

Odborná zpráva projektu TJ02000234 za rok 2019

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 2019 - shrnutí

Řešení projektu bylo zahájeno v červnu 2019. Cílem pro první rok řešení, respektive do konce roku 2019, bylo provedení rešerše dostupných datových zdrojů relevantních pro projekt a metodik jejich vzniku, získání klíčových dat o fyzikálních a hydropedologických vlastnostech lesních půd a zahájení jejich harmonizace s půdními daty pro zemědělskou půdu. Zároveň mělo být zahájeno shromažďování dat o hydraulických vodivostech půd na území ČR a provedena rešerše o aktuálních přístupech v oblasti pedotransferových funkcí. Podrobně jsou provedené činnosti a jejich výsledky rozvedeny dále v této zprávě u kapitoly shrnující aktivity prvního roku řešení.

3. Výstupy / výsledky projektu

V projektu jsou plánovány celkem čtyři výsledky. Vzhledem k délce řešení projektu mají všechny termín realizace až v roce 2021. Všechny aktivity zahájené v roce 2019 směřují pouze k výsledku V7, pro přehlednost zde však budou shrnuty všechny plánované výsledky projektu. Uvedená čísla výsledků odpovídají značení v podaném Návrhu projektu a z technických důvodů netvoří nepřerušenu řadu. Pro snadnější čitelnost a logickou návaznost 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.

4. Aktivity v prvním roce řešení

V prvních sedmi měsících řešení bylo plánováno zahájení řešení tří aktivit vázaných na jediný ze čtyř cílů projektu: V7 - Databáze hydrologických charakteristik půd.

- Aktivita 7-1 Rešerše a kompletace datových podkladů a metodik,
- Aktivita 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd,
- Aktivita 7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě.

4.1 AKTIVITA 7-1 Rešerše a kompletace datových podkladů a metodik

Rešeršní aktivita 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 hydrologickou charakteristiku - a fyzikální vlastnosti půd, zejména zrnitosti, a hydraulickou vodivost.

4.1.1 Hydrologické skupiny půd

Originální metodika USDA NRSC (SCS)

Koncept zařazení půd do hydrologické skupiny půd (platná metodika USDA NRSC, 2009) byl vytvořen americkou půdoochrannou službou SCS (Soil Conservation Service), předchůdcem dnešní USDA NRSC (United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service) pro stanovení CN křivek, které se využívají k odvození přímého odtoku ze srážek (USDA NRSC, 2004). Metodika definuje 4 hydrologické skupiny půdy, A, B, C, D na základě podobných fyzikálních a odtokových vlastností. Metodiku CN křivek využívající informace o hydrologické skupině půdy (dále HSP) využívají nejběžnější výpočetní metody a nástroje v hydrologické inženýrské praxi. Dle metodiky je HSP určena na základě propustné vrstvy půdního profilu s nejmenší nasycenou hydraulickou vodivostí, hloubky nepropustné vrstvy či hladiny podzemní vody. Data nasycené hydraulické vodivosti nejsou vždy dostupná. V tom případě jsou pro určení pohybu vody v půdě použity jiné půdní parametry jako zrnitost půdy, objemová hmotnost, stabilita půdní struktury, mineralogie jílových částic či obsah organického materiálu. Určení HSP dle metodiky USDA NRSC je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1: Kritéria pro zařazení do HSP dle USDA NRSC, (2009).

Depth to water impermeable layer ^{1/}	Depth to high water table ^{2/}	K _{sat} of least transmissive layer in depth range	K _{sat} depth range	HSG ^{3/}
<50 cm [<20 in]	—	—	—	D
50 to 100 cm [20 to 40 in]	<60 cm [<24 in]	>40.0 µm/s (>5.67 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	A/D
		>10.0 to ≤40.0 µm/s (>1.42 to ≤5.67 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	B/D
		>1.0 to ≤10.0 µm/s (>0.14 to ≤1.42 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	C/D
		≤1.0 µm/s (≤0.14 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	D
	≥60 cm [≥24 in]	>40.0 µm/s (>5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	A
		>10.0 to ≤40.0 µm/s (>1.42 to ≤5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	B
		>1.0 to ≤10.0 µm/s (>0.14 to ≤1.42 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	C
		≤1.0 µm/s (≤0.14 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	D
>100 cm [>40 in]	<60 cm [<24 in]	>10.0 µm/s (>1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	A/D
		>4.0 to ≤10.0 µm/s (>0.57 to ≤1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	B/D
		>0.40 to ≤4.0 µm/s (>0.06 to ≤0.57 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	C/D
		≤0.40 µm/s (≤0.06 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	D
	60 to 100 cm [24 to 40 in]	>40.0 µm/s (>5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	A
		>10.0 to ≤40.0 µm/s (>1.42 to ≤5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	B
		>1.0 to ≤10.0 µm/s (>0.14 to ≤1.42 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	C
		≤1.0 µm/s (≤0.14 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	D
>100 cm [>40 in]	>10.0 µm/s (>1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	A	
	>4.0 to ≤10.0 µm/s (>0.57 to ≤1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	B	
	>0.40 to ≤4.0 µm/s (>0.06 to ≤0.57 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	C	
	≤0.40 µm/s (≤0.06 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	D	

1/ An impermeable layer has a K_{sat} less than 0.01 µm/s [0.0014 in/h] or a component restriction of fragipan; duripan; petrocalcic; orstein; petrogypsic; cemented horizon; densic material; placic; bedrock, paralithic; bedrock, lithic; bedrock, densic; or permafrost.

2/ High water table during any month during the year.

3/ Dual HSG classes are applied only for wet soils (water table less than 60 cm [24 in]). If these soils can be drained, a less restrictive HSG can be assigned, depending on the K_{sat}.

Vývoj metod stanovení HSP v České republice

Stanovením hydrologické skupiny půdy zejména na zemědělské a částečně i lesní půdě se na našem území v nedávné době zabývali například Janeček et al. (2012) či Šercl (2005). Oba autoři považují za nejdůležitější parametr ovlivňující hydrologické vlastnosti půdy infiltrabilitu, propustnost. Zatímco Janeček odvodil HSP pouze na základě infiltračních charakteristik půdy, Šercl uvádí, že propustnost je nejdůležitějším parametrem pouze v rovinatém a mírně svažitém území a ve složitějším reliéfu s většími sklony již hrají velkou roli i retenční vodní kapacita a gravitační síly. Janeček a jeho předchůdci vycházeli z databáze BPEJ, kde je každé hlavní půdní jednotce přiřazena kategorie nasycené hydraulické vodivosti K_s . Samotná vodivost však není neměnným parametrem, ale je dána souborem stálých i proměnlivých vlastností půdy, jako jsou fyzikální vlastnosti matrice, přítomnost a působení edafonu, klimatické podmínky, zhutnění půdy samovolně i vlivem mechanizace, aktuální stav vegetace, a dalšími faktory.

Tab. 2: Hydrologické půdní skupiny zemědělských a lesních půd ve vztahu k BPEJ dle typické rychlosti infiltrace a retenční vodní kapacity (Kulasová, Šercl, Boháč, 2004)

HSP	Skupina zem. a lesních půd	Rámcová zrnitostní charakteristika	RVK [$l \cdot m^{-2}$]	zařazení HPJ dle RVK	Rychlost infiltrace [$mm \cdot min^{-1}$]	zařazení HPJ dle infiltrace
A	1	p, hp	Nízká < 60	04, 17, 21, 31, 37, 38, 39, 40, 55	Vysoká > 2,5	04, 05, 17, 21, 31, 32, 55
	1.1	dtto + skelet, lesní půdy	Nízká < 35			
B	2	ph	Nižší střední 60 - 140	05, 13, 18, 22, 23, 27, 29, 30, 32, 34, 36, 41, 48, 51	Vyšší střední 0,83 – 2,5	13, 16, 22, 27, 29, 30, 34, 36, 37, 38, 40, 41
	2.1	dtto + skelet, lesní půdy	Nižší střední 35 - 80			
	3	h	Vysoká 220 - 320	01, 02, 03, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 26, 28, 33, 35, 42, 45, 46, 56	Střední 0,08 – 0,83	01, 02, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 42, 43, 56, 60
	3.1	dtto + skelet, lesní půdy	Vysoká 130- 210			
C	4	jh	Vyšší střední 150-220	06, 19, 24, 25, 43, 44, 47, 50, 52, 58, 60, 64, 65, 75, 76, 77, 78	Nižší střední 0,025 – 0,08	03, 06, 23, 39, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 57, 58, 62, 64, 65, 75, 77, 78
	4.1	dtto + skelet, lesní půdy	Vyšší střední 90-130			
D	5	ju, j	Střední 140-150	07, 20, 49, 53, 54, 57, 59, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74	Nízká < 0,025	07, 20, 49, 53, 54, 59, 61, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76
	5.1	dtto + skelet, lesní půdy	Střední 80-90			

Tento zjednodušený přístup kategorizace půd pouze na základě infiltračních rychlostí byl zpochybněn v projektu QD 1368 (Kulasová, Šercl, & Boháč, 2004) a jsou zde patrné dva rozdílné přístupy. Řešitelé z VÚMOP klasifikují půdy do pěti skupin, přičemž jako zvláštní podskupiny vyčleňují zemědělské půdy s vyšším obsahem skeletu a k nim přiřazují i půdy lesní. Přiřazení HSP těmto pěti, resp. deseti půdním skupinám je uvedeno v tabulce 2. Provedeno bylo u zemědělských půd podobně jako v Janečkově metodice pro každou hlavní půdní jednotku (HPJ) na základě rychlostí infiltrace, liší se však v jejich limitech. Na lesní půdě vychází pro nedostatek údajů z rámcových zrnitostních charakteristik a klasifikace hydrogeologických substrátů (Tomášek, 2002) do pěti tříd. K nim je přiřazena HSP dle tabulky 3. Limity infiltračních rychlostí pro zemědělskou a lesní půdu autoři nerozlišují a poněkud nejasně uvádí, že se jedná o počáteční rychlosti, nikoliv o stav blízký nasycení, což je pravděpodobně důvodem k rozdílným hodnotám oproti Janečkovi. Součástí klasifikace jsou už nad rámec Janečkova přístupu i hodnoty retenční vodní kapacity (RVK), přičemž u nich už jsou uvedeny rozdílné hodnoty pro lesní a skeletovité zemědělské půdy, kde jsou uvedené hodnoty ztelně nižší. Z tabulky 2 je patrné, že přiřazení HSP pouze při znalosti HPJ (respektive BPEJ) není jednoznačné, neboť při zohlednění průměrné infiltrační rychlosti může být daná půdní jednotka zařazena do jiné HSP než na základě její RVK. Jak s touto nejednoznačností naložit, autoři neuvádí.

Tab. 3: Zatřídění lesních půd do HSP podle půdotvorného substrátu (Novák, 2007)

Třída půdotvorného substrátu	Rychlost infiltrace	Hydrologická půdní skupina
1	vysoká	A
2	vyšší střední	B
3	střední	B
4	nižší střední	C
5	nízká	D

Druhý přístup volí ve stejné práci řešitelé z ČHMÚ, kteří v práci argumentují tím, že i relativně propustná půda ovšem s nízkou hodnotou RVK je z hlediska potenciálu pro tvorbu povodňových odtoků nepříznivá. Využívají pak hodnoty RVK pro modifikaci výsledné klasifikace HSP původně pouze na základě propustnosti půd. Tento přístup ještě dále rozpracoval Šercl (2005), který zohledňuje pro klasifikaci HSP celkem tři faktory – rychlost infiltrace, RVK a sklonitost terénu. Z předchozí práce převzal a upravil klasifikaci na základě prvních dvou faktorů do výsledné podoby uvedené v tabulce 4. Patrné jsou dramatické rozdíly v přiřazení dle rychlosti infiltrace a RVK od jedné až po celé tři třídy HSP.

Třetí faktor - sklon území využívá Šercl pro jednoduchou klasifikaci dle tabulky 5. O kombinaci tří uvedených přístupů do jediné klasifikaci půd do HSP se však autor nepokouší, místo toho vytváří tři paralelní mapy HSP pro každou metodu a ty využívá pro následné odvození opět tří vrstev čísel odtokových křivek CN a teprve ty kombinuje do jediné výsledné mapy. V ní uvažuje maximální hodnotu CN ze dvou čísel - CN dle první metody (infiltrační rychlosti) a průměrné CN ze všech tří metod.

Tab. 4: Hydrologické skupiny půd dle rychlostí infiltrace a RVK (Šercl, 2005)

Skupina půd (dle VÚMOP)	RVK [mm]	Rychlost infiltrace [mm.min-1]	HSP dle infiltrace	HSP dle RVK
1	60	> 2.5	A	D
1.1	35			D
2	140	0.83 - 2.5	B	B
2.1	80			C
3	320	0.08 - 0.83	B	A
3.1	210			A
4	220	0.025 - 0.08	C	A
4.1	130			B
5	150	< 0.025	D	B
5.1	90			C

Tab. 5: HSP dle sklonitosti území (Šercl, 2005)

Průměrný sklon [%]	HSP
0 - 2	A
2 - 5	B
5 - 10	C
> 10	D

Primárním zdrojem pro odvození retenční vodní kapacity a infiltračních charakteristik ve výše popsaných pracích byla zrnitost půdy. Jak už bylo výše uvedeno, rychlost infiltrace, resp. hydraulická vodivost půdy závisí na mnoha dalších stálých i proměnlivých vlastnostech půdy. Z fyzikálních vlastností jde hlavně o pórovitost, respektive objem nekapilárních pórů a stabilitu

agregátů. Podíváme-li se podrobněji na tyto faktory, zjistíme, že jsou většinou výrazně ovlivněny zrnitostním složením půdy. Zhutnění půdy dle Jandák, Pokorný, & Prax (2010) závisí na zrnitosti, struktuře a vlhkosti zemin. Pórovitost půdy dle Matula (1989) závisí na zrnitosti, obsahu humusu, struktuře apod. Struktura půdy (tvorba agregátů) závisí na obsahu humusu a zrnitostním složení.

Beitlerová, Novotný, Lang, Kapička, & Žížala (2017) navázali na metodiku výše zmíněných autorů při tvorbě mapy potenciální retence, ovšem místo sekundárně odvozené infiltrace a retence půdy byla využita dostupná data o zrnitosti půdy, tedy kartogramy zrnitosti v měřítku 1:50 000. Aby byl zohledněn fakt, že ve svažitéjším terénu se kromě samotných charakteristik půdního profilu začínají na hydrologických vlastnostech půdy významně podílet gravitační síly, byla podobně jako u Šercla (2005) hydrologická skupina půdy odvozena paralelně na základě dvou parametrů, a to zrnitostního složení a sklonitosti. Z obou vrstev HSP vznikly následně vrstvy čísel odtokových křivek CN, které byly skombinovány do jedné jako maximum ze dvou hodnot: CN podle zrnitosti půdy a průměrné hodnoty CN určené dle obou použitých kategorizací. Samostatná kombinovaná vrstva HSP nebyla vytvořena.

Pro určení HSP na základě zrnitostního složení se využívají kartogramy zrnitosti. Ty rozlišují 7 kategorií dle Novákovy klasifikace znázorněné v tabulce 6. Hydrologická skupina půdy byla následně z kartogramů zrnitosti odvozena dle tabulky 2.

Tab. 6: kategorizace zrnitosti půdy dle Nováka

Kategorie	Charakteristika	Označení	Obsah částic < 0,01 mm
1.	Písčitá	p	do 10 %
2.	Hlinitopísčitá	hp	10 – 20 %
3.	Písčitohlinitá	ph	20 – 30 %
4.	Hlinitá	h	30 – 45 %
5.	Jílovitohlinitá	jh	45 – 60 %
6.	Jílovitá	jv	60 – 75 %
7.	Jíl	j	> 75 %

Pro kategorizaci zemědělské půdy do hydrologických skupin půd dle sklonitosti byl použit digitální model terénu 4G (© ČÚZK). Dle metodiky Šercla (2005) byla sklonitost kategorizována do pěti skupin dle tabulky 5.

Nejnovějším počinem na poli HSP je celorepubliková rastrová vrstva pokrývající jak zemědělskou, tak lesní půdu, kterou publikovali Vopravil et al. (2018). Při stanovování HSP vycházeli z původní definice podle USDA (2009), na rozdíl od Šercla tedy neuvažovali RVK ani sklonitost území. V potaz byly brány výskyt vyššího obsahu skeletu, kvalita půdní struktury a hloubka půdy včetně hodnoty K_s stanovené z Kopeckého válečků ve 2-3 horizontech půdního profilu do hloubky 1 m. Datovou základnu pro určení HSP tvoří:

- Systém bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), konkrétně aktuální stav k 1.1.2018. Z BPEJ jsou využity hlavní půdní jednotky (HPJ) a sdružený kód pro popis hloubky a skeletovitosti půdy.
- Hydrogeologická charakteristika půdotvorných substrátů ČR (Tomášek, 2002).

- Databáze půdních sond a rozborů půdy oddělení pedologie a ochrany půdy VÚMOP.
- Databáze terénních měření infiltrace oddělení pedologie a ochrany půdy VÚMOP.

V případě lesních půd použili autoři stejný podklad jako ve výše popsané studii (Kulasová et al., 2004). Jedná se o kvalitativně méně přesný a podrobný podklad než v případě zemědělských půd.

U půdních sond na zemědělské půdě bylo ověřeno zařazení do HPJ a byla získána data popisující nasycenou hydraulickou vodivost do hloubky 1 m. S pomocí kódu BPEJ a taxonomické klasifikace HPJ byla definována hloubka půdního profilu a hloubka hladiny podzemní vody. Jednotlivé HPJ byly následně kategorizovány do HSP na základě metodiky USDA NRSC (2009). Dle metodiky byly některým půdám určeny 2 možné HSP (hydromorfní půdy pro nasycený stav a stav odvodněné půdy, půdy s heterogenní zrnitostí)

V rámci rešeršní činnosti bylo na zemědělské půdě provedeno srovnání nově odvozených HSP (Vopravil, 2018) a nejčastěji využívaným způsobem přiřazení HPJ podle platné metodiky protierozní ochrany, která je doporučena SPÚ (Janeček, 2012). Pro analýzu byla využita celorepubliková vrstva BPEJ (verze z února 2018) překlasifikovaná na HSP. Nový stav na základě publikované rastrové vrstvy byl identifikován pro centroidy polygonů BPEJ. Změny v plošném zastoupení jednotlivých HSP uvádí tabulka 7 a je patrné, že se jedná o značné změny.

Tab.7: Rozdíly v plošném zastoupení HSP na území ČR dle použitého datového podkladu

HSP	Zastoupení dle Janečka (2012)		Zastoupení dle Vopravila (2018)	
A	4.427 km ²	9 %	7.305 km ²	15 %
B	30.177 km ²	60 %	18.881 km ²	38 %
B/D	-	-	812 km ²	2 %
C	9.926 km ²	20 %	14.033 km ²	28 %
C/D	-	-	101 km ²	0,2 %
D	5.563 km ²	11 %	8.960 km ²	18 %

Podrobnější pohled na změny v HSP ukazuje tabulka 8. Z ní je patrné, že ke změně zařazení do HSP došlo na 35 % rozlohy zemědělské půdy, z toho téměř na 25 % byly nově klasifikovány hůře propustné podmínky. Změny se významně dotkly 35 kódů HPJ celkem ze 78, u dalších se jedná o významné změny z důvodu jejich většího zastoupení.

Tab.8: Změny v HSP a jejich plošný podíl na ZPF v ČR podle Vopravila (2018) oproti Janečkovi (2012)

beze změny	65 %	C → B	1,1 %
A → B	1 %	C → B/D	1,1 %
B → A	6,6 %	C → D	5,8 %
B → C	16 %	D → B/D	0,5 %
B → D	1,7 %	D → C/D	0,2 %
C → A	0,2 %		

Stanovení HSP na lesní půdě

Již zde bylo zmíněno, že v nejnovější publikované celorepublikové vrstvě HSP (Vopravil, 2018) byly hydrologické skupiny na lesní půdě odvozeny pouze obecně na základě kvalitativní klasifikace půdotvorných substrátů (Tomášek, 2002). Odlišný přístup byl paralelně vypracován na Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL). V rámci tvorby systému komplexního hodnocení půdních služeb (Janderková, 2000) byly hodnoceny zemědělské i lesní půdy z hlediska řady ekosystémových funkcí, mimo jiné funkce hydrické. Hodnotící jednotkou byl půdní typ na úrovni subtypu, který ovšem sám o sobě bez bližší charakteristiky klimatu, expozice, nadmořské výšky byl shledán pro systém komplexního hodnocení půd jako nevyhovující. Požadavkem metodiky bylo ošetřit klasifikační půdní jednotku vazbou na typ geobiocenózy, tj. na úroveň lesního typu (LT), resp. souboru lesních typů (SLT) či SLT agregované na úroveň cílových hospodářských souborů (HS).

Pro kvantifikaci hydrické funkce lesních půd bylo vymezeno 7 typů vodního režimu lesní půdy a k nim byly přiřazeny jednotlivé SLT z typologické tabulky. Typy vodního režimu byly následně seřazeny dle charakteru hydrické funkce do pěti stupňů s orientačními hodnotami nasycené hydraulické vodivosti, retenční vodní kapacity a podílu jemnozrné frakce, jak ukazuje tabulka 9. Klasifikace zatím ještě neřešila vztah k HSP a jak se ukázalo při řešení tohoto projektu, publikovaná tabulka obsahovala chybu, která se dále propagovala do některých dalších metodik včetně těch nejaktuálnějších.

Tab. 9: Klasifikace lesních půd dle hydrického funkčního stupně, s chybami ve dvou nejpropustnějších kategoriích. Převzato z: Janderková, 2000

funkční stupeň	funkční interval	funkční kritérium	interakční kritérium		
		typ vodního režimu	hydraulická vodivost	RVK	zrnitost
1	do30	R G	< 0,025	nad 34	nad 45
2	31-45	P	0,025-0,05	30 – 34	31 – 45
3	45-55	V L	0,05-0,12	23 – 30	21 – 30
4	55-70	T2	> 0,25	14 – 23	11 – 20
5	nad 71	T1	0,12 – 0,25	pod 14	pod 10

Hodnocení hydrické funkce lesních půd bylo později využito již k určení HSP a to zatím pouze na základě hrubší klasifikace lesních porostů do Skupin lesních typů (SLT). Publikované tabulky, např. tabulka 10, a převodníky (Podhrázská, 2009) jsou uvedeny bez chyb, ovšem přiřazení SLT k typům vodního režimu se mírně liší od původní metodiky (Janderková, 2000) a je mírně nekompletní, na což naráželi někteří pozdější autoři.

Tab. 10: Přiřazení HSP dle typu vodního režimu lesních půd. Převzato z: Podhrázská, 2009

Stupeň	Typ vodního režimu	Hydraulická vodivost [mm.min ⁻¹]	RVK [%]	Hydrologické skupiny půd
1	G (R)	<0,02	nad 34	D
2	P	0,02 – 0,06	30 – 34	C – D
3	V L	0,02 – 0,06	23 – 30	C
4	T1	0,06 – 0,12	14 – 23	B
5	T2	>0,12	pod 14	A

Pozn.: – hydraulická vodivost při nasycení vodou v mm.min⁻¹,

– RVK - retenční vodní kapacita půdy v % objemových (Macků, 1982)

Přiřazení HSP na základě poměrně velkých celků SLT bylo později rozpracováno do většího detailu při tvorbě syntetické mapy HSP při řešení projektu VG20122015092 a částečně popsáno v průběžné výzkumné zprávě (Macků, 2012a). Další detaily byly získány osobní komunikací řešitele tohoto projektu s autorem práce. Předmětem analýzy byly Oblastní typologické elaboráty (souhrnná díla lesnické typologie charakterizující lesní typy v rámci přírodních lesních oblastí) uložené na pobočkách ÚHÚL, v nich bylo vyhodnoceno na 47.000 typologických zápisů a na 6.000 půdních rozborů obsahující údaje o granulometrii půdních horizontů a terénní měření polní vodní kapacity. Po zohlednění tříd infiltrace dle Janečka (2012) pak byla každému z 1119 lesních typů přiřazena hydrologická skupina půdy. Výsledný převodník nebyl zveřejněn a zůstal pouze v archivu řešitele projektu VG20122015092. Publikována byla pouze část metodiky (Macků, 2012b), která se zastavuje na již překonané úrovni přiřazení HSP dle SLT, přičemž přiřazení HSP půdám s vodním režimem typu P (pseudogleje) zůstává nejednoznačné (C-D). Publikovaná tabulka pro přiřazení HSP je zde správná a ve shodě s Podhrázskou (2009), avšak v přiřazení jednotlivých SLT k příslušnému typu vodního režimu zůstávají dvě nejpropustnější kategorie půd prohozené. Tato chyba neměla vliv na podrobnější klasifikaci dle LT, ale protože převodník nebyl nikde publikován, byla pozdějšími autory využívána předchozí jednodušší metoda určení HSP na základě SLT a chyba v přiřazení typu vodního režimu se propagovala dále, mimo jiné do nejaktuálnější metodiky pro MPMR ČR (ČSVTS, 2019), jak ukazuje tabulka 11.

Tab. 11: Přiřazení SLT k typu a stupni vodního režimu s chybným přiřazením T1 a T2. Zdroj: ČSVTS, 2019

typ vodního režimu	typologické jednotky (SLT)	stupeň vodního režimu	
R G	0-8T, 0-8G, 8V,8Q,8P 0-9R	1	velmi nízký
P	0-1Q, 0-2Q, 1-2V 0-7P, 2-7Q, 3-7V 3-7O	2	nízký
V L*	3-7V9 1-6L, U	3	průměrný
T2	3-8S, 1-7B, 1-6H 1-6D, 3-7N, 3-8S, 8K,8Z 1-7I, 1-3J, 3-8F, 9K,9Z	4	vysoký
T1**	0-5M,0-2K,0-5C, 1-2S 1-5W, 1-8A, 0-8Y	5	mimořádný

T A

Č R

Značnou nevýhodou přístupu stanovení HSP na základě lesních typů je probíhající změna v lesní typologii. Během 2-3 let by nová klasifikace měla být dokončena a zcela nahradit tu předchozí. Spolu s ní již pravděpodobně nebudou dále veřejnosti dostupné ani vektorové vrstvy lesních typů, které jsou dosud volně k dispozici k nahlížení přes veřejné geoportály a ke stažení za manipulační poplatek prostřednictvím ÚHÚL.

4.1.2 Fyzikální charakteristiky půd

Komplexní průzkum zemědělských půd

Na pracovišti VÚMOP jsou momentálně digitalizována data Komplexního průzkumu zemědělských půd (KPP), která jsou jedním z hlavních datových zdrojů využívaných v tomto projektu. V letech 1961-1971 byla v celém tehdejší Československu zmapována zemědělská půda v měřítku 1:10 000. Komplexní průzkum zemědělských půd bývalé ČSSR (dále jako KPP) proběhl v letech 1961 – 1970 na základě usnesení vlády ČSSR č. 11 ze dne 4. ledna 1961 jako celostátní, centrálně koordinovaná akce zaměřená na systematický sběr údajů o půdě. Účelem KPP bylo zabezpečení dostatečně podrobných a kvalitních informací o půdě (půdním pokryvu) pro potřeby systematického zvyšování půdní úrodnosti a řešení problematiky výživy rostlin na vědeckých základech.

KPP proběhl na veškeré zemědělské půdě, která byla v čase realizace KPP v užívání socialistických i soukromých zemědělských podniků. Během téměř desetiletého období bylo v rámci bývalé ČSSR prozkoumáno celkem 7,2 mil. hektarů zemědělské půdy, vykopáno více než 700 tis. půdních sond (z toho v Čechách přibližně 500 tis.) a analyzováno přibližně 2 mil. odebraných půdních vzorků. Přehled sond na území České republiky uvádí Tab. 12. KPP byl realizovaný podle jednotné metodiky půdního průzkumu. Metodika půdního průzkumu, která byla poprvé vydaná v roce 1961, byla postupně upravovaná a detailizovaná (celkem tři vydání 1961, 1962 a 1967) a v konečné podobě vydaná v roce 1967 jako tři samostatné díly zaměřené na různé aspekty realizace KPP (Němeček a kol. 1967, Damaška a kol. 1967, Sirový a kol. 1967).

Výsledkem KPP bylo vytvoření množství tematických map (1: 10 000, 1: 50 000 a 1: 200 000) a podpůrných textových výstupů, které kromě účelových výsledků určených praxi (agronomická kategorizace území a agronomická regionalizace území, návrhy opatření na zlepšení produkčních schopností půdy) obsahují zejména základní, přírodovědné údaje: půdní mapy a záznamy morfologických a analytických charakteristik půdních profilů. Všechny výstupy KPP (mapové i textové), zpracované pro území České republiky, jsou v současné době archivovány v archivech Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. v Praze.

Tab. 12: Přehled typů sond Komplexního průzkumu zemědělských půd na území České republiky.

Typ sondy	Počet	Průměrná hustota ha/sonda	Struktura vzorkování	Počet půdních vzorků	Analýzy
Základní	352 908	12	Ornice a podorničí	697415	Textura zjednodušeně Půdní reakce
Výběrové	36 735	121	Jednotlivé půdní horizonty	144 803	Textura Půdní reakce Obsah CaCO ₃ Obsah humusu Sorpční charakteristiky Nutrienty
Speciální	1 520	2700	Jednotlivé půdní horizonty	6 230	Vše jako u Výběrových sond Fyzikální vlastnosti

Při realizaci Komplexního průzkumu půd byly kopány tři typy půdních sond označené jako tzv. základní, výběrové a speciální. *Základní sondy* představují všechny popsané profily kopaných

sond, na jejichž podkladě byly vymezovány okrsky základních půdních představitelů. *Výběrové sondy* sloužily k získání analytické charakteristiky vymezených celků genetických půdních představitelů. Poloha každé základní i výběrové sondy byla určena s přesností větší než 20 m. Další variantou kopaných sond byly také *Speciální sondy*, které sloužily k získání všestranné analytické charakteristiky typických půdních představitelů v celostátním měřítku. Nicméně tyto sondy nebyly předmětem řešení. Jsou zde uvedeny pouze pro ucelení.

U všech sond byly zaznamenávány údaje o přesném umístění sondy s náčrtem, údaje o nadmořské výšce, o umístění sondy ve svahu, tvar a expozici svahu, vyznačení hloubky hladiny podzemní vody, slovní a číselné vyznačení litologických vrstev a charakter jejich přechodu, údaje o provedených melioracích, označení půdy, stručnou výrobní charakteristiku půdy a návrh zúrodňovacích opatření, a identifikační údaje o mapové sekci a listu, datu odběru vzorků, i jména půdoznalce. Morfologie půdního profilu popisuje genetické horizonty s indexy s vyznačením mocnosti a typu přechodu, je uvedena omaz, a slovní popis barvy, struktury, zrnitosti, skeletovitosti, vlhkosti a konzistence, konkretí, ostatních novotvarů a pórovitosti, trhlin, prokořenění a biologického oživení a končí kolonkou pro označení hloubky odběru vzorků. U základních sond byly odebírány vzorky z ornice a 1 až 2 dalších horizontů do hloubky 60 cm v množství asi 0,5 kg, z nichž byla stanovena kategorie zrnitostního složení, a to částic menších než 0,01 mm a výměnné pH. U výběrových sond byly odebírány vzorky v množství 2 kg u všech horizontů pro stanovení hodnot 4 kategorií zrnitosti, oxidovatelného uhlíku C_{ox} , uhličitánů, přístupného P_2O_5 a K_2O a výměnného vodíku a sorpční kapacity. Dopočtem byl stanoven obsah humusu a stupeň sorpčního nasycení.

Digitalizovaná data jsou volně přístupná na <https://kpp.vumop.cz/>.

Interní databáze VÚMOP, v.v.i.

V rámci projektu byly dále dány dohromady interní databáze vzorků VÚMOP, v.v.i. z oddělení půdní služby a z oddělení hydrologie. Jedná se o data, která byla na pracovištích pořizována v rámci různých projektů, studií a zakázek s různým účelem pořízení a různými měřenými parametry. Data byla nejprve shromážděna do dvou databází (za každé oddělení jedna databáze) a dále harmonizována do stejných jednotek.

Za oddělení půdní služby byla shromážděna data z 56 lokalit, celkem 1 234 půdních sond (Obr. 1). Měřené veličiny relevantní pro tento projekt a počet sond, na kterých byla veličina měřena je uveden v tabulce 13. Většinou byl analyzován pouze první horizont (ornice).



Obr. 1: Půdní sondy z interní databáze oddělení půdní služby, VÚMOP, v.v.i.

Tab. 13: Přehled sond interní databáze VÚMOP, v.v.i. oddělení půdní služby

Měřený parametr	Jednotka	Počet sond
zrnitost < 0,00063 mm	%	77
zrnitost < 0,001 mm	%	624
zrnitost < 0,002 mm	%	1118
zrnitost < 0,0063 mm	%	251
zrnitost < 0,01 mm	%	1101
zrnitost < 0,02 mm	%	261
zrnitost < 0,05 mm	%	1077
zrnitost < 0,063 mm	%	255
zrnitost < 0,1 mm	%	551
zrnitost < 0,2 mm	%	251
zrnitost < 0,25	%	568
zrnitost < 0,63 mm	%	243
zrnitost < 2 mm	%	689
Oxidovatelný uhlík (Cox)	%	1108
objemová hmotnost redukována	g/cm ³	306
okamžitá objemová hmotnost	g/cm ³	3
měrná hmotnost	g/cm ³	64
nasycená hydraulická vodivost	cm/s	3
hydraulická vodivost	cm/hod	3
vlhkost hmotnostní	%	67

vlhkost objemová	%	74
pórovitost	%	67
momentální vzdušnost	%	64
minimální vzdušnost	%	64
nasáklivost	%	64
MKVK	%	64
MKVK 24 (RVK)	%	64
MKVK 30min	%	43

Za oddělení hydrologie byla dosud shromážděna data z 21 lokalit, celkem 158 sond, většinou v několika horizontech. Data budou kompletována i v dalším roce řešení. Přehled dat je uvedený v tabulce. 14.

Tab. 14: Přehled sond interní databáze VÚMOP, v.v.i. oddělení hydrologie

Měřený parametr	Jednotka	Počet sond
zrnitost < 0,001 mm	%	77
zrnitost < 0,002 mm	%	154
zrnitost < 0,01 mm	%	158
zrnitost < 0,05 mm	%	158
zrnitost < 0,25 mm	%	46
zrnitost < 2 mm	%	149
Oxidovatelný uhlík (Cox)	%	117
Objemová hmotnost redukována	g/cm ³	148
Nasyčená objemová vlhkost	% obj.	99
pórovitost	% obj.	83
retenční čára	-	151
Nasyčená hydraulická vodivost	cm/s	27
Měrná hmotnost	g/cm ³	34
Infiltrace in situ		3

4.2 AKTIVITA 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd

Jakkoliv to naznačuje název aktivity nebo dříve ukončené projekty (např. 1G58095 podpořený MZe), v ČR neexistuje žádná jednotná databáze hydraulických vodivostí či jiných půdních měření využívaná napříč institucemi. Přesahuje to i rámec tohoto projektu. Existují pouze roztráštěné interní databáze u jednotlivých institucí a většinou jsou nedostupné dalším řešitelům. Výjimkou je menší databáze HYPRES CZ (Miháliková, 2013), která byla začleněna do evropské databáze HYPRES a měla by být volně dostupná (dosud nebylo ověřeno, pořízení je plánováno na rok 2020). Úkolem této aktivity je shromáždit výsek hydroopedologických 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. Nepředpokládá se plná publikace této

kompilované databáze, pouze z nich odvozených výstupů. Dále se předpokládá rozšíření shromážděných měření o nová měření v terénu.

Interní databáze řešitelů se nachází na ČVUT a VÚMOP, Sweco vlastními hydropedologickými měřeními nedisponuje. Třetí instituce v roce 2019 dosud nebyly kontaktovány, pouze byl sestaven seznam potenciálních adresátů. Jejich kontaktování s nabídkou spolupráce se předpokládá na začátku roku 2020.

Nasyčená hydraulická vodivost je jednou z nejdůležitějších fyzikálních hydropedologických charakteristik. Hlavní potíží při jejím určování je měřítko půdního celku, na němž byla odvozena. Běžnou metodou je určení bodové hodnoty v laboratoři na odebraných Kopeckého válečcích (plocha cca 20 cm²). Tato hodnota se vztahuje pouze k půdní matici a je známo, že nevystihuje zcela infiltrační potenciál půdy v širším území, neboť správně odebraný vzorek nezahrnuje preferenční cesty, jejichž schopnost infiltrovat vodu do hlubších vrstev půdy je o několik řádů vyšší, než samotná matrice. Druhým běžným přístupem je měření tzv. dvouválcovou metodou, u níž má aktivní plocha pro infiltraci cca 700 cm². Ta již může zahrnovat určité heterogenity a preferenční cesty, přestože je snahou se jim při měření vyhnout. Ze zkušeností plyne, že opakovaná měření touto metodou v jedné lokalitě třeba jen několik metrů od sebe může poskytovat výsledky lišící se i řádově. Jako nejreprezentativnější hodnoty vodivosti půdy, zejména chceme-li je využít při hydrologickém modelování malých povodí, se jeví hodnoty získané infiltračními pokusy na ještě větších plochách velikosti řádově desítek čtverečních metrů. Taková plocha již postihuje mnohé prostorové heterogenity, preferenční cesty a jejich konektivitu a rozptýl na ní změřených vodivostí v jedné lokalitě nebývá tak značný, jako např. u dvouválcové metody. Hydraulická vodivost změřená, resp. odvozená na těchto experimentálních plochách bývá označována jako efektivní hydraulická vodivost. Pro přísun vody k zasakování se běžně využívají dešťové simulátory. Těmi disponují dvě pracoviště řešitelů tohoto projektu, ČVUT a VÚMOP a za dobu jejich využití obě pracoviště nashromáždila nemalé množství srážko-odtokových dat.

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). Beitlerová et al. (2018) uvádí hlavní parametry a rozdíly mezi oběma simulátory.

Za osm let provozu simulátoru na ČVUT bylo zařízení nasazeno v rámci různých výzkumných projektů na více než 150 simulacích, na VÚMOP pak přes 190 simulacích, které byly orientovány zejména na výzkum povrchových procesů (plošný odtok a eroze) na orné půdě. Na ČVUT při nich byla v poslední době sledována také dynamika vlhkosti v půdním profilu a po úpravách simulátoru ČVUT na podzim 2019 je možné k zařízení napojit i měření sacích tlaků, čímž se rozsah měření rozšiřuje i pod půdní povrch. V rámci tohoto projektu budou využita jak archivní data, tak se počítá i s rozšířením databáze o další měření. Hlavním cílem experimentů bude odvození hodnot efektivní hydraulické vodivosti.

Naprostá většina dosud provedených simulací byla realizována na orné půdě. Další plochy jako jsou lesní pozemky a trvalé travní porosty tak nebyly pomocí simulátoru měřeny. V roce 2019 proběhl testovací experiment, který byl zaměřen na hydrologický režim travního porostu s cílem sledovat dynamiku odtoku a změny vlhkostí a sacích tlaků. Experiment byl zahájen, ale došlo k technické závadě na motoru čerpadla a nebyl tak úspěšně dokončen. V roce 2020 se předpokládá opakovaný experiment a vícenásobné nasazení simulátoru.

V roce 2019 pracoviště ČVUT pořídilo v rámci rozvojových aktivit malý polní simulátor. Na rozdíl od velkého simulátoru je tento menší zaměřen na výzkum hydrologických procesů ve velkém detailu. Předpokládá se jeho nasazení i 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 1x1 m, lze ji však rozšířit až na 2x2 m. Vzhledem ke konstrukci je možné simulátor využít i na svazích s vyššími sklony. Intenzita srážky je volitelná v rozmezí 20 - 180 mm/h. V rámci aktivit tohoto projektu proběhla kalibrace zařízení z hlediska rovnoměrnosti postřiku a kinetické energie deště tak, aby charakteristiky deště (rovnoměrnost, distribuce kapek a jejich kinetická energie) odpovídaly co nejvíce přirozenému dešti.

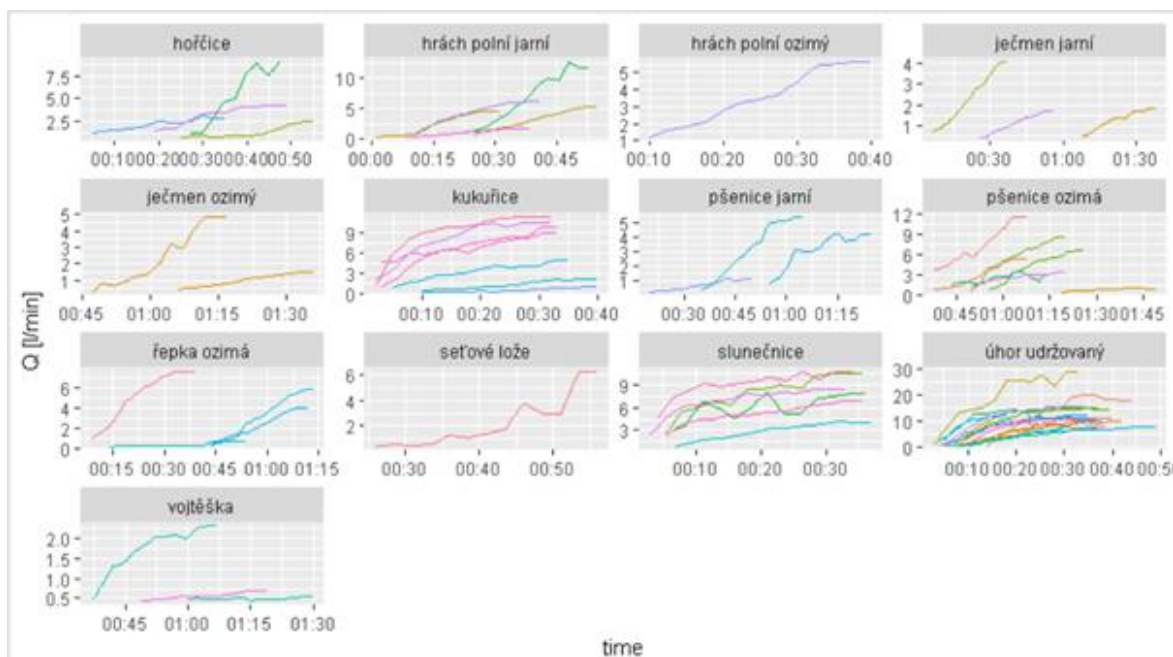
Naměřené údaje na ČVUT byly skladovány v různé formě od pouze surových analogových záznamů přes přepsané originální nevyhodnocené záznamy v excelových formulářích s ad-hoc strukturou až po vyhodnocené a vyhlazené datové řady ve standardizované strojově čitelné formě. Od roku 2018 pak začala vznikat ústřední SQL databáze, jejímž cílem je získaná data zdigitalizovat, opatřit potřebnými metadaty a zpřístupnit pro snadné strojové čtení a analýzy.

Tab. 15: databáze srážko-odtokových simulací s využitím dešťového simulátoru ČVUT ke konci roku 2019

Počet simulací se suchými poč. podmínkami	126
Počet návazných simulací s vlhkými poč. podmínkami	120
Období měření	04/2016 – 11/2019
Lokality	Býkovice, Nové Strašecí, Řisuty
Velikost exp. plochy	8 x 2 m
Sklon exp. plochy	9 %
Srážková intenzita	60 mm/h (125x), 83 mm/h (1x)
Půdní pokryv	úhor udržovaný, pšenice ozimá, ječmen ozimý, ječmen jarní, hrách jarní, slunečnice, hořčice, řepka ozimá, vojtěška, pšenice jarní, kukuřice, pohanka, hrách ozimý, svazenka, žito ozimé

Jednou z aktivit v rámci tohoto projektu bylo doplnění a rozšíření databáze o další dosud vůbec nebo jen částečně zpracovaná měření. Dalším krokem bylo propojení databáze s nástroji pro analýzu obsažených dat. Jako přechodné řešení byl naprogramován export vybraných časových řad a metadat z databáze do xml a následný import do softwarového prostředí R project. V příštím roce je předpokládána tvorba připojení databáze přímo z prostředí R, což umožní automatizaci analýz a jejich snadné opakování i na nově doplněných datech. Tabulka 15 shrnuje základní charakteristiky simulací obsažených v databázi ke konci roku 2019.

Na obr. 2 jsou zobrazeny nevyfiltrované průběhy povrchového odtoku od začátku zadešťování ve třech lokalitách na plochách s různým druhem půdního pokryvu (vše na orné půdě). Po vyfiltrování problematických měření (kolísání simulované srážky aj.) budou průběhy použity pro odvození parametrů infiltračních rovnic, zejména efektivních hodnot nasycené hydraulické vodivosti.

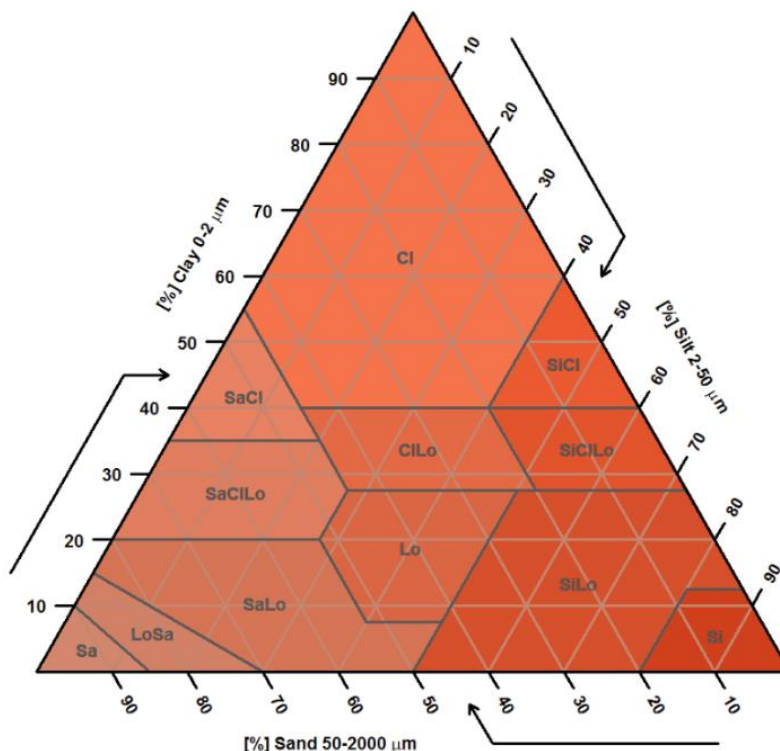


Obr. 2: Výběr nevyčištěných průběhů povrchového odtoku ze simulací s využitím dešťového simulátoru ČVUT ve třech lokalitách v závislosti na půdním pokryvu

Kromě popsanych dešťových simulací bude dalším zdrojem dat o hydraulické vodivosti interní databáze VÚMOP obsahující bodová měření pomocí Kopeckého válečku v půdních sondách, přehled u nich vyhodnocených parametrů a příslušné počty sond jsou uvedeny v tabulce 13 a tabulce 14.

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

Půdní zrnitost je jednou ze základních charakteristik půdy ovlivňujících její fyzikální, chemické a biologické vlastnosti. Znalost zrnitosti půdy je potřebná všude tam, kde je hodnocena její úrodnost, retenční a infiltrační schopnosti, náchylnost k degradacím či možnosti obdělávání a zpracování půdy. Základní členění zrnitosti půdy rozlišuje 3 zrnitostní frakce – jíl, prach a písek. Mezinárodní klasifikační systémy zrnitosti definují zrnitostní třídy na základě poměru procentního zastoupení těchto tří frakcí. V České republice je dle Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky od roku 2001 (Němeček et al, 2011) platný mezinárodní klasifikační systém NRSC USDA (Obr. 3). Dosud však chyběla data a metodika, na základě kterých by bylo možné tento systém plošně implementovat a začít v praxi využívat.



Obr. 3: Zrnitostní trojúhelník NRSC USDA

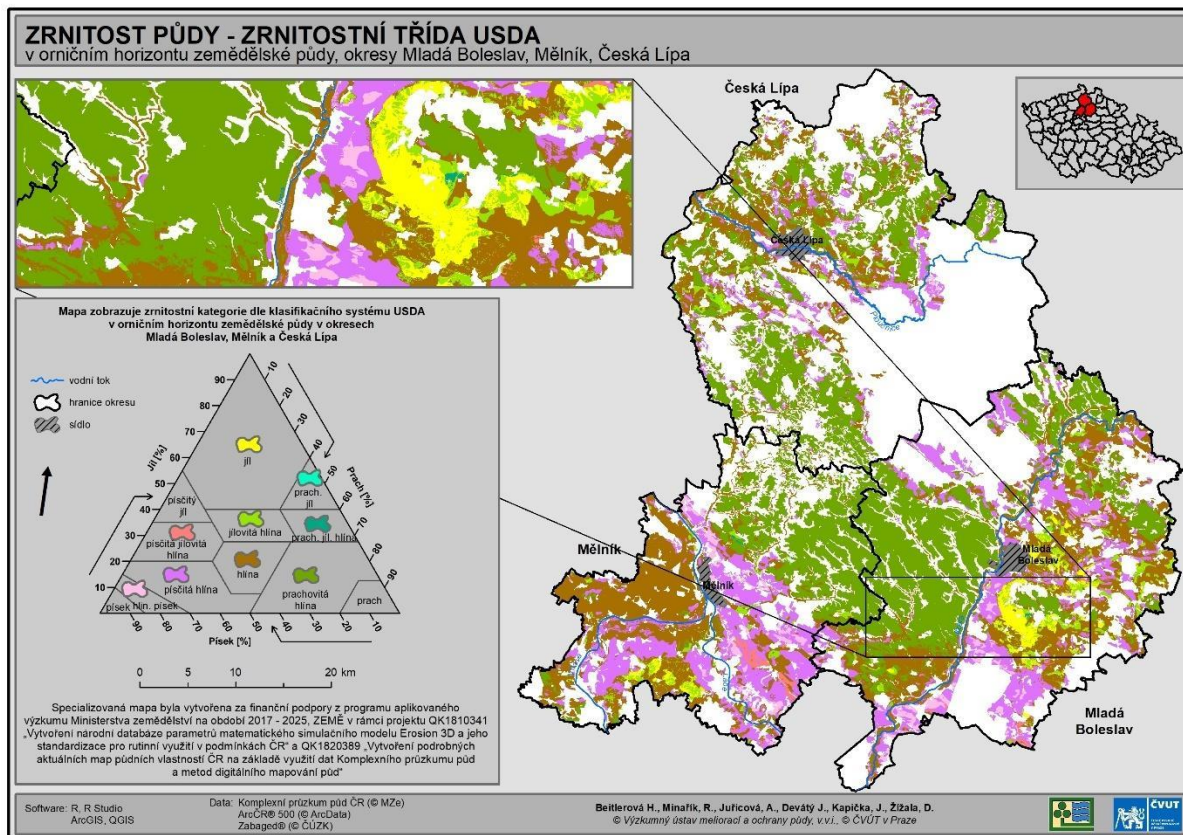
Stav na zemědělské půdě

I přes platnou metodiku (Němeček et al, 2011) je v ČR dosud využíván převážně systém členění zrnitosti půdy dle Nováka, který byl vytvořen v šedesátých letech 20. století pro potřeby KPP. Tento klasifikační systém rozlišuje pouze dvě zrnitostní frakce – částice menší než 0,01 mm a větší než 0,01 mm. Na základě procentuálního zastoupení menší frakce se rozlišuje 7 zrnitostních tříd (Tab. 16). Takovéto členění se nevyskytuje v žádném jiném mezinárodním klasifikačním systému (KS) a neexistuje metoda, jakou by bylo možné tento systém na systém tří velikostních frakcí převést. Velikost zrna 0,01 mm neodpovídá žádné zrnitostní frakci z jiných KS. Na základě tohoto klasifikačního systému a základních půdních sond KPP byla vytvořena mapa zrnitosti v měřítku 1 : 50 000 udávající zrnitostní třídu.

Tab. 16: Zrnatostní třídy dle Nováka (Janeček et al., 2012)

Obsah částic (zrn) menších 0,01 mm v %	Označení druhu půdy		Klasifikace půdy
0 – 10	písečná	P	lehká
10 – 20	hlinitopísečná	HP	
20 – 30	písečnohlinitá	PH	středně těžká
30 – 45	hlinitá	HP	
45 – 60	jílovitohlinitá	JH	těžká
60 – 75	jílovitá	JV	
přes 75	jíl (nebo prchlice)	J	

Digitalizace dat Komplexního průzkumu půd a rozvoj metod digitálního mapování půd umožňují nově vytvořit mapy zrnatosti zemědělské půdy. Beitlerová et al. (2019) vytvořili na pilotním území 4 okresů mapu zrnatostních tříd v mezinárodním klasifikačním systému platném i u v ČR (NRSC USDA) (Obr. 4) a dále mapy jednotlivých zrnatostních frakcí. V roce 2020 budou mapy rozšířeny na území celé České republiky a využity v tomto projektu.



Obr. 4: Mapa zrnatosti půdy v českém klasifikačním systému (klasifikačním systému NRSC USDA) pro okresy Mělník, Mladá Boleslav a Česká Lípa (Beitlerová et al., 2019).

Základním zdrojem dat pro vytvoření mapy zrnatosti na zemědělské půdě jsou výběrové sondy KPP, u kterých byl proveden laboratorní rozbor zrnatosti rozlišující 5 zrnatostních frakcí: 0 - 0,001 mm, 0,001 - 0,01 mm, 0,01 - 0,05 mm, 0,05 - 0,25 mm a 0,05 - 2 mm. Těchto 5 frakcí

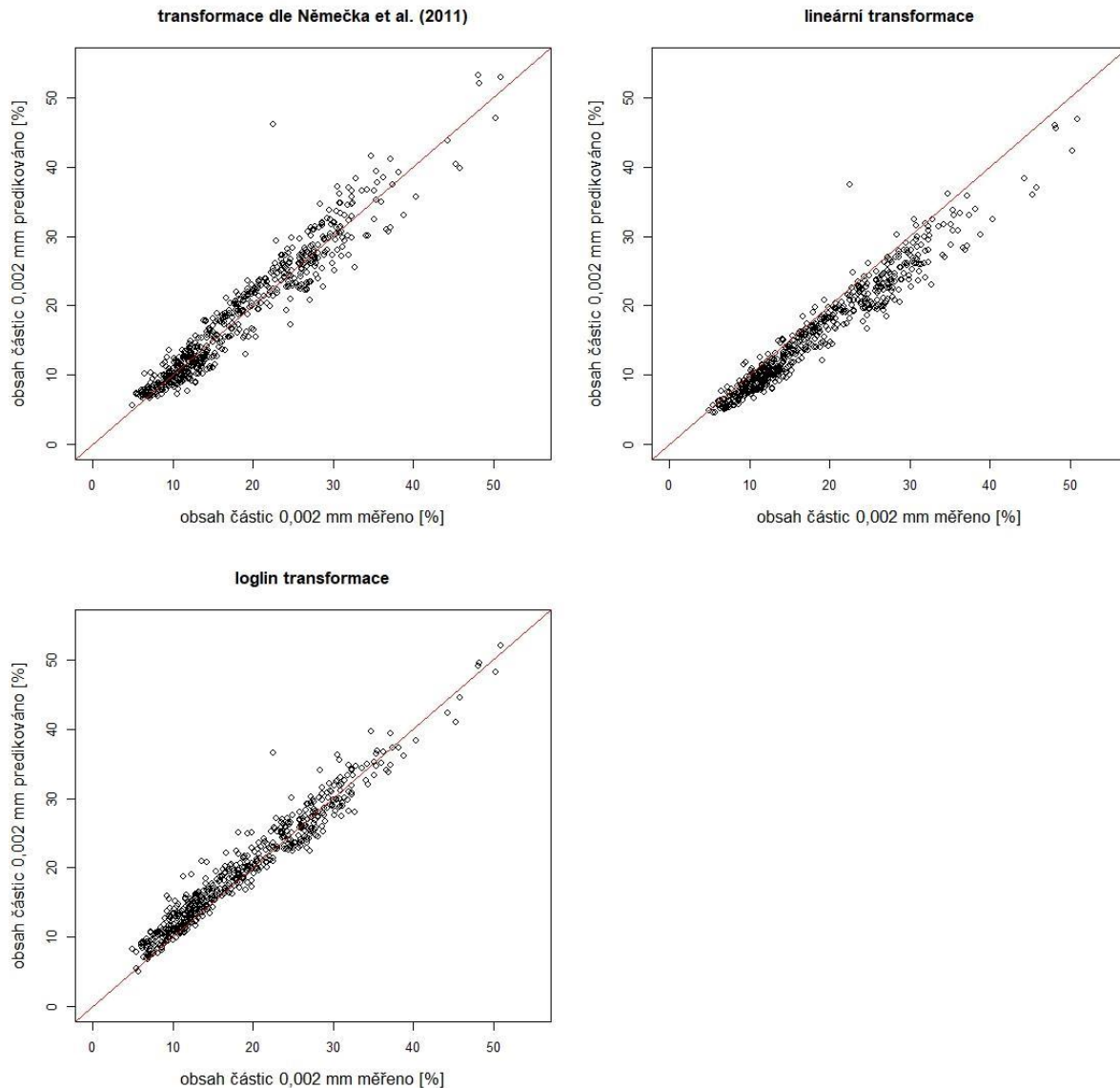
je dodnes běžně považováno za základní frakce standardního laboratorního rozboru, ačkoliv dle od roku 2001 platného klasifikačního systému ČR je jíl stanoven jako zrno do velikosti 0,002 mm, nikoliv 0,001 mm. Na základě standardního rozboru je možné odvodit 3 základní zrnitostní frakce – jíl < 0,001 mm, prach 0,001 – 0,05 mm a písek 0,05 – 2 mm. Jíl je zde tedy definován odlišně od aktuálně platného klasifikačního systému. Rozhraní prachu a písku je standardní. Databáze KPP obsahuje 36 735 výběrových sond. Z nich odvozená vektorová mapa zrnitosti 1:50 000 dle Nováková KS je použita jako jeden z environmentálních prediktorů pro odvození zrnitosti půdy metodami digitálního mapování půd. Principy odvození zrnitostních map z výběrových sond s využitím mapy zrnitosti 1:50 000 je popsáno v Beitlerová et al. (2019). V rámci digitalizace KPP jsou do vektorové vrstvy převáděny podrobnější kartogramy zrnitosti 1:10 000, které v tomto projektu nahradí mapu 1:50 000.

Harmonizací zrnitosti mezi daty KPP a nejpoužívanějšími klasifikačními systémy se okrajově zabývali již Zádorová, Žížala, Penížek, & Juřicová (2018), kteří testovali několik parametrických modelů popisujících zrnitostní křivku na základě pěti měřených frakcí. Mezi testovanými modely byly různé logaritmické funkce, splinové funkce, logaritmicko-exponenciální funkce a jiné. Vzhledem k velké variabilitě tvarů zrnitostních křivek nebyl shledán ani jeden z modelů natolik robustní, aby mohl být použit pro všechny sondy.

Beitlerová et al. (2019) standardizovali zrnitostní rozborů výběrových sond na platný klasifikační systém pomocí nejběžněji používané a v literatuře doporučované logaritmicko-lineární interpolace zrnitostní křivky (Shirazi. M. A., Boersma, L., 1984; Wösten, J. H. M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C., 1998). Při validaci výsledných zrnitostních map se ukázalo, že mapy jílu, kterých se transformace nejvíce týká, vykazují největší chybu. Studie Wösten et al. (1998), která srovnávala výsledky standardizace dat zrnitosti půdy z několika různých zdrojů a klasifikací na jednotný klasifikační systém NRSC USDA pomocí 4 metod, ukázala, že logaritmicko-lineární interpolace dává dobré, avšak ne nejlepší výsledky. Němeček et al. (2011) odvodil lineární vztah pro přepočítání frakce 0,001 (x) na 0,002 mm (y) s korelačním koeficientem 0,975:

$$y = 1,1503x + 2,3676$$

Interní databáze oddělení půdní služby VÚMOP, v.v.i. obsahuje 585 půdních sond, ve kterých byla laboratorně odvozena jak velikostní frakce 0,001 mm, tak 0,002 mm a je tak možné statisticky ověřit přesnost různých transformací jílové frakce. Porovnána byla transformace dle Němečkova lineárního vztahu, logaritmicko-lineární (loglin) interpolace zrnitostní křivky a lineární interpolace zrnitostní křivky. Transformace dle Němečka vykazuje zvyšující se chybu predikce se zvyšujícím se obsahem jílových částic, lineární interpolace zrnitostní křivky hodnoty jílu podhodnocuje. Nejlépe dopadla loglin interpolace zrnitostní křivky použitá v Beitlerová et al. (2019) (Obr. 5). Průměrná chyba predikce pro loglin interpolaci je 1.62 %. Střední kvadratická odchylka je 2.14.



Obr. 5: Grafické ověření metod transformace velikosti jílových částic

Stav na lesní půdě

Zdrojem dat zrnitosti na lesní půdě je databáze Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) obsahující celkem 6 939 sond. Zrnitost je rozlišena na 4 frakce: 0 - 0,002 mm; 0,002 - 0,01 mm; 0,01 - 0,05 mm a 0,05 - 2 mm. Na základě tohoto rozboru je možné odvodit 3 základní zrnitostní frakce – jíl < 0,002 mm, prach 0,002 – 0,05 mm a písek 0,05 – 2 mm. Všechny tři frakce jsou definovány shodně s mezinárodním klasifikačním systémem a není třeba je transformovat. Ne všechny sondy mají kompletní rozbor zrnitosti půdy. Frakce potřebné pro určení jílu, prachu a písku jsou analyzovány celkem u 4 794 sond.

5. Aktivity plánované na rok 2020

V druhém roce řešení dále pokračují aktivity 7-2 a 7-3. Zahájeny budou další tři aktivity týkající se výsledků V7 (databáze půdních charakteristik), V1 (odvození hydro pedologických map) a na konci roku V6 (Odborný článek). Zbylé aktivity A1-2 (tvorba a certifikace map) a A8 (Souhrnná zpráva) proběhnou až před koncem řešení v roce 2021. V roce 2020 tedy budou řešeny následující aktivity:

- Aktivita 7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd,
- Aktivita 7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks,
- Aktivita 7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě,
- Aktivita 1-1 Odvození celistvé vrstvy hydro pedologických vlastností půd ČR,
- Aktivita 6 Odborný článek.

A7-2 Rozšíření databáze měření hydraulické vodivosti půd

Na rok 2020 je plánováno dokončení interních analýz ČVUT a VÚMOP pro odvození hodnot hydraulické vodivosti půd ze všech archivních simulací a jejich kompilace do jedné databáze. Proběhne kontaktování třetích stran za účelem rozšíření této databáze, v nulové variantě bude rozšířena alespoň o veřejně dostupné zdroje (HYPRES CZ). S využitím dešťových simulátorů na ČVUT bude provedeno několik experimentálních kampaní pro rozšíření měření, která byla dosud zaměřena především na ornou půdu, o měření na travnatých a dalších porostech různého charakteru a půdách vybraného zrnitostního složení s ohledem na dosud chybějící nezměřené a plošně významné půdní druhy.

A7-3 Harmonizace bodových databází zrnitosti na zemědělské a lesní půdě

V rámci pokračování této aktivity bude připravena databáze bodových měření zrnitosti na lesní půdě (ÚHÚL) a zemědělské půdě (KPP) tak, aby bylo možné jejich sloučení do jedné bodové vrstvy. Dále bude připraven validační soubor sestávající z interních databází VÚMOP a databáze experimentů se simulátorem deště ČVUT. Zde bude provedena transformace velikosti zrnitostních frakcí na mezinárodně využívaný a také v ČR platný klasifikační systém USDA. Následně budou bodová měření ze zemědělské půdy sloučena s databází půdních sond z lesních půd.

A7-4 Verifikace a zpřesnění existujících PTF pro určení Ks

Bude provedena rešerše existujících pedotransferových funkcí pro odvození hydraulických vlastností půdy (Ks) na základě zrnitostních křivek. Vybrané PTF budou následně testovány a modifikovány na základě vrstvy zrnitosti odvozené v aktivitě A1-1, případně dalších prediktorů a databáze měření Ks. Jednotlivé PTF budou na vzorku dat statisticky verifikovány.

A1-1 Odvození celistvé vrstvy hydroopedologických vlastností půd ČR

V roce 2020 bude testována plošná interpolace zrnitosti půdy z databáze půdních charakteristik. Kromě bodových vrstev z výsledku V7 budou přímým vstupem mapy zrnitosti na zemědělské půdě vytvořené v rámci projektu QK1810341. Předpokládá se samostatná interpolace bodové zrnitosti na lesní půdě, přičemž jako vhodný plošný podklad pro interpolaci budou testovány různé dostupné mapové podklady, a následné napojení na hotové mapy na zemědělské půdě. V případě potřeby bude testován druhý způsob: propojení lesní a zemědělské půdy na úrovni bodové zrnitosti a následná celoplošná interpolace. Pozornost bude věnována jak klasickým interpolačním metodám v prostředí GIS (kriging, spline, IDW aj.), tak metodám digitálního mapování půd (random forest, neural network aj.), které berou v úvahu vzájemnou provázanost půdních charakteristik s ostatními environmentálními proměnnými, jako je reliéf, klima, vlastnosti podloží aj. Další dílčí aktivitou bude odvození plošně celistvé a konzistentní mapy hydrologických skupin půd na ZP i lesní půdě.

Nedílnou součástí této aktivity v roce 2020 bude příprava webových služeb pro publikaci a poskytování výsledků projektu odborné veřejnosti. Předpokládají se WMS služby pro sdílení obrazových podkladů a map, WPS služby pro zpracování uživatelských prostorových dotazů a poskytování výsledků ke stažení (např. rozložení zrnitostních frakcí či hydrologických skupin na zvoleném území) a prezentaci služeb na specializované webové stránce.

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

ČVUT

V roce 2019 byly prostředky čerpány v souladu s podmínkami projektu. Část finančních prostředků na osobní náklady byla převedena do FÚUP a bude využita v následujícím období. Převedení části osobních nákladů do FÚUP je z důvodů déle trvající komunikace mezi ČVUT a ÚHÚL o relevanci dat a zpoždění zahájení jejich zpracování.

Z ostatních prostředků byla část financí využita na úpravy a údržbu mobilního dešťového simulátoru. V souvislosti s experimentálním měřením byly také pořízeny ohraničující plechy pro vymezení zadržovaných ploch. Tato údržba byla provedena z více zdrojů a z tohoto projektu byla hrazena přiměřená část v odpovídající výši. Z projektu byly pořízeny vlhkostní sondy a půdní tenzometry pro určování hydroopedologických charakteristik v průběhu experimentálních měření pomocí dešťového simulátoru. Dále byla z prostředků projektu pořízena drobná spotřební elektronika (NTB pro práci v terénu, sestava monitorů), byly hrazeny náklady spojené s pořízením dat (ÚHÚL) a za účast na konferenci ArcDATA orientovanou na GIS a novinky platformy ESRI.

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 na pořízení notebooku a příslušenství, a to v kombinaci s jinými zdroji v poměrně části úměrně k využití na projektu. Část financí byla využita na půdní rozbory pro rozšíření databází půdních sond. Část osobních nákladů byla převedena do FÚUP

z důvodu delšího trvání kompletace dat a posunu zahájení navazujících prací, které však na harmonogram projektu nemají vliv.

SWECO

V roce 2019 byly prostředky čerpány dle podmínek projektu. Celkové předpokládané náklady 380 000 Kč byly překročeny z důvodu vyšších režijních nákladů oproti předpokládané výši. Celkové náklady za rok 2019 jsou 411 861,12 Kč. Zvýšení nemá vliv na výši poskytnuté 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 především v oblasti rešerše zdrojů dat hydropedologických dat na lesní půdě a souvisejících metodik s ohledem na využitelnost pro hydropedologii. Dále se členové řešitelského kolektivu podíleli na experimentálním měření pomocí dešťového simulátoru, digitalizace archivních měření a propojení jejich databáze s analytickými nástroji pro snadnou automatizaci zpracování dat.

Pracoviště VÚMOP se soustředilo na shromáždění a harmonizaci dat využitelných na projektu. Jedná se o data půdních sond průběžně pořizovaná v rámci různých projektů a zakázek. Na základě těchto dat byl prověřen způsob převodu velikosti jílové frakce mezi klasifikačními systémy zrnitosti půdy. Dále byl věnován prostor rešerši zdrojů hydrogeologických dat na zemědělské půdě.

Společnost SWECO se podílela na rešerši půdních dat a na specifikaci budoucího využití výsledků projektu z hlediska návrhové praxe.

Řešitelé ze všech pracovišť se sešli na zahajovací schůzce po zahájení projektu pro vyjasnění postupu prací a kompetencí jednotlivých pracovišť. Dvoustranné schůzky se dále konaly nepravidelně při řešení specifických úkolů. Nepřetržitě probíhala elektronická komunikace pro koordinaci dílčích aktivit, reportování postupu a vyjasnění dílčích aktivit drobného rozsahu.

7.1 Komentář k řešitelskému týmu

Do řešitelského kolektivu byly zapojeny klíčové osoby podle návrhu projektu. Dále byli zapojeni do řešitelského kolektivu studenti doktorského programu Martin Neumann, Adam Tejkl a Tomáš Laburda v souvislosti s experimentálním měřením na dešťovém simulátoru. Do řešení se zapojil Martin Landa - příprava webových služeb, které budou sloužit k poskytování dat.

Ve společnosti Sweco byla Ing. Kačenová nahrazena v prvním roce řešení Ing. Zahradníkovou.

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. Již v prvním roce řešení byla navázána úzká spolupráce mezi zapojenými pracovišti, především při předávání informací o dostupných podkladech nezbytných k pokračování aktivit. 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 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.

9. Reference

Beitlerová, H., Minařík, R., Juřicová, A., Devátý, J., Kapička, J., & Žížala, D. (2019). *Zrnitostní složení půdy v klasifikačním systému USDA, okresy Mělník, Mladá Boleslav, Česká Lípa a Příbram*. Mapa Se Specializovaným Obsahem, Projekt MZe NAZV QK1810341, 1–35.

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.

ČSVTS. *Posuzování erodovatelnosti a hydrických vlastností lesních půd a posuzování a kvantifikace objemu splavenin - hodnocení rizik erozí*. (2019). Metodický postup č. 2., [online] https://www.csvts.cz/images/eu/MP_2_2019.pdf

Jandák, J., Pokorný, E., & Prax, A. (2010). *Půdoznalství* (3.). Brno: Mendelova univerzita v Brně.

Janderková, J. et al. (2000). *Systém komplexního hodnocení půd*. Brno: AOPK ČR, p. 96.

Janeček, M., Dostál, T., Kozlovsky-Dufková, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., & Konečná, J. (2012). *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. (K. Jacko & J. Váška, Eds.). ČZU FŽP.

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>

Kulasová, B., Šercl, P., & Boháč, M. (2004). *Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Závěrečná zpráva projektu QD 1368*. ČHMÚ.

Macků, J. (2012). *Metodika tvorby Syntetické mapy hydrologických skupin půd lesních ekosystémů*. Průběžná zpráva projektu VG20122015092 - Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu. Archiv řešitele ČVUT

Macků, J. (2012). *Problematika stanovení hydrologických skupin půd v lesích*. In: *Krajinné inženýrství 2012*. Praha: Ministerstvo zemědělství, pp. 15–22.

Matula, S. (1989). *Hydropedologie - praktikum* (1st ed.). Praha: ČVUT v Praze.

- 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.
- Nemeček, J., Rohošková, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., & Novák, P. (2011). *Taxonomický klasifikační systém České republiky* (2nd ed.). CZU v Praze.
- Novák, P., Chramostová, B., Lagová, J., Vetišková, D., Vopravil, J. (2007). *Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR*. Závěrečná zpráva za DÚ 1: Analýza a mapování infiltračních a retenčních schopností půd České republiky. Praha: VÚMOP
- Podhrázká, J. (2009). *Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku*. Metodický návod. 96 s. Praha: VÚMOP
- Shirazi, M. A., & Boersma, L. (1984). *A unifying quantitative analysis of soil texture*. Soil Science Society of America Journal, 48(1), 142–147. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800010026x>
- Šercl, P. (2005). *Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR – Metoda CN-křivek*. Průběžná zpráva za ČHMÚ Praha pro projekt VaV 1D/1/5/05.
- Tomášek, M. (2002). *Hydrogeologická charakteristika půdotvorných substrátů ČR*. Podkladová mapa k řešení projektu. Archiv VÚMOP.
- USDA NRSC. (2009). *National Engineering Handbook, chapter 7. Part 630 Hydrology*.
- USDA NRSC. (2004). *National Engineering Handbook, chapter 10. Part 630 Hydrology*.
- Vopravil, J., Holubík, O., Huislová, P., Khel, T., Matoušková, Š., Petera, M., & Řeháček, D. (2018). *Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky*. Závěrečná Zpráva Projektu NAZV QJ152026, 60.
- 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*.
- Zádorová, T., Žižala, D., Penížek, V., & Juřicová, A. (2018). *Harmonizace databáze KPP s klasifikacemi TKSP a WRB 2014. Certifikovaná metodika*. Praha: VÚMOP.