

# PRŮVODNÍ ZPRÁVA

---

K posouzení výsledku

specializovaná mapa s odborným obsahem

v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací schválené usnesením vlády dne 8. února 2017 č. 107 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády dne 29. listopadu 2017 č. 837“

Výsledek vznikl v rámci výzkumného projektu TAČR **TJ02000234** „Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR“

Specializovaná mapa s odborným obsahem:

## Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR

Autorský kolektiv: Beitlerová Hana, Žížala Daniel, Minařík Robert, Strouhal Luděk, Kavka Petr,  
Juřicová Anna

Organizace:

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

České vysoké učení technické v Praze

---

## Obsah

1	Úvod .....	3
2	Mapy zrnitosti půdy.....	5
2.1	Data a metody .....	5
2.1.1	Princip digitálního mapování půd.....	5
2.1.2	Data .....	5
2.1.3	Digitální mapování.....	7
2.1.4	Tvorba bezešvých map zrnitosti a třídy věrohodnosti .....	7
2.2	Výsledky.....	11
3	Mapa hydrologických skupin půdy.....	18
4	Oponentní posudky .....	20
5	Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování mapy.....	20
6	Reference .....	20

## 1 Úvod

Obsahem souboru map jsou mapy zrnitosti v českém klasifikačním systému TKSP a na jejich základě vytvořená mapa hydrologických skupin půdy. Mapy zrnitosti jsou složeny ze samostatně, ovšem stejnou metodikou vytvořených map na zemědělské půdě a na lesní půdě. Mapy na zemědělské půdě (Žížala et al. 2020a) byly vytvořeny na základě harmonizovaných dat Komplexního průzkumu půd (KPP) (Zádorová et al. 2018) v rámci projektu QK1820389 „Vytvoření podrobných aktuálních map půdních vlastností ČR na základě využití dat Komplexního průzkumu půd a metod digitálního mapování půd“ a byly přímým vstupem předkládaných celorepublikových map. Mapy na lesní půdě byly zpracovány nově v rámci projektu TJ02000234 „Fyzikální a hydrologické vlastnosti půd ČR“ na základě půdní databáze ÚHÚL. Metodický postup a popis jednotlivých použitých metod je podrobně popsán v certifikované metodice „Tvorba půdních map pedometrickými metodami“ (Žížala et al. 2020b), kterou vytvořil podobný autorský kolektiv jako tento soubor map. V ní je možno nalézt širší detaily. Zde je popsáno především zpracování databáze ÚHÚL pro mapování zrnitosti na lesní půdě, metodika spojení map na lesní a zemědělské půdě, vyhodnocení přesnosti map na lesní i zemědělské půdě a metodika tvorby mapy hydrologických skupin půdy.

## 2 Popis novosti mapy

Prezentovaný soubor map představuje inovativní produkt z několika hledisek a to ve vztahu k rozsahu a kvalitě vstupních dat, použité metodice, vyhodnocení nejistot a v neposlední řadě ke způsobu publikace a poskytování výsledků mapování. Po obsahové stránce mapy půdní zrnitosti půd nebyly dosud v měřítku celé ČR zpracovány. Mapa hydrologických skupin půd v měřítku ČR již dříve vznikla v projektu *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice* v roce 2015, nebyla však samostatně publikována. Později aktualizovanou mapu zpracoval Vopravil (Vopravil et al. 2018). Obě mapy vznikly odlišnou metodikou na základě jiných datových podkladů a odlišnými přístupy pro lesní a zemědělskou půdu.

### 2.1 Nová vstupní data

Pro tvorbu map zrnitostních charakteristik byly jako přímý vstup využity dříve publikované mapy ze Souboru detailních map půdních vlastností ČR - zemědělské půdy (Žížala a kol. 2020). Zdrojové datové vrstvy z těchto map byly nově rozšířeny o mapy zrnitostních charakteristik lesních půd. Podkladem pro jejich tvorbu byla bodová data z půdních sond poskytnutých od ÚHÚL, která podobným způsobem nebyla dosud zpracována. Pro spojování dat z obou domén, rozšíření na nezmapovaná území a tvorbu celistvé mapy půdních zrnitostí byla dále využita řada derivátů digitálního modelu terénu a početných map environmentálních charakteristik včetně map půdního pokryvu. Mapa hydrologických skupin půdy je odvozena čistě z nově vzniklých map zrnitostních charakteristik podle metodiky odlišné od existujících map této charakteristiky, lze ji tedy také považovat za nový produkt, nikoliv pouze za aktualizaci starších map.

### 2.2 Nové postupy

Pro tvorbu map půdních vlastností na lesní půdě bylo využito moderních metod digitálního mapování půd, které využívají metod strojového učení pro tvorbu modelů a predikci výsledných hodnot. Tyto metody byly aplikovány již dříve při tvorbě map vlastností zemědělských půd, které byly přímým podkladem pro tvorbu předkládaných spojitých map pro ČR. Jako novou tak lze označit spíše metodu spojování map pro zemědělskou a lesní půdu a populaci hodnot do nezmapovaných území tak, aby byla vytvořena spojitá mapa pokrývající co největší část území ČR. Metodika předem definovala území, která budou z mapování vynechána, neboť stanovení půdních vlastností v nich nedává smysl, nebo nejistoty stanovení překračují akceptovatelnou mez. Metoda tvorby mapy hydrologických skupin

půd není nijak nová v celosvětovém měřítku, ale v ČR je aplikována poprvé právě díky datovým podkladům o zrnitosti půd, z nichž vychází, a které nebyly dosud dostupné. V podstatě se jedná o přiblížení originální metodice stanovení HSP, která pracuje s hydraulickou vodivostí půd, s níž je nejtěsněji svázána právě půdní zrnitost. Předchozí metodiky vycházely z vazby hydraulické vodivosti s různými půdními typologickými systémy, např. BPEJ nebo Lesního Typu.

### 2.3 Nová forma a poskytování výsledků

Oproti klasickým mapám půd a půdních vlastností použité metody přináší inovaci v tom ohledu, že umožňují určit přesnost map, respektive definují potenciální chyby predikce v jednotlivých bodech. Výstupy tak lze využívat s vědomím dané přesnosti určení jednotlivých vlastností. Tento podstatný aspekt dosud nebyl donedávna v půdním mapování dostatečně akcentován a řada půdních map tyto informace vůbec nezahrnuje. Tento soubor map není absolutně prvním dílem, které spolu s hlavním obsahem prezentuje uvedené nejistoty, ale stále lze považovat tento přístup za velmi aktuální.

Zcela nový je způsob publikace a poskytování mapového obsahu. Kromě klasických map předkládaných v podobě tohoto mapového souboru jsou podkladová data nabízena odborné veřejnosti k nekomerčnímu využití prostřednictvím webových služeb WMS a především WPS. Detaily o způsobu získání dat lze nalézt na webu [rain.fsv.cvut.cz/pudy](http://rain.fsv.cvut.cz/pudy).

## 3 Rozsah využití mapy

Mapy byly vytvořeny zejména za účelem doplnění chybějících podkladů pro environmentální modelování a studie. Využity budou tedy především uživateli hydrologických, erozních a dalších modelů a nepřímo objednateli studií, pro jejichž zpracování budou tyto modely použity (orgány ochrany přírody a krajiny, projektanti pozemkových úprav, státní správa a samospráva...). V neposlední řadě najdou mapy široké využití ve výzkumných institucích a na univerzitách technického i přírodovědného zaměření.

## 4 Přínosy mapy pro uživatele

Mapy zrnitostí a hydrologických skupin půdy jsou jedním z klíčových podkladů pro hydrologické a erozní modelování. Získání a využití podkladů o zrnitosti půdy bylo dosud krajně problematické. Předkládané mapy lze snadno opatřit prostřednictvím moderních webových služeb právě v podobě potřebné pro efektivní využití v environmentálních modelech. V případě hydrologických skupin půdy nyní uživatel získává mapové podklady vytvořené konzistentními metodami pro lesní i zemědělskou půdu a odvozené na základě bližších environmentálních faktorů a tedy potenciálně přesnější než dříve vytvořené mapy.

## 5 Mapy zrnitosti půdy

### 5.1 Data a metody

#### 5.1.1 Princip digitálního mapování půd

Mapy zrnitosti byly odvozeny metodami digitálního mapování půd (DMP), které pro predikci půdní kategorie či atributu využívají koncept tzv. SCORPAN faktorů (McBratney et al. 2003). Tento koncept říká, že půdní vlastnost  $V$  (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):

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

Či obecně

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

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

Principem DMP je nalezení funkce vyjadřující vztah mezi  $m$  pozorováními půdní vlastnosti  $V$  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.

#### 5.1.2 Data

Digitální mapování půd vyžaduje dva zdroje dat:

- 1) Bodovou vrstvu měřených hodnot hledaného atributu
- 2) Rastrové vrstvy environmentálních proměnných v rozsahu mapovaného území

Následující kapitoly popisují data využitá pro mapy zrnitosti na lesní půdě.

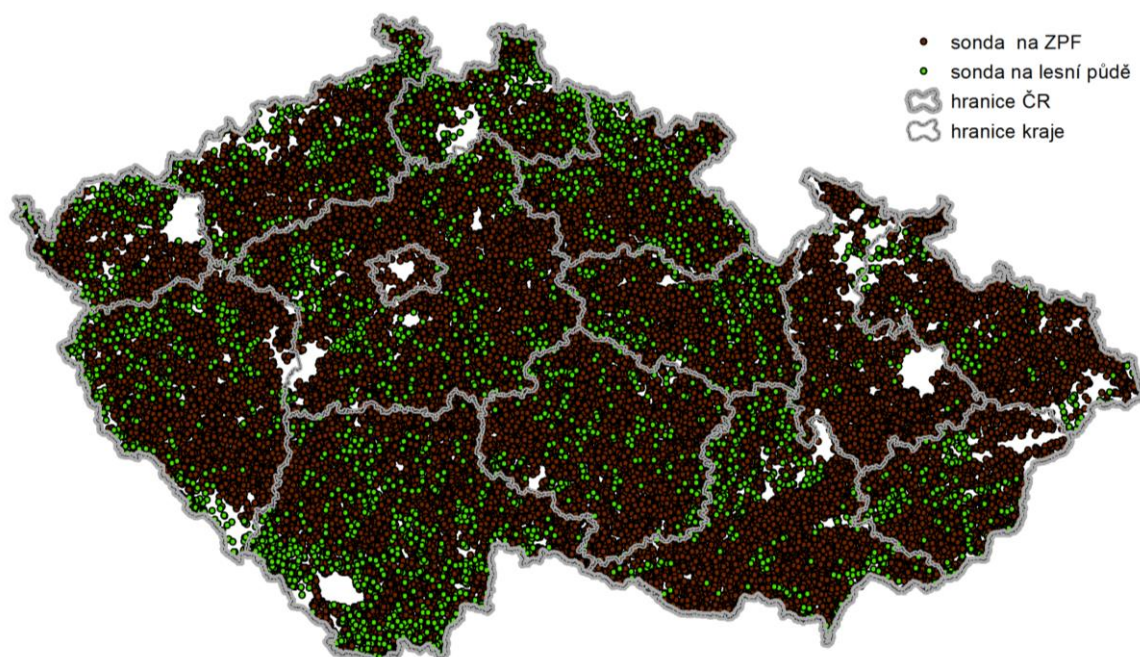
##### 5.1.2.1 Bodová vrstva zrnitosti na lesní půdě

Pro mapování zrnitosti na lesních půdách byly použity databáze sond a horizontů poskytnuté pracovištěm ÚHÚL. Jejich základem jsou tzv. inventarizační plochy – kruhové plochy o výměře 500 m<sup>2</sup>, které jsou vybírány tak, aby reprezentovaly okolní půdně vegetační podmínky. V rámci každé plochy je kopána půdní sonda a analyzován její půdní profil. Z jednotlivých diagnostických horizontů jsou odebírány vzorky pro laboratorní rozbor. Databáze obsahují část se záznamy k ploše/sondě a část se záznamy k jednotlivým horizontům. V projektu je využita datová sada Historických půdních sond. Jedná se o data pořízená v období od roku 1953 do roku 2019, převážně však do roku 1990. Databáze obsahuje přesné souřadnice odběru půdních sond, informace o době odběru, zařazení do lesního typu a lesní oblasti a údaje o geologických a půdních podmínkách stanoviště. K sondám jsou přiřazeny informace o jednotlivých půdních horizontech – určení horizontu, jeho maximální hloubka, zrnitostní rozbor a druh rozboru (4 druhy dle jejich určení, některé druhy neobsahují laboratorní rozbor zrnitosti). Databáze obsahující původně záznamy pro 9 451 sond byla v první fázi vyčištěna a vzorky byly klasifikovány z hlediska zrnitosti dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (TKSP) (Němeček et al. 2011), takže bylo možné je spojit s dříve harmonizovanými daty zrnitostí na zemědělské půdě. Celý postup čištění a harmonizace dat je podrobně popsán v odborné zprávě projektu TJ02000234 za rok 2019 (Strouhal et al. 2020). Konečný soubor dat pro lesní pro mapování lesní půdy obsahuje 5 327 sond.

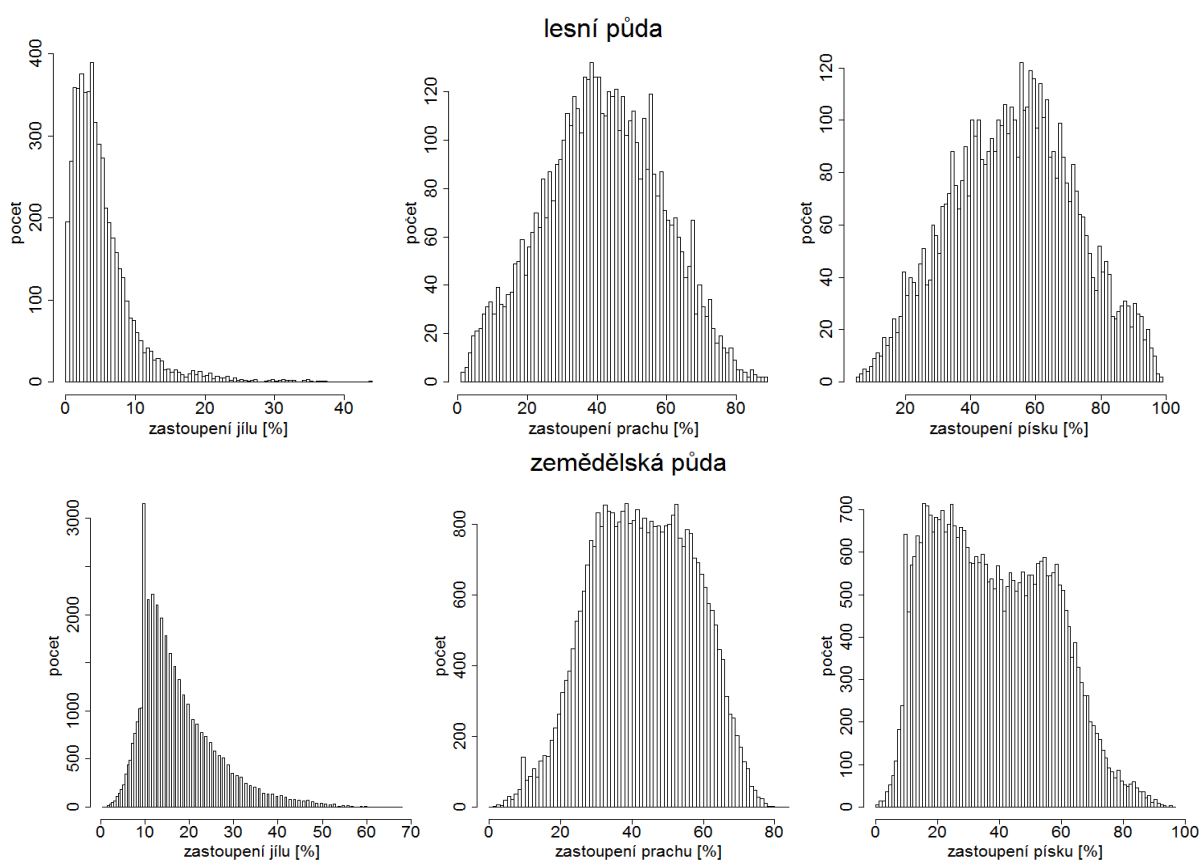
##### 5.1.2.2 Srovnání dat zrnitosti na lesní a zemědělské půdě

Výsledné mapy výrazně ovlivňuje kvalita vstupních datových souborů zrnitosti půdy. Mapy zemědělské půdy vznikly na základě cca 35 000 půdních sond pokrývajících poměrně rovnoměrně (v

průměru 1 sonda na 120 ha) plochu zemědělské půdy. Mapy lesní půdy vznikly na základě 5 327 sond, které o poznání méně rovnoměrně pokrývají plochu lesních půd (Obr. 1). Lesních dat je tedy pro analýzu cca 6,5 krát méně než dat na ZPF.



**Obr. 1: Rozmístění sond na lesní a zemědělské půdě**



**Obr. 2: rozložení měřených hodnot zrnitosti pro jednotlivé frakce na lesní a zemědělské půdě.**

Pro mapování je důležité rozložení hledaného atributu. Stejně jako platí, že čím více dat na trénování, tím lze očekávat lepší výsledek, tak platí, že bude model lépe natrénován pro predikci hojně zastoupených hodnot než méně zastoupených, kde mu chybí učící materiál. Rozložení zrnitosti na lesích a ZPF zobrazuje Obr. 2. Zatímco prach a písek mají pro les i ZPF podobné, a to normální rozložení, jíl má silně zešikmené rozložení a mezi lesem a ZPF se liší. Zatímco v lese jíl nabývá převážně hodnot do 10 % a hodnoty nad 20 % jsou zastoupeny minimálně, na ZPF se těžiště hodnot rozkládá mezi 10–30 %. U jílu lze tedy předpokládat, že model bude jednak silně podhodnocovat vysoké hodnoty jílu a jednak lze očekávat ostré hranice obsahu jílu mezi lesní a zemědělskou půdou, kdy v lese bude obsah nižší než na ZPF.

#### 5.1.2.3 Environmentální proměnné

Pro environmentální proměnné bylo vytvořeno celkem 109 rastrových vrstev představujících jednotlivé faktory SCORPAN. Vrstvy byly vytvořeny ve formátu *tif* s rozlišením 20\*20 m v rozsahu lesní půdy ČR vymezené polygony Lesních typů (databáze ÚHÚL). Jedná se o:

- 6 vrstev faktoru S – mapy ÚHÚL, VÚMOP, ČZU
- 4 vrstvy faktoru C – mapy vytvořené z dat ČHMÚ
- 10 vrstev faktoru O – mapy mozaiky holých půd na základě dat dálkového průzkumu Země (snímky Sentinel II)
- 65 vrstev faktoru R – 13 derivátů DMT 4G (ČÚZK) v 5 různých rozlišeních
- 4 vrstvy faktoru P – geologické mapy ČGS 1:500 000
- 20 vrstev faktoru N – vzájemné vzdálenosti mezi sondami KPP (Behrens et al. 2018)

Podrobný rozpis použitých proměnných a metody jejich zpracování jsou uvedeny v odborných zprávách projektu TJ02000234 (Strouhal et al. 2021b), (Strouhal et al. 2021a).

#### 5.1.3 Digitální mapování

Příprava dat i samotné modelování a výsledná predikce zrnitosti půdy na lesní půdě probíhala v prostředí jazyka R na výpočetním stroji VÚMOP. Pro trénování modelů a predikci byl použit model Quantile Regression Forest (QRF) (Meinshausen, 2006). QRF model vznikl zobecněním klasického modelu Random Forest (RF), kdy výsledná hodnota predikce RF modelu je spočítána jako průměrná hodnota predikce všech stromů modelu. QRF model ale je schopen odhadnout kvantily modelované proměnné pro všechny místa predikce. Kvantil 0,5 (medián) byl použit pro tvorbu výsledné mapy obdobně jako u klasického modelu RF. Hlavní výhodou QRF oproti RF je však možnost z dalších kvantilů odvodit nejistotu map. Z kvantilů 0,25 a 0,75 byl odvozen predikční interval, který s 50 % pravděpodobností pokryje skutečnou hodnotu modelované proměnné v každém pixelu. Pro podrobný technicky vyčerpávající popis použitých metod doporučujeme již zmíněnou metodiku (Žížala et al. 2020b), která se k výsledkům vztahuje.

#### 5.1.4 Tvorba celistvých map zrnitosti a třídy věrohodnosti

Mapy zrnitosti na lesní a zemědělské půdě vznikly stejnou metodikou ale v oddělených projektech mimo jiné z důvodu odlišné datové základny. Pro praktické využití výsledných map je zásadní jejich poskytování ve formě celistvé datové vrstvy s minimálním množstvím oblastí bez hodnot (No data values). K vytvoření celistvé mapy však nestačí prosté spojení obou zdrojových datových vrstev na zemědělském půdním fondu (ZPF) a lesní půdě (LP), neboť se částečně překrývají a v součtu zdaleka nepokrývají beze zbytku celou plochu ČR. Tvorba celistvé mapy tak vyžaduje řadu dodatečných operací, které na základě předem stanoveného rozhodovacího řetězce buď zapisují v každém bodě rastru

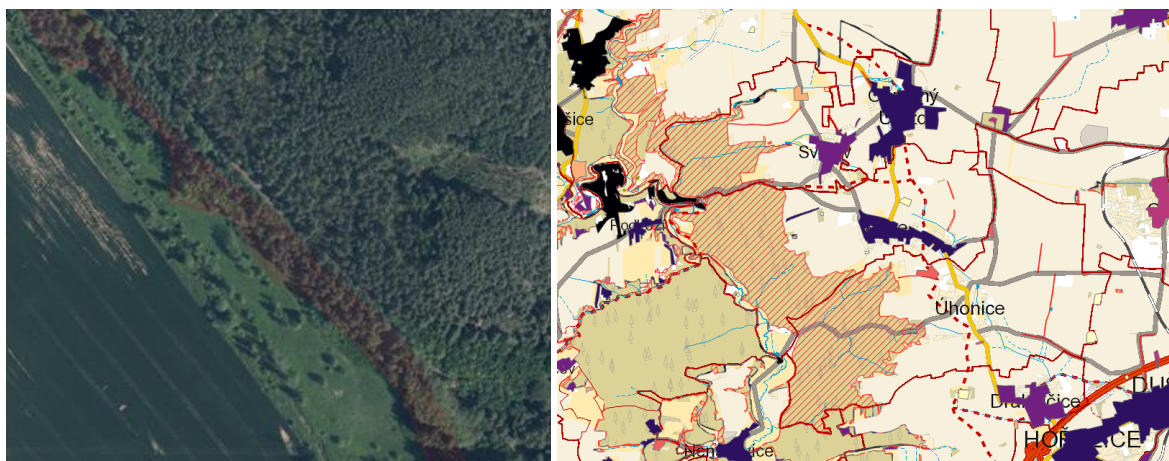


hodnotu z jedné či druhé datové sady (v případě výskytu jedné nebo obou vrstev), nebo vytváří nové hodnoty interpolačními metodami (v případě nepokrytých míst), nebo ponechávají prázdné hodnoty v místech, kde predikce nedává význam (např. velké vodní plochy).

Kromě mapy samotných hodnot zrnitosti (podílu jednotlivých frakcí a zrnitostní třídy) byla vytvořena i mapa tříd věrohodnosti (confidence class), která v pětistupňové škále vyjadřuje kvalitativně míru spolehlivosti hodnoty v daném bodě např. na základě metody odvození hodnoty. Rozhodovací řetězec a použité hodnoty věrohodnosti jsou ilustrovány níže, podrobně je uvádí Odborná zpráva projektu (Strouhal et al. 2021a).

#### 5.1.4.1 Překryvy zemědělské a lesní půdy

Digitální mapování půd na zemědělské půdě bylo provedeno na prostorových jednotkách vymezených původními mapami Komplexního průzkumu půd. Jejich rozsah tedy plně reflektuje rozsah zemědělského půdního fondu (ZPF) v šedesátých letech 20. století. Oproti tomu k mapování lesních půd byly použity polygony Lesních typů dle databáze ÚHÚL, které jsou neustále aktualizované, neboť se jedná o živé, stále využívané mapové dílo. Jeho nevýhodou je menší polohová přesnost např. oproti lesním porostům vymezených v ZABAGED. Překryvy obou podkladových vektorových vrstev tak mohou být důsledkem několika jevů – jedním je prostorová nepřesnost jedné či druhé vrstvy, druhým je skutečný úbytek ZPF na úkor rozšiřování lesa. Prostorově významných překryvů (nad 100 m<sup>2</sup>) obou vektorových vrstev bylo identifikováno v úhrnu více než 2 000 km<sup>2</sup>. Často se jedná o drobné plošné i liniové plochy typu remízků a pásů na rozhraní lesní a orné půdy, jako např. na Obr. 3 vlevo, a jsou důsledkem samovolného rozšiřování lesa na úkor původně zemědělsky využívané půdy. Mezi překryvy se však nachází i plošně rozsáhlé plochy, jako jsou zejména podhorské části hraničních hor (Krkonoše či Šumava), ale i větší celky ve vnitrozemí, které byly ponechány nebo cíleně zalesněny až v pozdější době po komplexním průzkumu zemědělských půd, jako např. část přírodního parku Povodí Kačáku založeného v roce 1988 (Obr. 3 vpravo).



Obr. 3: Červenou šrafou vyznačený překryv plošného vymezení zemědělské půdy z 60. let a současné lesní půdy s vymezeným Lesním typem. Vlevo úzký pás způsobený zřejmě samovolnou sukcesí nebo nepřesným mapovým podkladem, vpravo relativně nový Přírodní park Povodí Kačáku založený v roce 1988.

Při tvorbě celistvé mapy byly v místech překryvů jednotně využity hodnoty z mapování lesních půd. Vzhledem k tomu, že obě datové sady vznikly metodou digitálního mapování a jen v naprostých výjimkách se v těchto místech nacházela sonda se skutečně analyzovanými hodnotami, nelze jednoznačně určit, která z hodnot je správnější. Přednost hodnotám z mapování lesních půd byla dána kvůli o něco aktuálnější datové základně a kvůli konzistenci s aktuálními mapami půdního pokryvu.



Jelikož rozdělení hodnot v lese a na ZPF vykazuje značné rozdíly (popsané v kapitole 2.2.1.1.), vznikají zejména na mapě obsahu jílu patrné ostré předěly mezi zemědělskou a lesní půdou, proto je konzistence s aktuálními mapovými podklady žádoucí. Nutno poznamenat, že samotná změna půdního pokryvu neobhájí preferenci hodnot podle „novějšího“ typu půdního pokryvu, neboť zrnitostní složení lze předpokládat relativně nezávislé na způsobu využívání (obráceně to však neplatí). Preference lesních dat tak byla dána pouze nutnou volbou na základě výše popsaných důvodů.

#### 5.1.4.2 *Nezmapovaná a přetvořená území*

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

##### *A) Rozlehlá nezmapovaná území*

Nejrozsáhlejší nezmapované oblasti tvoří současné vojenské újezdy. Zde nebyly k dispozici půdní sondy ani klíčové prediktory (polygony lesních typů), proto bylo od predikce hodnot zrnitostí v těchto územích upuštěno. V mapách zrnitostních frakcí i v mapě věrohodnosti zde není poskytována žádná hodnota.

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

##### *B) Přetvořená území*

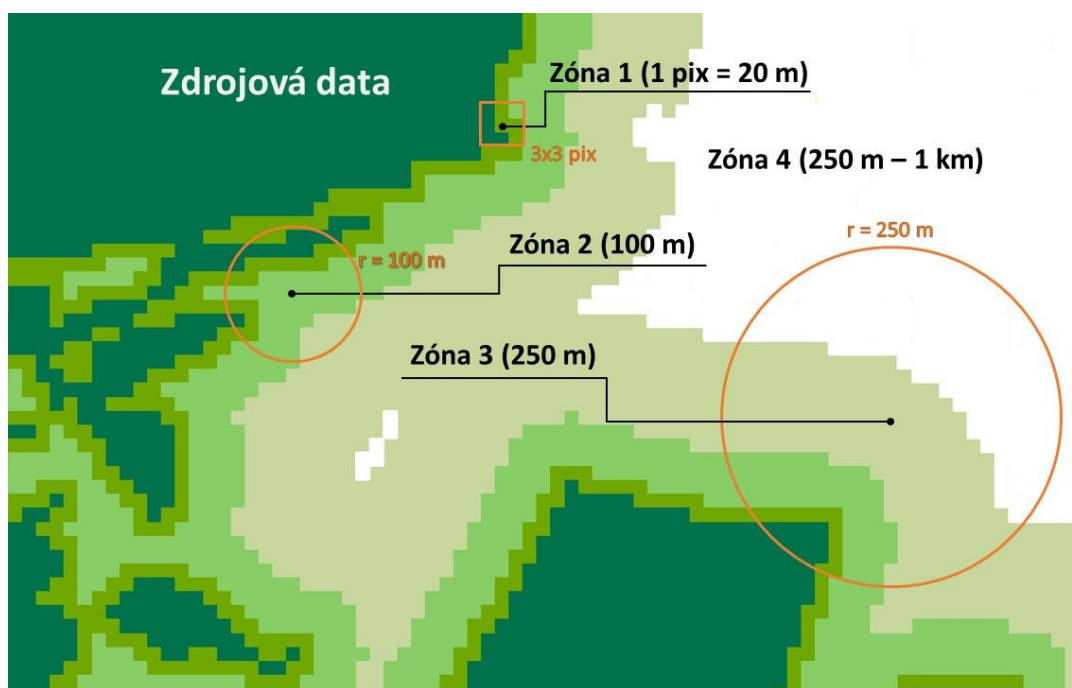
V metodice tvorby bezešvé mapy je v dalším textu pracováno s extrapolací hodnot do maximální vzdálenosti 1 km. I při použití takto velké vzdálenosti stále zůstalo 6 oblastí velkých městských aglomerací, kde zůstalo významné území nepokryté. Jedná se o Prahu, Brno, Ostravu, Olomouc, Plzeň a Ústí nad Labem. Protože se jedná o území s výrazným ovlivněním půdního povrchu lidskou činností, bylo zde rozhodnuto stejně jako u velkých vodních ploch hodnoty zrnitosti vůbec neposkytovat, přestože v okrajových částech data místy existovala (zejména z mapování původně zemědělských ploch, které byly později urbanizovány). Datový zdroj a postup vymezení polygonu určujícího území velkých sídel bez dat jsou podrobněji uvedeny v odborné zprávě projektu (Strouhal et al. 2021a).

Nejkomplexnějším problémem jsou přetvořená území v oblasti povrchových dolů a výsypek. Jedná se o prostorově stále se proměňující území a v měřítku celé ČR neexistuje datový podklad vymezující polohu všech historických výsypek, ani charakteristiky použitých materiálů. Zejména u větších dolů se jedná o extrémně přetvořená území s neznámými půdními charakteristikami, které není možné bez projektové dokumentace půdních děl odhadnout. Proto bylo podobně jako u velkých městských aglomerací rozhodnuto zde data o zrnitosti půd vůbec neposkytovat. Jako polohopisný podklad byla vytvořena polygonová vrstva spojující plochy ze ZABAGED 2015 z kategorie Povrchová těžba, lom a

Halda odval s výslednou plochou nad 0,25 km<sup>2</sup>. Celkem 109 polygonů bylo ručně doeditováno a zjednodušeno nad ortofotosnímkiem.

### C) Drobná nezmapovaná území

Zbylé plochy po vyjmutí výše vyjmenovaných případů byly zaplňovány extrapolovanými hodnotami ve čtyřech zónách dle vzdálenosti, jak znázorňuje Obr. 6. Nejmenší zóna o rozměru 1 pixelu (20 m) byla zaplňována průměrnou hodnotou v rámci prostorového filtru 3x3 pixely. Tento filtr byl užitečný k zahlazení drobných liniových nespojitostí typu silnice nebo drobného vodního toku. Třída věrohodnosti dat v této první zóně byla uvažována rovná originálním datům (confidence = 1). Druhá zóna pokrývala oblast od okraje první zóny do vzdálenosti 100 m od okraje originálních hodnot z digitálního mapování a zapisovány sem byly průměrné hodnoty z kruhového filtru o poloměru 100 m. Analogicky třetí zóna pokrývala oblast 100 až 250 m od okraje zmapovaných ploch, přičemž do průměrování (kruhový filtr o poloměru 250 m) byly kvůli spojitosti zahrnuty i hodnoty z nižších zón. Výsledné vrstvy extrapolovaných hodnot ve třech zónách byly vytvořeny samostatně pro rastrové výstupy z mapování na ZPF a na lesní půdě, celkem tedy 6 rastrů. V rámci nejvzdálenější zóny 250 m až 1 km byly zapisovány průměrné hodnoty z kilometrového filtru, ovšem již ze *spojených* vrstev zrnitostí půd na ZPF a lesní půdě. Těmito hodnotám byla v následujícím rozhodovacím algoritmu vždy přiřazena nejnižší třída věrohodnosti (confidence = 5).



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

Jako podklad pro rozhodovací algoritmus pro zapisování hodnot zrnitostí byly kromě popsané zonace dle vzdálenosti od původních vrstev použity informace o půdním pokryvu. Jako datový podklad byly využity vybrané třídy evropské databáze Corine Land Cover 2018 (CLC) s hrubým rozlišením 100 m a vybrané vrstvy s vysokým rozlišením (High Resolution Layers) z roku 2018. Jejich kompletní seznam se specifikací tříd nebo rozsahem hodnot a podrobný postup rozhodovacího algoritmu je uveden v odborné zprávě projektu (Strouhal et al. 2021a). Zjednodušeně lze rozhodovací schéma popsat tak, že v každém pixelu algoritmus zjišťoval postupně pokrytí daty od nejbližších zón po vzdálenější, přičemž v rámci každé zóny dával přednost buď datům zrnitosti z lesní půdy nebo ZPF podle toho, jaký půdní

pokryv indikovaly vrstvy CLC. Aspekt vzdálenosti od originálních dat z digitálního mapování tak měl přednost před půdním pokryvem.

Pomocí popsaného algoritmu byly zapsány extrapolované hodnoty zrnitostí do všech nepokrytých míst kromě výše vyjmenovaných a záměrně vynechaných území. Současně byly zapsány předběžné třídy věrohodnosti dat podle vzdálenosti místa extrapolace od zdrojových dat a podle půdního pokryvu. Tyto třídy byly dále penalizovány v případě, že v daném pixelu byly identifikovány jako půdní pokryv vodní plochy dle ZABAGED o velikosti 0,5 – 2 ha nebo intravilán s vyšším podílem nepropustných ploch dle CLC. Kompletní výčet použitých kategorií půdního pokryvu a hodnot penalizace tříd věrohodnosti uvádí Odborná zpráva projektu (Strouhal et al. 2021a).

## 5.2 Výsledky

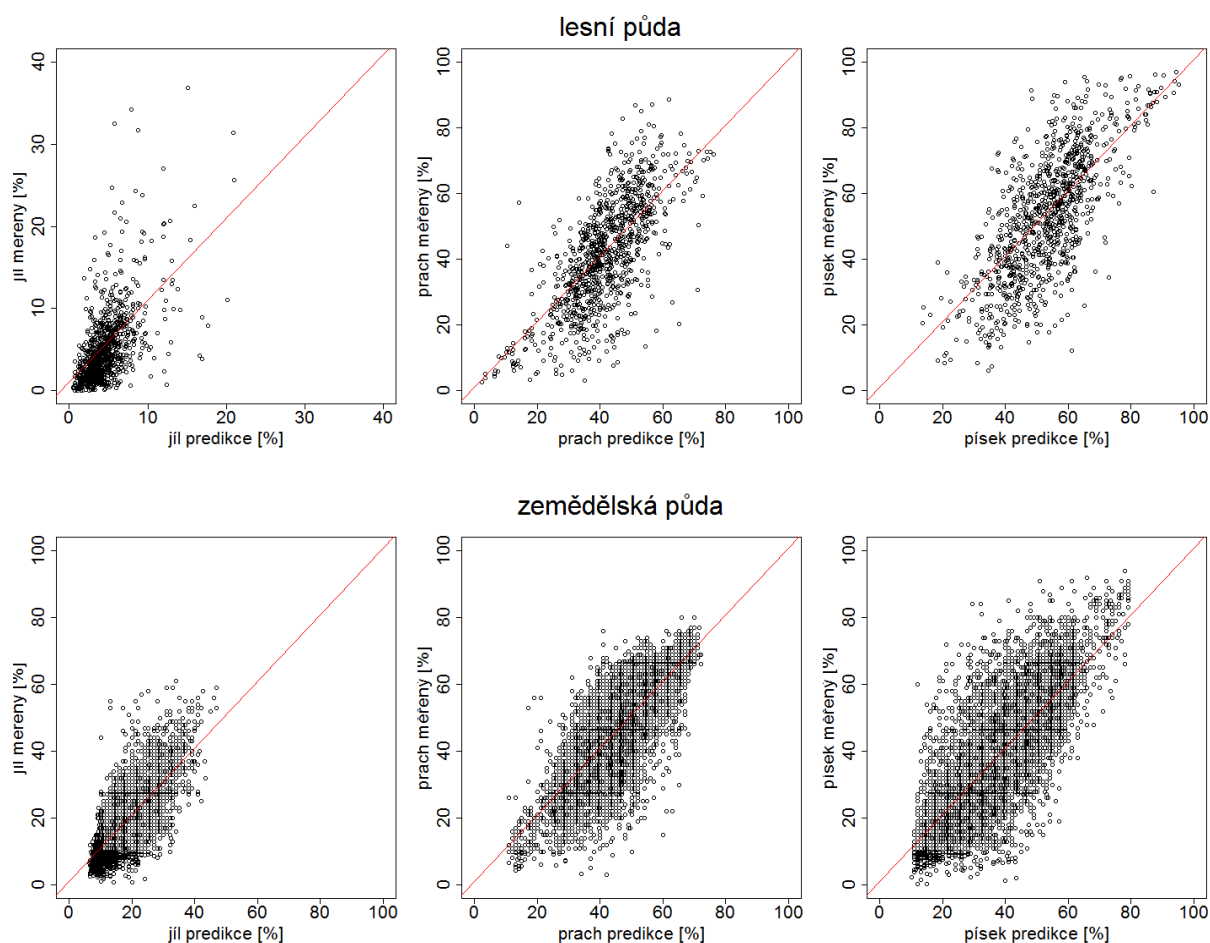
Výsledné mapy jílů a prachu včetně mapy potenciální chyby predikce zobrazují Obr. 7 a Obr. 8. Zrnitost půdy je kompozitní půdní vlastnost, kdy součet jednotlivých zrnitostních frakcí musí být roven 100 %. Vzhledem k tomu, že model predikuje zrnitost s neznámou chybou, součet modelovaných frakcí nemusí tuto podmínku splňovat. Třetí zrnitostní frakce, písek, byla proto dopočítána jako doplněk součtu jílu a prachu do 100 %. Mapa písku je zobrazena na Obr. 9. Na základě poměru jednotlivých frakcí byla odvozena mapa zrnitostních tříd zrnitostního trojúhelníku TKSP na Obr. 10.

Přesnost predikovaných map je uvedena v Tab. 1, graficky schopnost predikovat zrnitost ukazuje Obr. 5, kde jsou pro každou frakci na zemědělské i lesní půdě porovnány měřené a predikované hodnoty v testovacím souboru. Obecně je predikce zrnitosti spolehlivější na zemědělské než na lesní půdě, což je dáno násobně menším počtem trénovacích dat na lesní půdě. Výrazně nejhůře je predikován jíl na lesní půdě, značná část chyby je ovšem způsobena neschopností modelu predikovat vysoké hodnoty, které jsou v lesích málo zastoupeny a model neměl dostatek informací pro jejich natrénování.

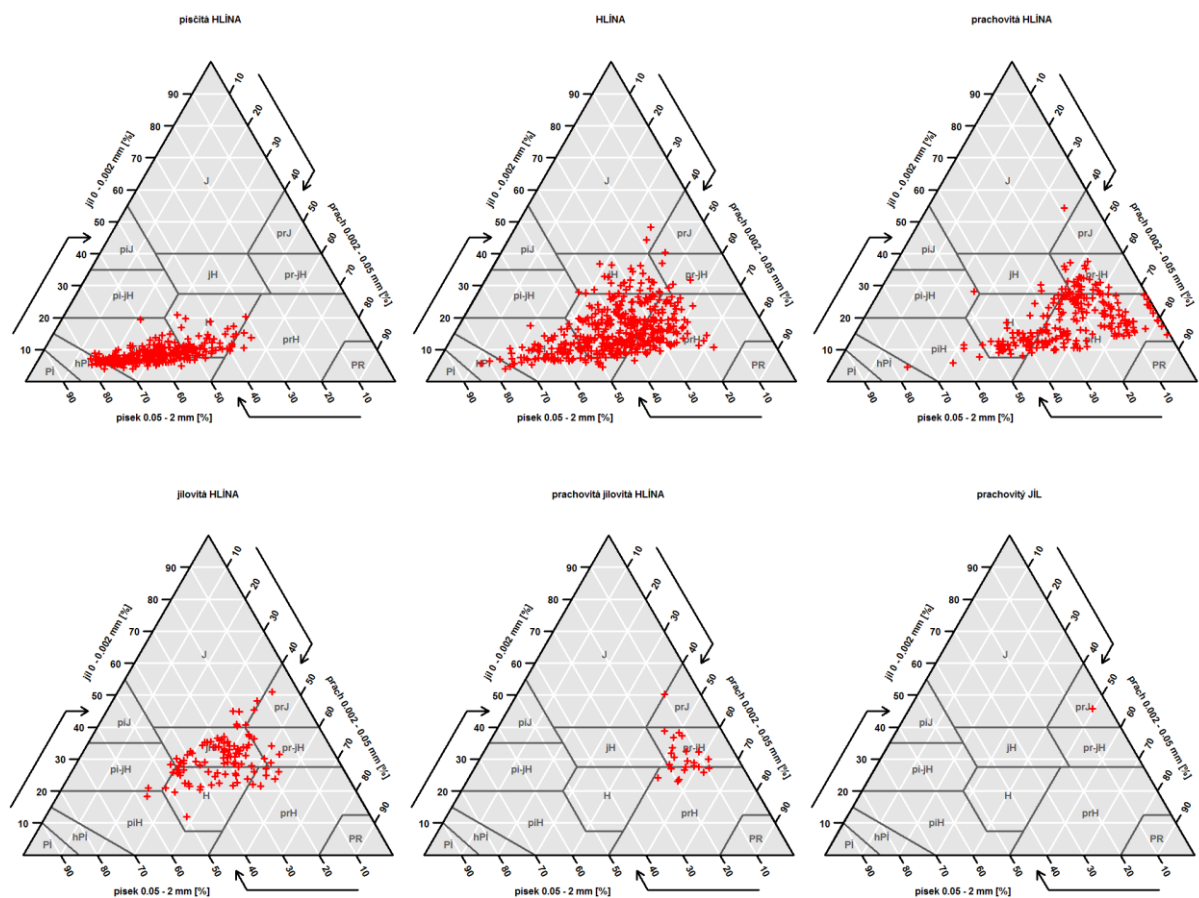
Tab. 1: Přesnost predikce zrnitostních frakcí jílu a prachu na lesní a zemědělské půdě

metriky	jíl	prach	písek
<b>les</b>			
RMSE	3,4	11,87	13,23
R <sup>2</sup>	0,33	0,50	0,51
CCC	0,49	0,65	0,66
<b>Zemědělská půda</b>			
RMSE	5,56	8,95	11,14
R <sup>2</sup>	0,61	0,61	0,65
CCC	0,74	0,75	0,78

Na zemědělské půdě byla spolehlivost mapování zrnitosti dále vyhodnocena na základě nezávislého validačního souboru obsahujícího 1 100 půdních sond s laboratorním zrnitostním rozbořem provedeným na pracovišti VÚMOP pro účely různých studií a projektů v letech 2011 - 2020. Pro lesní půdu není obdobný soubor dostupný. Hodnocena byla shoda zrnitostní kategorie mezi modelovanou mapou a sondami validačního souboru. Na 627 z celkových 1 100 lokalit, tedy v 57 % případů byla určena správná zrnitostní kategorie. Většině chybně určených lokalit byla v mapě přiřazena některá ze sousedních kategorií. Vyhodnocení správnosti určení zrnitostní kategorie je zobrazeno na Obr. 6. Pro každou zrnitostní kategorii zastoupenou v mapě jsou zobrazeny v zrnitostním trojúhelníku sondy z validačního souboru s jejich zrnitostním složením. Z obrázku je patrné, že pouze minimum sond bylo určeno s větší nepřesností, než je sousední kategorie.

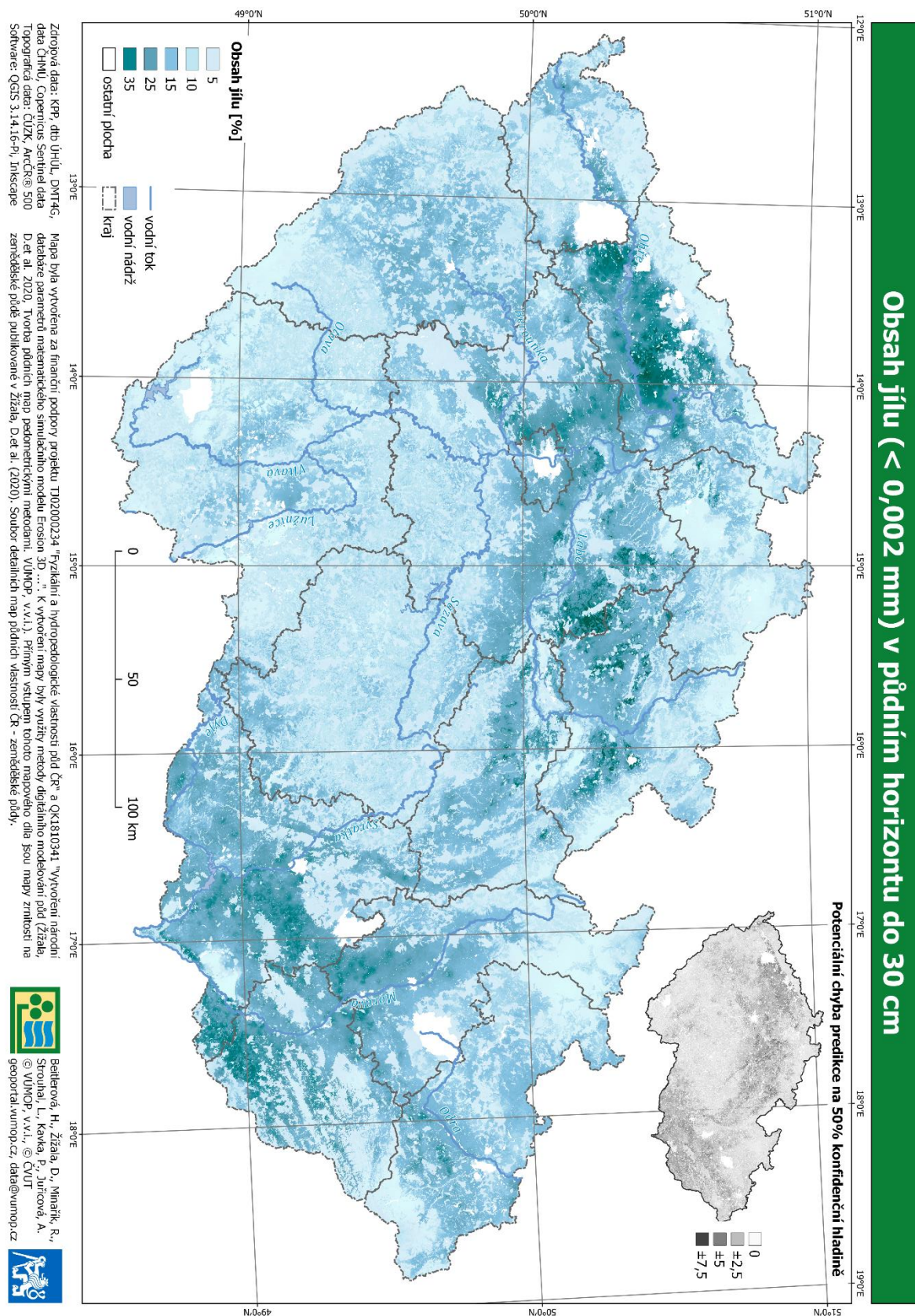


**Obr. 5: Validace modelu QRF pro jednotlivé frakce na zemědělské a lesní půdě na testovacím souboru (20 % celkového množství sond). V grafech jsou porovnány měřené hodnoty zrnitostní frakce s hodnotami predikovanými. Pozn.: jíl na lesní půdě je zobrazen na ose 0–40 %, ostatní 0–100 %**



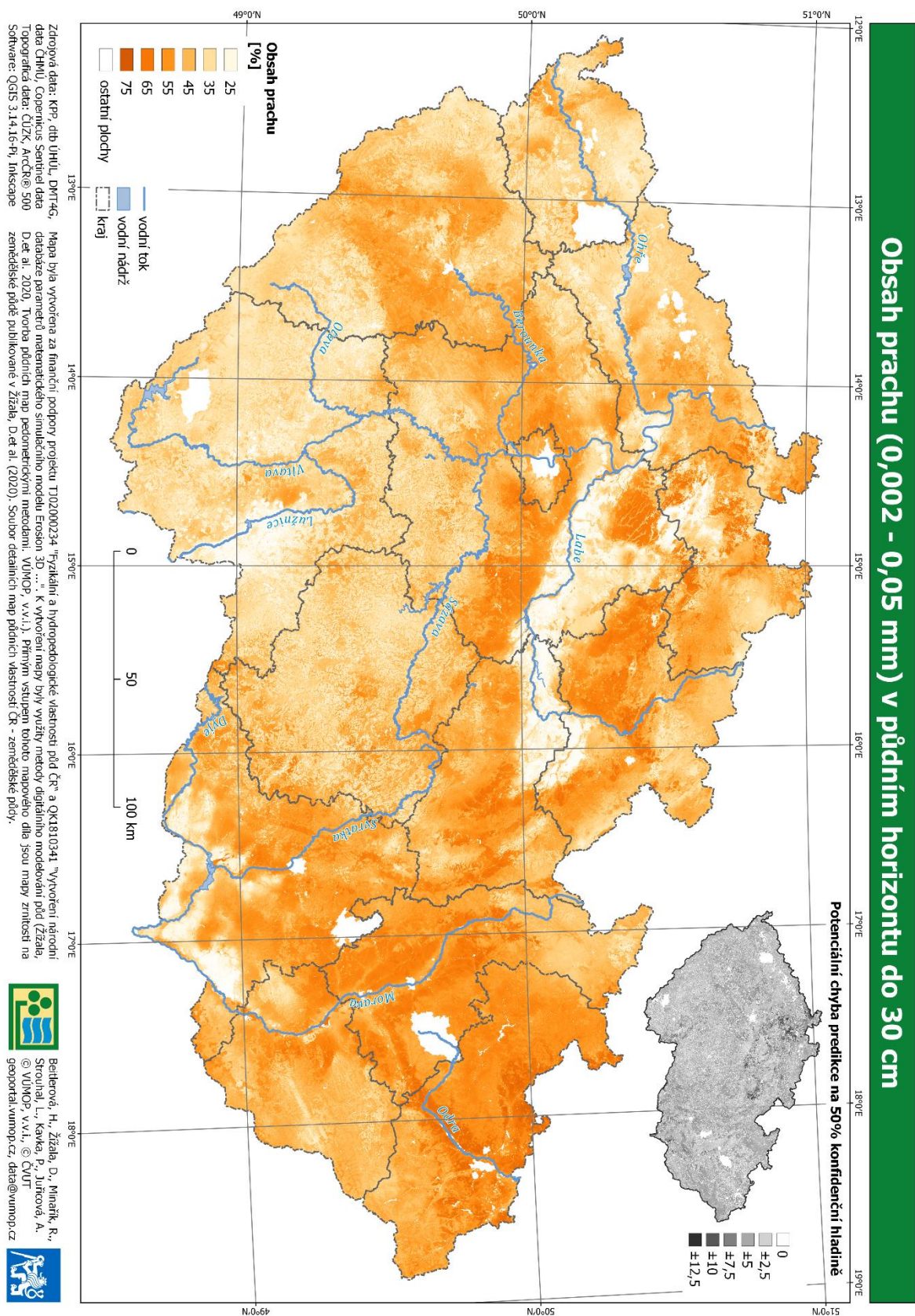
Obr. 6: Validace mapy zrnitostních kategorií. Každý trojúhelník zobrazuje jednu zrnitostní kategorii v mapě, červené body zobrazují měřené zrnitostní složení validačních sond vyskytujících se v lokalitách s danou modelovanou kategorií. Z trojúhelníků je patrné, že většina lokalit je zařazena do správné kategorie, případně kategorie sousední.





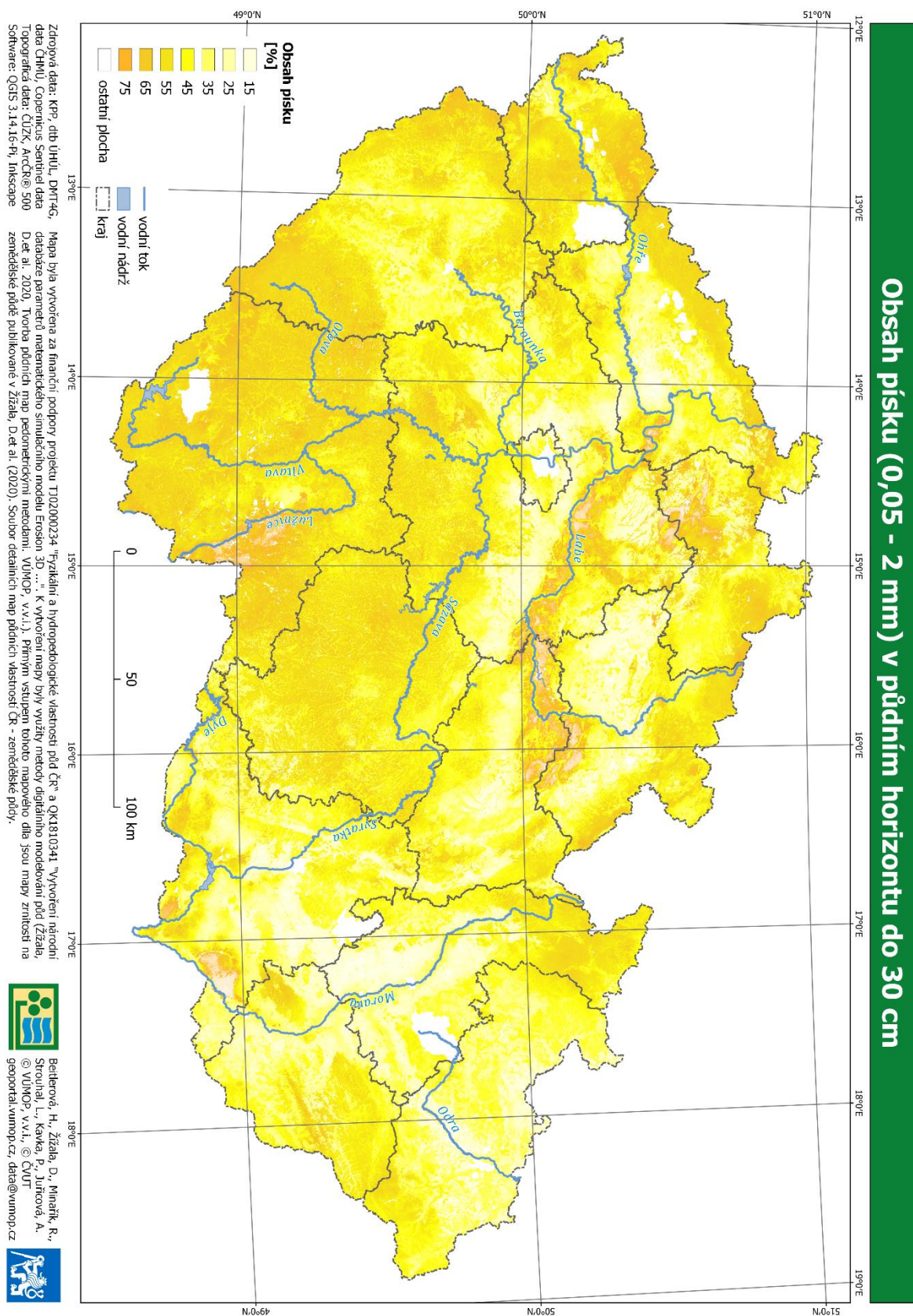
Obr. 7: Mapa jílů na území ČR v půdním horizontu do 30 cm.





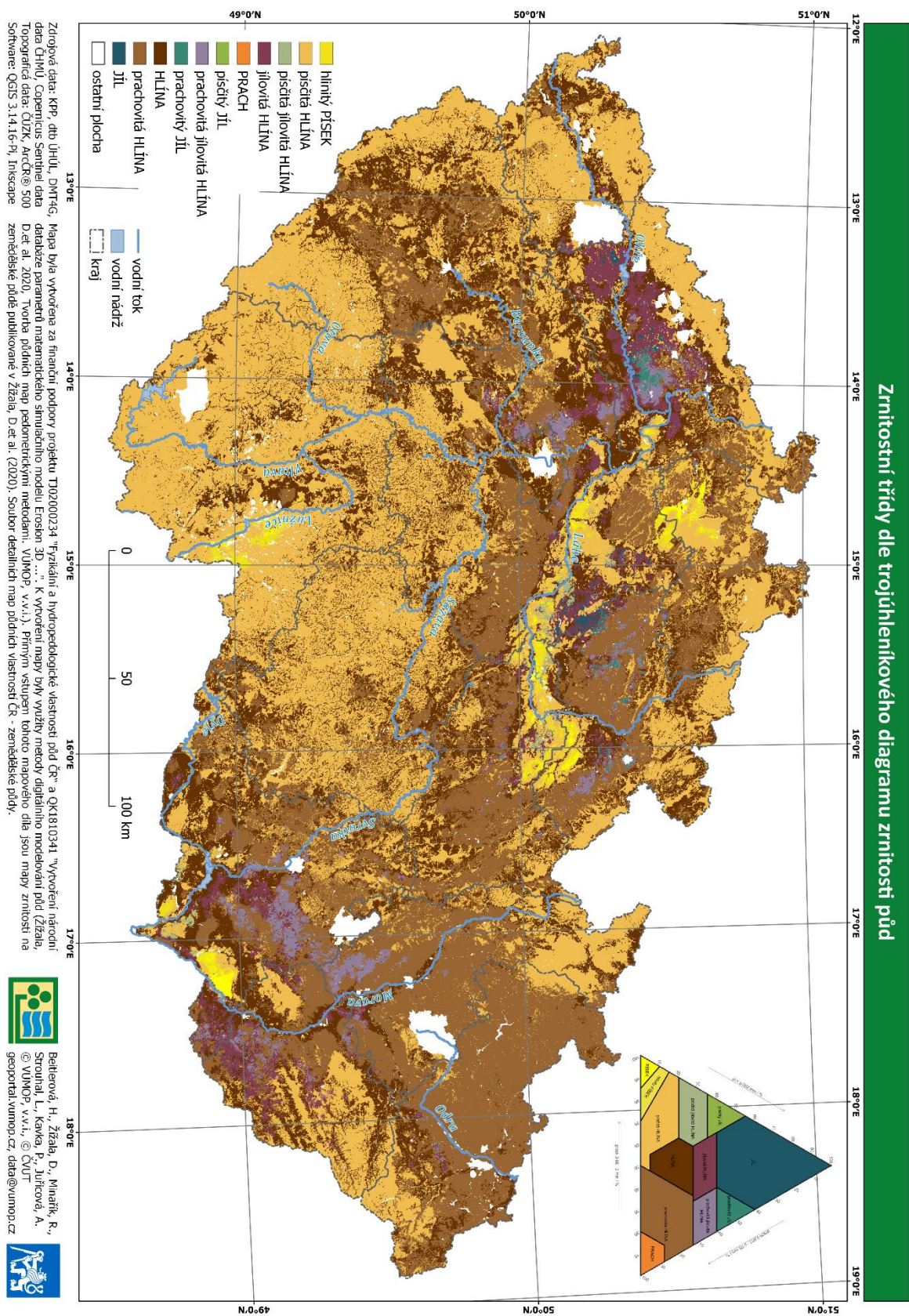
Obr. 8: Mapa prachu na území ČR v půdním horizontu do 30 cm.





Obr. 9: Mapa písku na území ČR v půdním horizontu do 30 cm.





Obr. 10: Mapa zrntostních kategorií na území ČR dle zrntostního trojúhelníku TKSP

## 6 Mapa hydrologických skupin půdy

### 6.1 Data a metody

Podle originální metodiky (USDA NRSC 2009) je hydrologická skupina půdy (HSP) definována zejména na základě hydraulické vodivosti (a dále hloubky k hladině podzemní vody), což je ovšem velmi špatně dostupná a značně proměnlivá fyzikální charakteristika. Ve světě tak je v praxi nejčastěji HSP stanovována na základě zrnitosti půdy, s níž je hydraulická vodivost nejtěsněji svázána. Za příklad lze jmenovat HYSOGs250m - globální dataset HSP pro použití v metodě čísel odtokových křivek CN (SCS 1986). Při jeho zpracování byla v souladu s původní metodikou určena HSP na základě USDA klasifikace zrnitostních tříd pro každou z dostupných hloubek v rámci půdního profilu a výsledná HSP v každém pixelu pak stanovena jako nejméně příznivá (nejméně propustná) z nich.

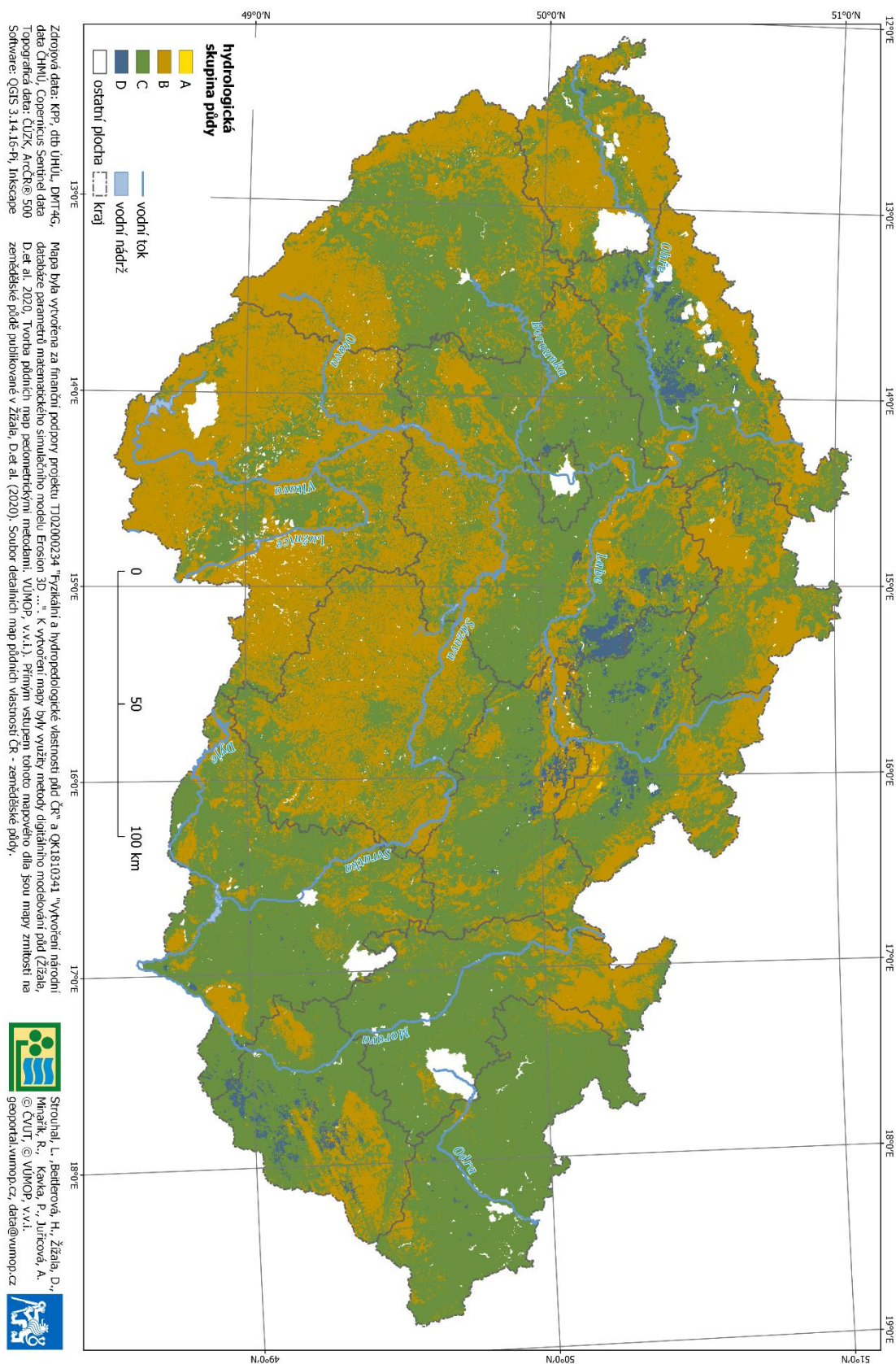
Stejný přístup byl aplikován při odvození zde prezentované mapy HSP. V rámci digitálního mapování zrnitostí na lesní půdě byly v projektu TJ02000234 odvozeny obsahy jílu, prachu a písku ve třech horizontech: 0 – 30 cm, 30 – 60 cm a 60 – 90 cm. Na zemědělské půdě byly k dispozici zrnitostní třídy pro první dva zmíněné horizonty, tedy do 60 cm. V prvním kroku byly vytvořeny pro každý hloubkový horizont spojité mapy obsahu tří základních půdních frakcí dle metody popsané v kapitole 5.1.4, přičemž pro horizont 60 – 90 cm byla pro chybějící odpovídající data na zemědělské půdě použita data z předchozího horizontu 30 – 60 cm. To bylo nezbytné kvůli interpolaci dat do oblastí nepokrytých ani jedním datovým zdrojem. V druhém kroku byla pro každý horizont vytvořena mapa tříd zrnitostí dle klasifikace TKSP, mapa pro povrchový horizont je znázorněna na Obr. 10, mapy pro ostatní horizonty nejsou součástí publikovaného souboru map. Na základě zrnitostní třídy pak byly v každém horizontu přiřazeny třídy HSP podle Tab. 2. Pro tvorbu finální mapy byla nakonec v každém bodě převzata nejhorší (nejméně propustná) třída HSP ze všech tří horizontů. Mapa je znázorněna na Obr. 11.

Tab. 2: Převodní klíč mezi zrnitostní třídou a hydrologickou skupinou půdy

HSP	Zrnitostní třída USDA (=TKSP)
A	písek
B	písčítá hlína, hlinitý písek
C	jílovitá hlína, prachovitá jílovitá hlína, písčítá jílovitá hlína, hlína, prachovitá hlína, prach
D	jíl, prachovitý jíl, písčitý jíl



## Hydrologická skupina půdy



Obr. 11: Mapa hydrologických skupin půd na území ČR

## 7 Oponentní posudky

Odborný oponent: prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka, Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra pedologie a ochrany půdy

Oponent odborného orgánu státní správy: Ing. František Pavlík, Ph.D. Státní pozemkový úřad

## 8 Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování map

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.

STROUHAL, L., H. BEITLEROVÁ, P. KAVKA, ŽÍŽALA D. a R. MINAŘÍK, 2021. Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd nejen pro návrh společných zařízení v rámci PÚ. *Pozemkové úpravy* [online]. **29**(2), 7. Dostupné z: <http://www.cmkpu.cz/casopis/>

ŽÍŽALA, D., MINAŘÍK, R., BEITLEROVÁ, H., JUŘICOVÁ, A., SKÁLA, J., ROJAS, R., ... ZÁDOROVÁ, T. (v tisku.). High-resolution soil property maps from digital soil mapping methods, Czech Republic. *Catena*. Dostupné na: <https://ssrn.com/abstract=3928321>

ŽÍŽALA, D., MINAŘÍK, R., VAŠÁT, R., SKÁLA, J., JUŘICOVÁ, A., TEREZA, Z., ... BEITLEROVÁ, H. (2020). *Tvorba půdních map pedometrickými metodami*. (D. ŽÍŽALA, Ed.) (1. vyd.). Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i.

ŽÍŽALA, D., MINAŘÍK, R., JUŘICOVÁ, A., Zádorová, T., BEITLEROVÁ, H., & Penížek, V. (2020). Soubor detailních map půdních vlastností ČR - zemědělské půdy. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

## 9 Reference

BEHRENS, T., K. SCHMIDT, R. A. VISCARRA ROSSEL, P. GRIES, T. SCHOLTEN a R. A. MACMILLAN, 2018. Spatial modelling with Euclidean distance fields and machine learning. *European Journal of Soil Science* [online]. **69**(5), 757–770. ISSN 13652389. Dostupné z: doi:10.1111/ejss.12687

MCBRATNEY, A. B., M. L. MENDONÇA SANTOS a B. MINASNY, 2003. *On digital soil mapping* [online]. ISBN 0016-7061. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-7061(03)00223-4

NEMEČEK, Jan, Marcela ROHOŠKOVÁ, Jaromír MACKŮ, Jiří VOKOUN, Dušan VAVŘÍČEK a Pavel NOVÁK, 2011. *Taxonomický klasifikační systém České republiky*. 2. vyd. B.m.: CZU v Praze.

SCS, 1986. *Tech. Rep. 55: Urban hydrology for small watersheds*.

STROUHAL, L., H. BEITLEROVÁ, P. KAVKA, D. ŽÍŽALA a S. BOSÁKOVÁ, 2020. *Odborná zpráva projektu TJ02000234 za rok 2019*.

STROUHAL, L., H. BEITLEROVÁ, P. KAVKA, D. ŽÍŽALA a S. BOSÁKOVÁ, 2021a. *Odborná zpráva projektu TJ02000234 - souhrn za roky 2019 - 2021*.

STROUHAL, L., H. BEITLEROVÁ, P. KAVKA, D. ŽÍŽALA a S. BOSÁKOVÁ, 2021b. *Odborná zpráva projektu TJ02000234 za rok 2020*.



USDA NRSC, 2009. *National Engineering Handbook. Part 630 Hydrology. Chapter 7 Hydrologic Soil Groups.*

VOPRAVIL, Jan, Ondřej HOLUBÍK, Petra HUISLOVÁ, Tomáš KHEL, Štěpánka MATOUŠKOVÁ, Martin PETERA a David ŘEHÁČEK, 2018. *Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky.* Praha: VÚMOP, v.v.i.

ZÁDOROVÁ, Tereza, Daniel ŽÍŽALA, Vít PENÍŽEK a Anna JUŘICOVÁ, 2018. *Harmonizace databáze KPP s klasifikacemi TKSP a WRB 2014. Certifikovaná metodika.* Praha: VÚMOP. ISBN 978-80-87361-94-8.

ŽÍŽALA, Daniel, Robert MINAŘÍK, Anna JUŘICOVÁ, Tereza ZÁDOROVÁ, Hana BEITLEROVÁ a Vít PENÍŽEK, 2020a. *Soubor detailních map půdních vlastností ČR - zemědělské půdy.* 2020. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

ŽÍŽALA, Daniel, Robert MINAŘÍK, Radim VAŠÁT, Jan SKÁLA, Anna JUŘICOVÁ, Tereza ZÁDOROVÁ, Vít PENÍŽEK a Hana BEITLEROVÁ, 2020b. *Metodika tvorby aktuálních půdních map pedometrickými metodami.* Praha: VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-88323-34-1.

