) došlo pouze k mírnému zlepšení shody ( $NSE = -0,21$ ). V takovém případě by stále lepší výsledky predikce dávalo použití průměru z měřených hodnot, než použití PTF. Při pohledu na zbylý dataset z hlediska zastoupení chybějících měření (obrázek 4) je zřejmé, že největší odchylky od predikovaných hodnot vykazují vzorky se zcela chybějícími a odhadnutými hodnotami zastoupení podílu organické hmoty, označené Cox2. Po jejich odstranění z datasetu vykazoval predikční model shodu  $NS = 0,1$ . To je výkon modelu stále velmi slabý, nicméně nízká hodnota objektivní funkce je dramaticky ovlivněna jediným odlehlým pozorováním z lokality Náměšť nad Oslavou, kde byla doplňována chybějící hodnota objemové hmotnosti. Bez tohoto odlehlého měření dosáhla míra shody  $NS = 0,37$ . Na poli pedotransferových funkcí pro  $K_s$  to lze považovat za poměrně slušnou shodu.



Obr. 4: Měřené hodnoty  $K_s$  vs hodnoty predikované pomocí PTF z databáze HYPRES po odstranění vzorků z lokality Ruzyně s vyznačením doplňovaných hodnot objemové hmotnosti BD (vlevo) nebo obsahu uhlíku Cox (vpravo).

Provedená verifikace ukázala určitý potenciál využití PTF na podkladě databáze HYPRES pro určení  $K_s$  i pro české podmínky. Spolehlivost je však nutné otestovat na datasetu většího rozsahu a zejména obsahujícím všechny vyžadované analýzy (BD a Cox). Ověření bude provedeno znovu po získání podkladových dat HYPRES CZ v roce 2021. Rozšířený dataset (aktivita 7-1) bude využit k novému pokusu o odvození vlastní PTF.

#### 4.4 AKTIVITA 1-1 Odvození celistvé vrstvy hydropedologických vlastností půd ČR

V rámci projektů QK1810341 a QK1820389 byla použita metoda digitálního mapování půd (DMP) pro mapování zrnitosti na zemědělské půdě, příslušné výstupy budou v roce 2021 přímým vstupem tohoto projektu. Výsledné mapy na zemědělské půdě jsou součástí certifikovaného souboru map Žížala et al., 2020a. V rámci aktivity 1-1 byla v letošním roce připravována data pro odvození map hydropedologických vlastností lesních půd. Samotné mapování je plánováno na rok 2021 spolu s propojením s mapami zemědělských půd. Výsledná bezešvá mapa pro celé území ČR tak bude vytvořena jednotnou metodikou. Na tomto místě bude popsán základ vybrané optimální metody DMP a postup přípravy dat pro mapování lesních půd. Blíže o metodách DMP včetně dalších, týmem testovaných, metod pojednává metodika Žížala et al., 2020b.

Mapy zrnitosti, stejně jako veškeré mapové podklady potřebné pro jejich tvorbu jsou připravovány v jednotném rozlišení, stejném jako u zemědělské půdy, a to v rozlišení 20 x 20 m.

##### 4.4.1 Použitá metoda DMP

Hydropedologické vlastnosti půdy jsou v rámci projektu odvozovány metodami DMP, které pro predikci půdní kategorie či atributu využívají koncept tzv. SCORPAN faktorů (McBratney, A. B.

et al., 2003). Tento koncept říká, že půdní vlastnost  $S$  (třída či atribut) je funkcí půdního typu ( $s$  = Soil), klimatu ( $c$  = Climate), organismů ( $o$  = Organisms), reliéfu ( $r$  = Relief), mateční horniny ( $p$  = Parent material), času ( $a$  = Age) a prostorové pozice ( $n$  = spatial position):

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

Či obecně

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

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

Principem DMP je nalezení funkce vyjadřující vztah mezi  $m$  pozorováními půdního atributu  $S$  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.

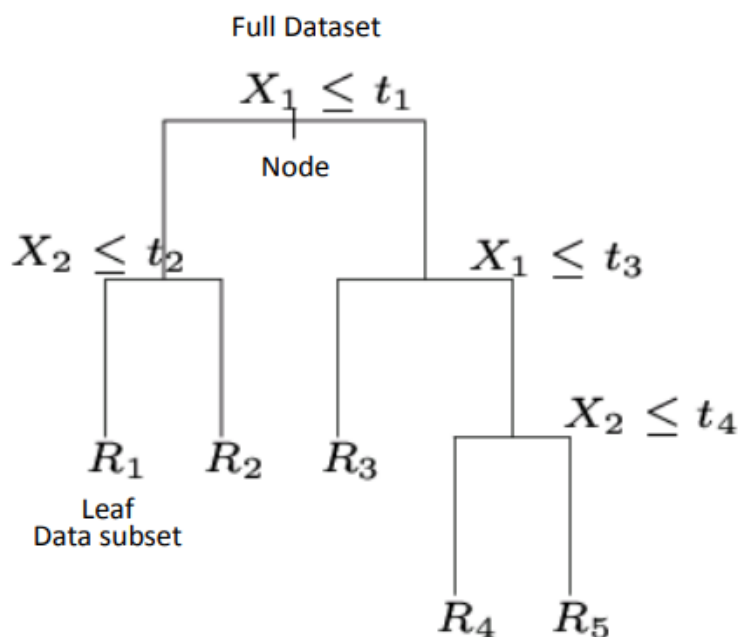
Pro mapování zrnitosti na lesní půdě byla vybrána metoda Quantile Random Forest (QRF), která je zobecněním metody Random Forest (RF). Obě metody jsou stručně popsány níže. Výběr byl proveden na základě dřívějších zkušeností projektového týmu s použitím pedometrických metod pro mapování půdních vlastností. V letošním roce řešení projektu byla připravena vstupní data hledaného půdního atributu  $S$  (zrnitost půdy) a matice environmentálních prediktorů  $m$ . Paralelně s přípravou dat byly připraveny výpočetní skripty pro aplikaci metody QRF.

### Model Random Forest

Model RF je jednou z nejpoužívanějších metod DMP. Základem modelu jsou algoritmy založené na rozhodovacích stromech. Rozhodovací stromy sestávají z uzlů (nodes) a listů (leaves), kde nód je část trénovacího datového souboru rozdělená mezní hodnotou vybranou tak, aby byla zajištěna co největší homogenita uvnitř nódu a co největší heterogenita mezi uzly. Mezní hodnota je vybrána na základě rozhodovacích pravidel (if-then statement) vytvořených ze souboru prediktorů  $Q$  (L. Breiman, Friedman, Olshen, & Stone, 1984). List je konečný nód, ve kterém je rozhodnuto o půdním atributu  $S$ . Rozhodovací stromy jsou schopné vyjádřit nelineární vztahy mezi  $Q$  a  $S$ , stejně jako interakční efekt, kde vztah mezi daným  $Q$  a  $S$  závisí na jednom a více prediktorech  $Q$ . Výhodou rozhodovacích stromů je jejich flexibilita, umožňují modelovat jak spojitá, tak kategorická data a nevyžadují předpoklad normality (Hastie, Tibshirani, & Friedman, 2009). Rozhodovací stromy jsou běžně využívány k mapování půdních taxonomických jednotek, matečního materiálu, pH, hloubky půdy, obsahu organického materiálu, obsahu jílů aj. RF je koncepčně podobný rozhodovacím stromům a má stejné výhody. Na rozdíl od rozhodovacího stromu je trénováno více stromů zároveň, přičemž výsledky modelu jsou postavené na predikcích z celého souboru stromů. V RF je každý strom trénován na souboru náhodně vybraných bodů  $m$  s využitím souboru náhodně vybraných prediktorů  $Q$ .

## Model Quantile Random forest

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.



Obr. 5: Diagram rozhodovacího stromu (Kempen, 2018 - výukové materiály *Hands on Digital Soil Mapping*, Wageningen)

### 4.4.2 Příprava dat pro digitální mapování lesních půd

#### Použitá data

Pro mapování lesních půd byly použity harmonizované databáze (proces harmonizace popsán v aktivitě 7-3) 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 obsahuje část se záznamy k ploše/sondě a část se záznamy k jednotlivým horizontům. V projektu jsou využity dvě datové sady:

- Historické půdní sondy
- Sondy Národní inventarizace lesů II

### ***Historické půdní sondy***

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 v souladu s Taxonomickým klasifikačním systémem půd ČR (Němeček et al., 2011), obsah organického uhlíku a druh rozboru (4 druhy dle jejich určení, některé druhy neobsahují laboratorní pedologické rozboru potřebné pro projekt). Databáze obsahuje záznamy pro 9 451 sond.

### ***Sondy Národní inventarizace lesů II (NIL II)***

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. Tyto sondy byly dodány z důvodu ochrany dosud neukončeného projektu inventarizace se zneřádněnými souřadnicemi. Každá sonda byla posunuta na střed čtverce 1x1 km ve čtvercové síti INSPIRE. Databáze obsahuje záznamy pro 1 567 sond.

## **Analýza a čištění dat**

### ***Historické sondy***

Databáze sond obsahuje mnoho záznamů s duplikovaným názvem inventarizační plochy. Většinou se jedná o opakovaná měření, tzn. na jedné inventarizační ploše proběhla měření ve více letech. U šesti ploch (15 sond) nebylo možné rozlišit jednotlivá měření a byly vymazány.

Dále byly identifikovány sondy, kde se v rámci horizontu mění některá půdní charakteristika a k jednomu měření bylo uvedeno více identických záznamů lišících se pouze touto charakteristikou. V takových případech byl zachován pouze jeden unikátní záznam pro danou sondu. Údaje o proměnlivé charakteristice ztracené vymazáním ostatních záznamů zůstaly dále obsaženy podrobně v databázi horizontů a nebyly tak ztraceny. Po vyčištění databáze sond zbylo 7 899 záznamů připravených pro napojení informací o horizontech. Po napojení horizontů obsahuje databáze 33 621 unikátních záznamů se strukturou sonda - horizont.



Vymazáno dále bylo:

- 5 429 horizontů bez zrnitostních rozborů (Viz. kap. 4.2.)
- horizonty bez určení hloubky, které jsou tak nezařaditelné v rámci profilu. Většinou se jedná o celé sondy. V tomto kroku bylo vymazáno 224 sond, resp. 984 horizontů.

Kompletní datová sada pro další zpracování obsahuje 27 136 horizontů pro 7 648 sond (z původních 33 621 horizontů a 9 451 sond).

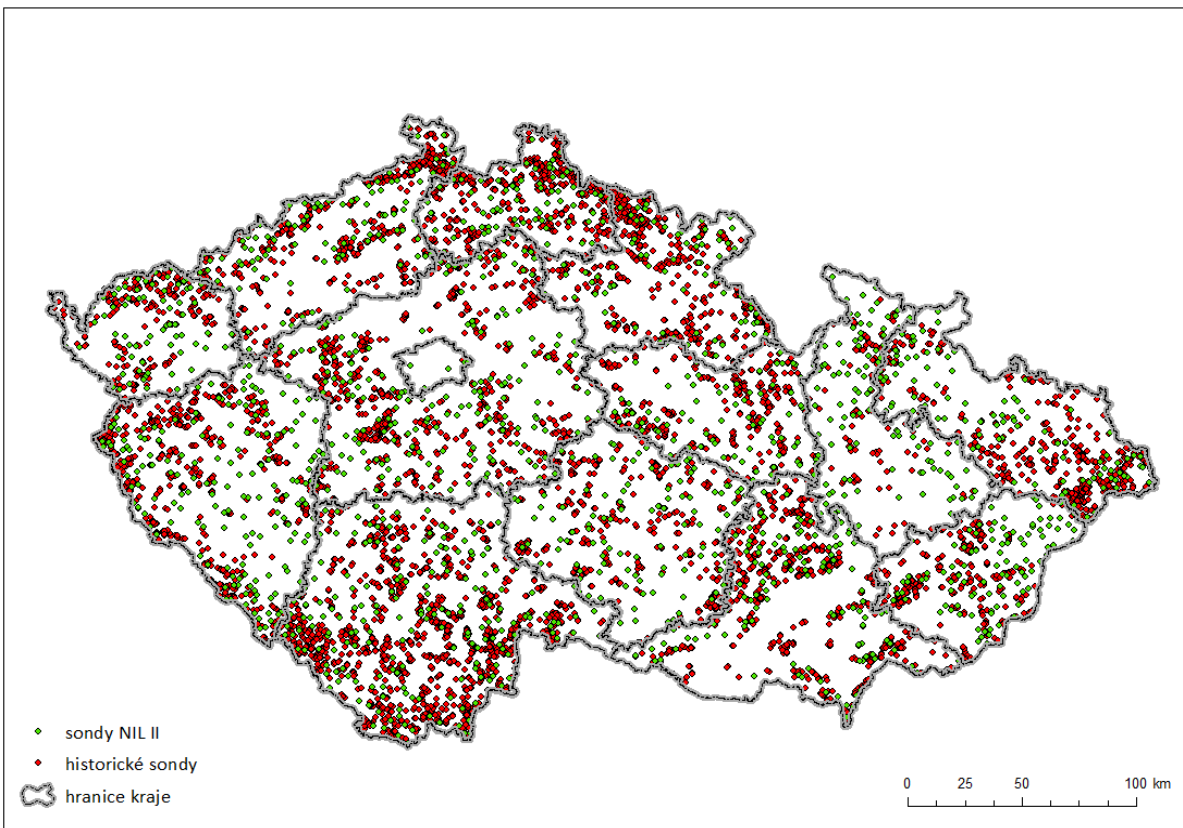
### **Sondy NIL II**

V datech byly nalezeny duplikované záznamy horizontů, které byly vymazány (203 záznamů). Dále bylo nalezeno 7 ploch se dvěma a více sondami v totožných souřadnicích. Vzhledem k tomu, že se jedná o ojedinělý jev na rozdíl od historických sond, byla na lokalitě ponechána pouze jedna sonda.

U dat NIL II byly provedeny jak fyzikální, tak chemické rozborů. Pro oba rozborů bylo provedeno jiné členění půdního profilu na horizonty. Zrnitost půdy se získává chemickým rozbořem. V základu se jedná o 8 211 záznamů. Po vymazání organických horizontů, horizontů opadanky a dalších, kde nebyl proveden rozbor zrnitosti, zbylo 5 618 záznamů.

Při kontrole součtu zrnitostních frakcí byly nalezeny odchylky maximálně +0.5 a -1.6 %. (1 horizont s odchylkou 99.5 % byl smazán), přičemž pouze 4 sondy měly odchylku větší než  $\pm 0.2$  %. Vzhledem k tomu, že jde o minimální odchylky, byla chyba přičtena k prostřední zrnitostní frakci prach, která má u většiny sond nejvyšší procentní zastoupení.

Kompletní dataset NIL II pro další zpracování obsahuje 5 343 horizontů pro 1 512 sond (oproti původním 8 211 horizontům pro 1 567 sond).



Obr. 6: Rozmístění sond Národní lesní inventarizace dat II a historických sond.

#### 4.4.3 Odvození environmentálních prediktorů

Všechny prediktory jsou připraveny v jednotném rozlišení s velikostí pixelu 20 x 20 m.

#### **Kovariáty skupiny S (půda) a P (půdotvorný substrát)**

Environmentální prediktory (neboli kovariáty) skupiny S a P jsou proměnné charakterizující půdní a geologické podmínky stanoviště. Zdrojem jsou převážně vektorová kategorická data. U kategorických proměnných bylo nutné pohlídat, aby byla každá kategorie obsažena v kovariátu zároveň reprezentována dostatečným počtem trénovacích bodů (půdních lesních sond). Jako dostatečné množství bylo zvoleno množství 10 a více bodů, které vychází z obecného statistického pravidla, že méně než deset prvků v jedné třídě je problematické pro odhad rozdělení veličiny a statistické testy (James et al., 2013). Pokud toto pravidlo nebylo splněno, byla málo zastoupená kategorie sloučena s příbuznou kategorií. Tato změna se promítla jak v trénovacím souboru, tak ve vrstvě kovariátu. Seznam odvozených kovariátů a jejich datových zdrojů shrnuje tabulka 6.

Tab. 6: kovariáty skupiny S a P

<b>kovariát</b>	<b>Skupina SCORPAN</b>	<b>Označení užívané v projektu</b>	<b>zdroj</b>
Potenciální retence	S	P_POTENC_RET	certifikovaná mapa Beitlerova, 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

## Kovariáty skupiny C (klíma)

Klímatické podmínky popisují celkem 4 kovariáty. Tři z nich byly vytvořeny na VÚMOP., v.v.i. orografickou interpolací dle Šercl (2008) z 90 vybraných stanic ČHMÚ. Takto vznikly rastry o velikosti pixelu 500 m, které byly pro tento projekt převzorkovány na pixel velikosti 20 m. Jedná se o dlouhodobé průměry za období 2009 - 2018.

- Průměrná roční teplota C\_TEMPER
- Průměrná roční suma srážek C\_PRECIPIT
- Průměrná roční suma evapotranspirace C\_EVAPOT

Čtvrtý kovariát byl vytvořen přímo ČHMÚ - Regionalizovaný faktor erozního účinku deště – C\_RFAKTOR. Jedná se o jeden ze vstupních parametrů Univerzální rovnice ztráty půdy USLE a vyjadřuje oproti C\_PRECIPIT i určitou extremitu srážkové činnosti.

## Kovariáty skupiny R (relíéf)

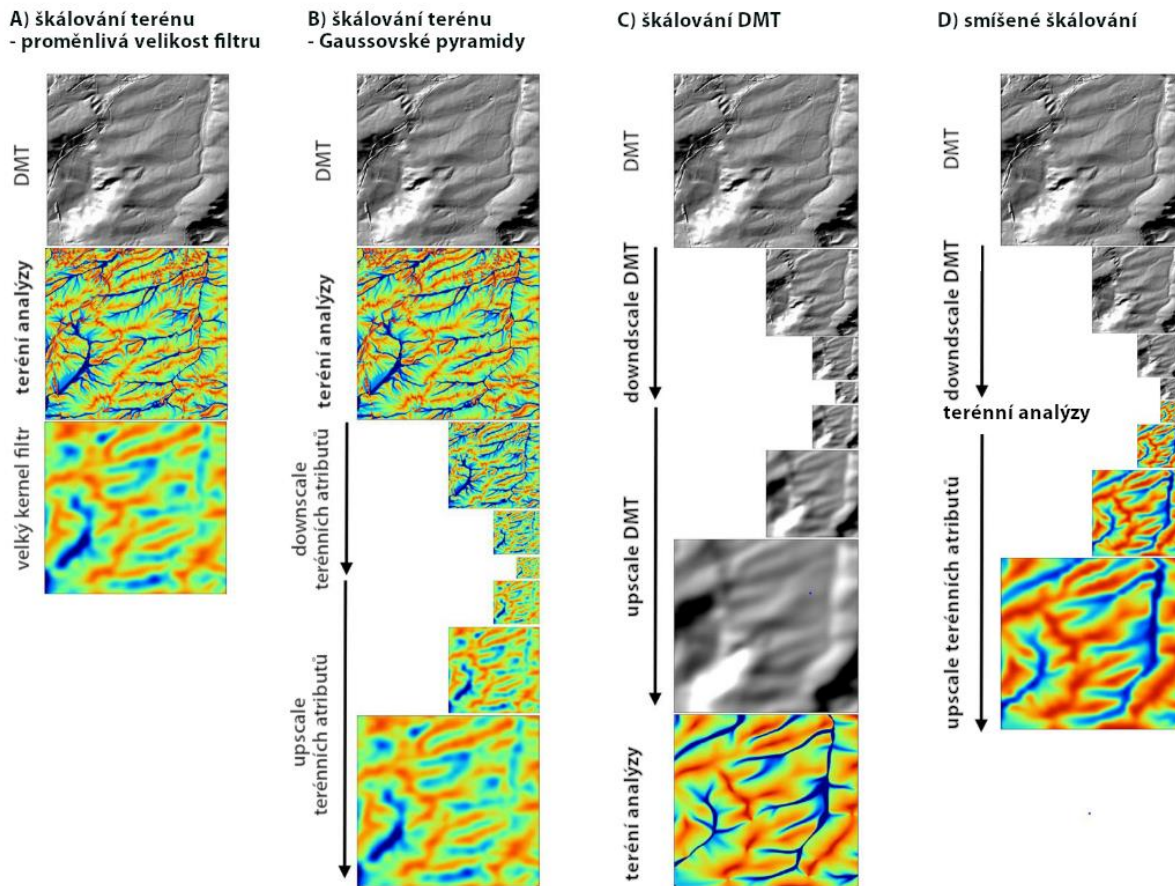
U kovariátů skupiny R je základem 13 derivátů digitálního modelu terénu (tabulka 7). Tyto kovariáty je třeba připravit v různých měřítkových úrovních. V zásadě totiž nemusí být v souladu prostorová závislost půdních vlastností a terénních atributů odvozených v konkrétním měřítku (Behrens et al., 2018b). Například při využití příliš detailního DMT můžeme uvažovat v modelech pouze místní sklon závislý na konkrétních nerovnostech v místě, nicméně z hlediska půdotvorných podmínek může mít na vývoj zásadnější vliv sklon širšího okolí (údolí, svah). Dle nejnovějších studií je doporučováno využití Gaussovského měřítkového prostoru kvůli jeho konceptuální jednoduchosti a snadné implementaci. V projektu byl použit smíšený přístup tvorby oktáv (Gaussovských pyramid) dle Behrens et al. (2018c). Kromě kovariátů v základním zvoleném rozlišení 20 m bylo pro každý vypočítáno pět úrovní tzv. oktáv. Ilustrace metody je na obrázku 7 v části D. Zpracování oktáv proběhlo v prostředí R a QGIS. Princip přístupu je vysvětlen na příkladu první oktávy.

Nejprve byl rastr DMT shlazen Gaussovým filtrem. Následně bylo sníženo rozlišení (*dowscaling*) na polovinu rastru vymazáním všech sudých řádků a sloupců. Takto upravený rastr byl zapsán do formátu TIFF se stejným prostorovým rozsahem jako originální DMT. To vedlo ke snížení prostorového rozlišení na dvojnásobek (40 m). Z takto upraveného rastru DMT

byly vypočteny výše uvedené deriváty GIS nástroji. Každý kovariát byl pak převzorkován (*upscaling*) zpět na původní úroveň 0 s rozlišením 20 m. Nejprve byly přidány vymazané sudé řádky a sloupce s hodnotou 0. Poté byl celý rastr opět shlazen stejným Gaussovým filtrem, vynásoben čtyřmi (kvůli kompenzaci vložených nulových hodnot) a zapsán do TIFF. Tím vznikl kovariát první oktávy, s původním rozlišením vstupního DMT.

Pro výpočet ostatních oktáv byl *dowscaling* a *upscaling* prováděn opakovaně. Pro druhou oktávu byl rastr DMT úrovně 1 s polovičním počtem sloupců a řádků (s rozlišením 40 m) opět shlazen filtrem, byly vymazány sudé řádky a sloupce a výsledek roztažen na původní rozsah (s výsledným rozlišením 80 m). Po výpočtu kovariátů úrovně 2 v GIS do nich byly přidány sudé

řádky a sloupce s nulovými hodnotami, proběhlo shlazení filtrem (zpět na úroveň 1 s rozlišením 40 m), znovu přidány nulové řádky a sloupce a proběhlo druhé shlazení filtrem na úroveň 0 (s původním rozlišením 20 m). Analogicky byly zpracovány další oktávy.



Obr. 7: Porovnání přístupů ke škálování (upraveno dle: Behrens et al. 2018c). V projektu využít přístup D.

Tab. 7: kovariáty skupiny R, zpracovány vždy v pěti oktávách

<b>kovariát</b>	<b>software, nástroj</b>	<b>označení</b>
Nadmořská výška	-	R_ELEV_OC0 - R_ELEV_OC5
Expozice	GRASS GIS, r.slope.aspect	R_ASPECT_OC0 - R_ASPECT_OC5
Sklon	GRASS GIS, r.slope.aspect	R_SLOPE_OC0 - R_SLOPE_OC5
Profilové zakřivení povrchu (profile curvature)	GRASS GIS, r.slope.aspect	R_CURVPROF_OC0 - R_CURVPROF_OC5
Tangenciální zakřivení povrchu (tangencial curvature)	GRASS GIS, r.slope.aspect	R_CURVTANG_OC0 - R_CURVTANG_OC5
Akumulace odtoku (flow accumulation)	GRASS GIS, r.watershed	R_FLOWACC_OC0 - R_FLOWACC_OC5
Směr odtoku (Flow path)	GRASS GIS, r.flow	R_FLOWPATH_OC0 - R_FLOWPATH_OC5
LS faktor (Weltz et al. 1987)	GRASS GIS, r.watershed	R_LSFACOR_OC0 - R_LSFACOR_OC5
S faktor	GRASS GIS, r.watershed	R_SFACTOR_OC0 - R_SFACTOR_OC5
Vícerozměrný index plochosti údolí (multi resolution valley bottom flatness index)	GRASS GIS, r.valley.bottom	R_MRVBFI_OC0 - R_MRVBFI_OC5
Topografický index terénu (Topographic position index)	QGIS, TPI	R_TPI_OC0 - R_TPI_OC5
Vlhkostní index terénu (Topographic wetness index)	GRASS GIS, r.watershed	R_TWI_OC0 - R_TWI_OC5
Index síly toku (Stream power index)	GRASS GIS, r.watershed	R_SPI_OC0 - R_SPI_OC5

## Kovariáty skupiny N (prostorová pozice)

Prostorová pozice se liší od ostatních SCORPAN faktorů tím, že se jedná o souřadnice, které samy o sobě nereflakují environmentální prostředí. Prostorová pozice tak není přímo půdotvorným faktorem, nýbrž pouze informačním zdrojem, který umožňuje neopomenutí prostorové závislosti (autokorelace) půdních charakteristik, která není zahrnuta v ostatních proměnných. Pro mapování zrnitosti byl použit přístup Hengla et al. (2018), kteří tvoří obalové zóny okolo trénovacích bodů, nebo jejich skupin (tzv. buffer distance map) a počítají rastrové mapy vzdáleností jednotlivých bodů. Touto metodou vzniká velké množství map (jedna pro každou sondu). Pokud modelujeme spojitou proměnnou jako zrnitostní frakci, je možné trénovací sondy rozdělit do kvantilových tříd dle hodnot modelované proměnné. Pro každou z tříd jedné frakce se vypočítá rastrová mapa vzájemných vzdáleností jednotlivých sond dané třídy. V projektu byly sondy pro každou zrnitostní frakci rozděleny do 20 kvantilů po 5 %. Vzniklo tak 20 kovariátů označených N\_frakce\_Q\_číslo (např. pro modelování jílu N\_CLAY\_Q\_3).

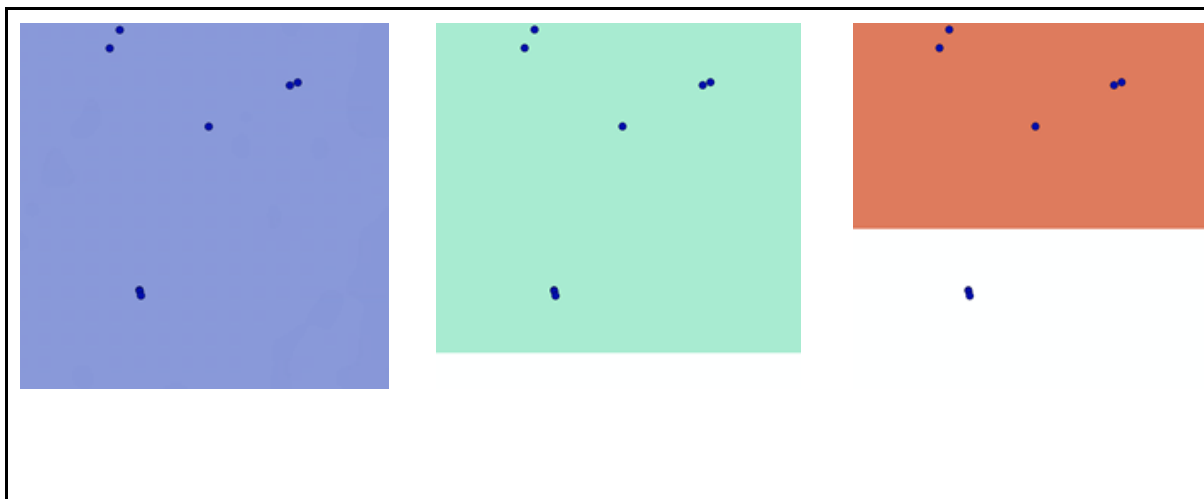
## Vyčtení kovariátů

Vyčtení kovariátů k sondám probíhalo pro historické a NIL II sondy zvlášť.

Vzhledem k poskytovatelem zneřádněné poloze sond NIL II nebylo možné vyčíst kovariáty projektovým týmem a muselo být provedeno na pracovišti ÚHÚL na originální bodové vrstvě ve správných souřadnicích. Metodika byla na obou pracovištích sjednocena. Vyčtení kovariátů proběhlo v prostředí ArcGIS použitím funkce Extract Multi Values to Points. Výsledkem je csv soubor s unikátním identifikátorem sondy a hodnotami všech kovariátů. Po vyčtení kovariátů byly oba datové soubory spojeny do jednoho a napojeny k datům zrnitosti.

Kovariáty skupiny R ve vyšších oktávách mají useknutý rozsah na hranicích ČR. Vyplývá to z metodiky zpracování. Sondám ležícím mimo území kovariátu byla přiřazena hodnota z nejbližší nižší oktávy.

Některé sondy leží mimo lesní půdy vymezené vrstvou lesních typů či půdních typů. Jedná se celkem o 271 sond. Tyto sondy jsou z datového souboru vymazány. Finální soubor s kompletními daty zrnitosti i kovariátů obsahuje 8 496 sond.



Obr. 8: Ukázka rozdílného rozsahu kovariát v různých oktávách (profile curvature, zleva oktáva 3, oktáva 4, oktáva 5). Oktáva 5 nezahrnuje všechny sondy.

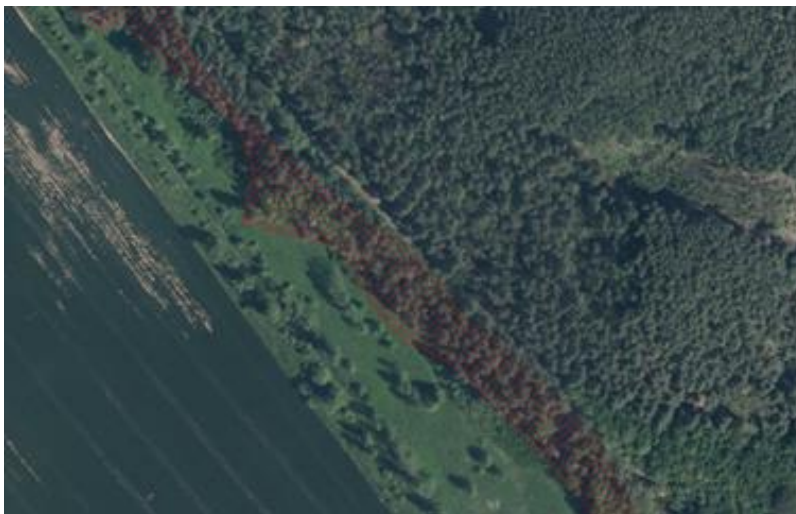
#### 4.4.4 Propojení map na zemědělské a lesní půdě

V předchozím textu jsou zmiňovány pouze mapy půdních charakteristik na zemědělské nebo lesní půdě. Tyto dvě mapy však nepokrývají beze zbytku celou plochu ČR a vytvoření bezešvé mapy tak bude vyžadovat další dodatečné operace. V roce 2020 byla provedena úvodní analýza mapující překryvy a nedokryvy obou jmenovaných map. Úplná metodika jejich psjoování a vyplňování nedokryvů bude závislá i na výsledcích samotného mapování, kdy bude nutné řešit nehomogeity na hranicích - např. ostré přechody zrnitosti na hranicích zemědělské a lesní půdy.

#### Překryvy zemědělské a lesní půdy

DMP na zemědělské půdě proběhlo na prostorových jednotkách vymezených původními mapami Komplexního průzkumu půd. Jejich rozsah tedy plně reflektuje rozsah zemědělské půdy v šedesátých letech 20. století. Oproti tomu k mapování lesních půd budou použity polygony Lesních typů, které jsou neustále aktualizované, neboť se jedná o živý, stále využívané mapové dílo. Při prostorové analýze rozsahu obou datových vrstev bylo nalezeno přes 500 000 polygonů překryvu. 100 000 z nich přitom tvoří drobné polygony do 100 m<sup>2</sup>, což je zanedbatelná velikost vzhledem k rozlišení DMP (1 pixel 20 x 20 m odpovídá 400 m<sup>2</sup>). Výměra zbylých přesahů pokrývá v souhrnu 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 obrázku 9, a jsou důsledkem samovolného i cíleného rozšiřování lesa na úkor původně zemědělsky využívané půdy. Mezi překryvy se však nachází plošně rozsáhlé plochy, jako jsou zejména podhorské části hraničních hor (Krkonoše / Šumava), ale i větší cíleně zalesněné celky ve vnitrozemí.





Obr. 9: Červenou šrafovou vyznačený překryv plošného vymezení zemědělské půdy z 60. let a současné klasifikace jako lesní půdy.

## Nezmapovaná území

Kromě překryvů datasetů zemědělské a lesní půdy byly analyzovány plochy, kde mapování půd nebylo nikdy systematicky prováděno. Kromě polygonů obou těchto převládajících skupin půdního pokryvu byly ze zbytkových ploch odstraněny plochy velkých měst, velkých vodních nádrží a bažin či močálů (dle datasetu z ArcČR). Po zanedbání polygonů do 100 m<sup>2</sup> zůstává 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 rozměrné plochy, kde bude nutné rozhodnout, zda a jakým způsobem bude informace o půdních charakteristikách doplněna. Jedná se např. o vojenské újezdy nebo plochy povrchových dolů. K těmto plochám bude zřejmě nutné přistupovat individuálně dle jejich původu a charakteru a nelze vyloučit, že některé z nich zůstanou ve výsledné celistvé mapě neklasifikovány.

### 4.4.5 publikace výsledků, WPS server

V roce 2020 byly v oblasti publikace výsledků provedeny přípravné práce. Bylo rozhodnuto poskytovat výsledky DMP formou WPS a WMS služeb. WMS nesou pouze obrazovou informaci a umožní uživateli vizualizaci výsledných mapových výstupů ve vlastních mapových kompozicích. WPS je služba, která umožňuje přístup ke kvalitativním informacím daných objektů a lze z takto poskytovaných dat umožnit uživatelům získávat konkrétní data. Konkrétně bude uživatelům umožněn výběr a stažení dat pro vlastní analýzy, např. pro dimenzování vodohospodářských opatření v krajině při projekci SZ KPÚ. S těmito službami mají řešitelé na ČVUT zkušenosti z předchozích projektů (viz [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz)). V rámci aktivit ČVUT v Praze byly v roce 2020 upravovány WPS služby v souvislosti s přechodem open source GIS - GRASS na nativní programovací jazyk Python 3. Dále byly navýšeny kapacity výpočetního serveru rain1 poskytujícího stávající služby (šestinásobný počet výpočetních jader a čtyřnásobná paměť RAM) tak, aby na něm mohli být v budoucnu poskytovány služby poskytující výsledná data tohoto projektu.

#### 4.5 AKTIVITA 6-1 Tvorba a publikace článku o postupech a výsledcích projektu

Na listopad 2020 bylo plánováno zahájení přípravy článku do českého recenzovaného časopisu, který má shrnovat postupy a výsledky tohoto projektu. Kvůli mírnému zpoždění s obstaráním všech nezbytných datových podkladů pro digitální mapování a další aktivity byla příprava článku odsunuta do začátku roku 2021. Část článku popisující metodiku bude moci být z velké části převzata z této odborné zprávy.

## 5. Aktivity plánované na rok 2021

V posledním roce řešení budou nejprve uzavřeny zpožděné aktivity A7-2 a A7-4, čímž bude prakticky dosažen výsledek V7 (databáze půdních charakteristik). Pokračovat bude aktivita A1-1 a zahájeny budou další dvě aktivity A1-2 a A6 týkající se výsledků V1 (odvození hydroopedologických map) a V6 (Odborný článek). Před koncem řešení proběhne aktivita A8 svázaná s posledním výsledkem V8 (Souhrnná zpráva). V roce 2021 tedy budou řešeny následující aktivity:

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

#### A7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd

V roce 2021 bude dokončeno (VÚMOP) a provedeno (ČVUT) odvození hodnot  $K_s$  z interních databází měření odtoku a infiltrace při polních dešťových simulacích. Připojením k datasetu příslibenému autorským týmem HYPRES CZ vznikne nová širší datová základna pro pokus o odvození specificky české pedotransferové funkce pro  $K_s$  (aktivita 7-4).

#### A7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení $K_s$

V této aktivitě bude navázáno na předchozí výsledky verifikace PTF pro odvození  $K_s$  převzaté z evropské databáze HYPRES. Na datasetu z aktivity 7-2 bude metodou lineárních mixed-effects modelů proveden pokus o odvození nové PTF využitelné mimo jiné v aktivitě 1-1 pro odvození orientační mapy hydraulických vodivostí.

#### A1-1 Odvození celistvé vrstvy hydroopedologických vlastností půd ČR

Na rok 2021 je plánováno dokončení vrstev hydroopedologických vlastností půd ČR. Metodami digitálního mapování půd budou vytvořeny mapy zrnitosti na lesních půdách, pro které byly v roce 2020 připraveny veškeré podklady. Následně budou propojením s mapami odvozenými v jiných projektech (ovšem stejnou metodikou) pro zemědělskou půdu vytvořeny bezešvé mapy procentního zastoupení jílu, prachu a písku a mapy zrnitostních kategorií dle zrnitostního

trojúhelníku TKSP, resp. USDA. Při spojování budou ošetřeny překryvy i nedokryvy obou mapových souborů. Na základě výsledných map map zrnitostí a s využitím dalších atributů bodů půdních sond budou modelovány i další hydropedologické vlastnosti, zejména Hydrologické skupiny půd. Vytvořené datové soubory budou zprostředkovány odborné veřejnosti pomocí WMS a WPS služeb, souběžně k nim bude vytvořen informační webový rozcestník.

#### A1-2 Tvorba a certifikace mapy vybraných hydropedologických charakteristik

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

#### A6 Odborný článek, A8 Tvorba souhrnné zprávy projektu

Tyto aktivity nevyžadují popis metodiky dosažení.

## 6. Komentář k vynaloženým finančním prostředkům, zhodnocení efektivity čerpání vzhledem k cílům projektu

### ČVUT

V roce 2020 byly prostředky čerpány v souladu s podmínkami projektu. Dočerpány byly prostředky ve výši 41 569 Kč převedené do FÚUP z prvního roku řešení. Část finančních prostředků vyčleněná na osobní náklady v roce 2020 byla opět převedena do FÚUP a bude využita v následujícím období. Nevyužití plánované výše osobních nákladů je důsledkem nižšího počtu realizovaných terénních experimentů v důsledku pandemie COVID-19 a nenalezení externího partnera pro sdílení dat, na jejichž přípravu a dodání byla část prostředků vyčleněna. Druhý ze jmenovaných důvodů bude částečně odstraněn v roce 2021 díky navázání spolupráce s týmem na ČZÚ, plánováno je zapojení jednoho nového člena týmu za účelem prací na odvozování PTF.

Z ostatních prostředků byla část financí využita na zakoupení měřicí techniky pro terénní experimenty. Dále byly financovány pracovní cesty a služby (dodávka vody) v průběhu těchto experimentů. V závěru roku byla zakoupena nová pracovní stanice pro nastupujícího studenta doktorského studia, který bude od ledna zapojen do řešení projektu. Z této rozpočtové kapitoly byly dále hrazeny poplatky související s účastí na online konferenci EGU 2020, roční přístup ke školící platformě Datacamp a nakonec drobné spotřební kancelářské zboží. Velká část plánovaných ostatních prostředků nebyla v roce 2020 využita z důvodů omezených možností účasti na konferencích a výjezdů na terénní měření v důsledku pandemie COVID-19. Celkem spolu s přebytky osobních nákladů bylo do FÚUP převedeno 20,8 % poskytnuté podpory.

## 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 aktivitou číslo 1.1. na služby ÚHÚL a

pořízení poměrné části geologických dat dle využití v tomto projektu. Dále bylo z projektu částečně hrazeno školení manažerských dovedností v souvislosti s vedením projektu řešitelkou. V neposlední řadě byly hrazeny cestovní výdaje v souvislosti s aktivitou 7.2. Část nákladů byla převedena do FÚÚP, především z důvodu omezených možností cestování.

## 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

Pracoviště ČVUT v Praze se do řešení projektu zapojilo kromě řízení týmu a koordinace aktivit především při řešení aktivity 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd. Vedlo komunikaci s třetími stranami za účelem zajištění spolupráce a výměny dat, naplánovalo a realizovalo tři terénní experimenty a pokračovalo v digitalizaci a doplnění interní databáze měření s dešťovým simulátorem. 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 zneprávněných bodových datech. Záměr a hlavní metody projektu prezentovalo na online konferenci EGU Online 2020.

Pracoviště VÚMOP se soustředilo především na aktivity 1-1 Odvození celistvé vrstvy hydropedologických vlastností půd ČR, 7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě a rešerši v aktivitě 7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks. Na aktivitě 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd se podílelo v rámci dvou terénních výjezdů.

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

Schůzky řešitelů ze všech tří pracovišť se v roce 2020 nekonaly. Jedním z důvodů byla nepříznivá situace v důsledku pandemie COVID-19. Dvoustranné schůzky konané nepravidelně

v osobní i online podobě za účelem řešení specifických úkolů se ukázaly jako postačující. Prakticky nepřetržitě probíhala elektronická komunikace pro koordinaci dílčích aktivit, reportování postupu a vyjasnění dílčích aktivit drobného rozsahu. Společně se týmy ČVUT a VÚMOP zúčastnily dvou ze tří terénních experimentů.

### 7.1 Komentář k řešitelskému týmu

Do řešitelského kolektivu byly zapojeny klíčové osoby podle návrhu projektu. V týmu ČVUT zapojené Ing. L. Weyskrabové, Ph.D. byl snížen plánovaný úvazek z důvodu zvýšených rodinných povinností akcelerovalých pandemií COVID-19. Týmy ostatních řešitelů zůstaly ve stejném složení jako v prvním roce řešení.

## 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 druhém roce řešení pokračovala úzká spolupráce mezi zapojenými pracovišti, a to nejen při předávání datových podkladů a vyjasňování metodiky zpracování jednotlivých aktivit, ale i při terénních experimentech. Řešitelský tým je gendrově 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 vědečtí 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 2020 mírně zkomplikován pandemií COVID-19, která zvýšila časovou náročnost péče o rodinu a ztížila podmínky k práci.

## 9. Reference

- Behrens, T., K. Schmidt, R. A. MacMillan, and R. A. Viscarra Rossel. 2018. "Multiscale Contextual Spatial Modelling with the Gaussian Scale Space." *Geoderma* 310 (July 2017): 128–37. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.015>.
- Behrens, T., K. Schmidt, R. A. Viscarra Rossel, P. Gries, T. Scholten, and R. A. MacMillan. 2018. "Spatial Modelling with Euclidean Distance Fields and Machine Learning." *European Journal of Soil Science* 69 (5): 757–70. <https://doi.org/10.1111/ejss.12687>.
- Beitlerová, H., Novotný, I., Lang, J., Kapička, J., & Žížala, D. (2017). *Potenciální retence zemědělské půdy v ČR. Mapa se specializovaným obsahem*. Mapa Se Specializovaným Obsahem, Projekt MZe NAZV QK1720289.
- Beitlerová, H., Lenz, J., Devátý, J., Mistr, M., Kapička, J., Buchholz, A., Gerndtová, I., & Routschek, A. (2020). Improved calibration of Green-Ampt infiltration in the EROSION-2D/3D model using a rainfall-runoff experiment database. *SOIL Discussions*, 2020, 1–19. <https://doi.org/10.5194/soil-2020-62>

- Breiman, L., J. H. Friedman, R. A. Olshen, and C. J. Stone. 1984. "Classification and Regression Trees." *Biometrics* 40 (3): 874. <https://doi.org/10.2307/2530946>.
- Hastie, Trevor, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. 2009. *The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction*. 2nd ed. Springer.
- Hengl, Tomislav, Madlene Nussbaum, Marvin N. Wright, Gerard B.M. Heuvelink, and Benedikt Gräler. 2018. "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, Gareth, Daniela Witten, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani. 2013. *An Introduction to Statistical Learning with Application in R*. New York: Springer New York. <https://doi.org/978-1461471370>.
- Kavka, P., Strouhal, L., Jáchymová, B., Krása, J., Báčová, M., Laburda, T., ... Bauer, M. (2018). *Double size fulljet field rainfall simulator for complex interrill and rill erosion studies*. *Stavební Obzor - Civil Engineering Journal*, 27(2), 183–194. <https://doi.org/10.14311/CEJ.2018.02.0015>
- McBratney, A. B., M. L. Mendonça Santos, and B. Minasny. 2003. On Digital Soil Mapping. *Geoderma*. Vol. 117. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).
- Miháliková, M., Matula, S., & Doležal, F. (2013). HYPRESCZ - Database of soil hydrophysical properties in the Czech Republic. *Soil and Water Research*, 8(1), 34–41.
- Němeček, J., Rohošková, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., & Novák, P. (2011). *Taxonomický klasifikační systém České Republiky* (2nd ed.). ČZU v Praze.
- Šercl, Petr. 2008. "Hodnocení Metod Odhadu Plošných Srážek." *Meteorologické Zprávy* 61 (2).
- United States Department of Agriculture. 1987. "USDA Textural Soil Classification." *Soil Mechanics Level I Module 3 - USDA Textural Soil Classification*.
- 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 (Tucson, AZ, 12-16 Oct. 1987).
- Wösten, J. H. M., Lilly, A., Nemes, A., & Le Bas, C. (1998). *Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning*.
- Žížala, Daniel, Robert Minařík, Anna Juřicová, Tereza Zádorová, Hana Beitlerová, and Vít Penížek. 2020. "Soubor Detailních Map Půdních Vlastností ČR - Zemědělské Půdy." Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i.
- Žížala, Daniel, Robert Minařík, R. Vašát, Jan Skála, Anna Juřicová, Zádorová Tereza, Vít Penížek, and Hana Beitlerová. 2020. *Tvorba Půdních Map Pedometrickými Metodami*. Edited by Daniel Žížala. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i.