



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství**

**Klasifikace území pro erozní modely pomocí GIS
a veřejně dostupných datových zdrojů**

**Landscape classification for soil erosion models by GIS
based on publicly available data**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jan Devátý

Doktorský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

Školitel: doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál

Praha, 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Jan Devátý

Název disertační práce: Klasifikace území pro erozní modely pomocí GIS a veřejně dostupných datových zdrojů

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele Tomáše Dostála

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením projektu: VG 20122015092 – „Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu“

V Praze dne 31. 1. 2018

podpis

Poděkování

Děkuji především svým rodičům za nekončící trpělivost s mým studiem, za podporu psychickou i materiální, své milované a milující ženě Haničce za toleranci a poskytnutí prostoru pro dokončení této práce a důvěru v to, že se tak opravdu stane. Děkuji svému školiteli Tomáši Dostálovi, který mi vždy byl ochoten pomoci a měl pochopení s mým nárazovým pracovním nasazením. Děkuji také všem kolegům na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství za podnětné připomínky, pomoc s testováním a odhalováním chyb.

Anotace

Cílem práce je vytvoření automatizovaného nástroje pro vytvoření takové prostorové definice využití ploch v území, která může sloužit pro přípravu plošně distribuovaných vstupních dat erozních modelů nezávisle na konkrétním použitém modelu. Důraz je kladen na co nejpřesnější definici prvků krajinné matrice v extravilánu, které mají vliv směřování povrchového odtoku a tím silně ovlivňují koncentraci odtoku a tím i plošnou distribuci intenzity erozních jevů. V úvodních kapitolách jsou představeny možnosti reprezentace geografických dat pro tento účel a jsou shrnuty požadavky vybraných, v současnosti používaných distribuovaných a semi-distribuovaných erozních modelů na definici vstupních dat. Dále jsou popsány algoritmy trasování odtoku používané v geografických informačních systémech, které jsou obecně založeny na výškových poměrech digitálních modelů terénu a je zkoumáno jestli umožňují vnesení nevýškových prvků pro externí definování směru odtoku. Jsou popsány nejpřesnější dostupné datové zdroje obsahující informace o využití ploch a jejich vlastnostech a to z pohledu využitelnosti pro hledanou definici využití ploch pro erozní modely.

Práce prezentuje vytvořený automatizovaný nástroj pro prostředí ArcGIS, který umožňuje automatizované generování datasetu využití ploch, který je vhodný jako základní geografický podklad pro definování vstupních parametrů distribuovaných erozních modelů. Představený nástroj pomocí logických a geometrických operací vytváří topologicky čistou definici využití ploch ze dvou datových zdrojů dostupných pro celou plochu České republiky: vybraných objektů mapového díla ZABAGED® a geografické databáze uživatelských vztahů na zemědělské půdě LPIS. Je popsáno uživatelské prostředí nástroje a možnosti nastavení výpočtu, dále je popsán sled operací, který ze vstupních datasetů vytváří jeden výstupní dataset, který splňuje požadavky definované v úvodu. Kvalita výstupní vrstvy využití ploch je validována superpozicí s vrstvou využití ploch manuálně vytvořenou nad leteckým snímkem. Pro dvě validační území s celkovou rozlohou 69 km² jsou podrobně analyzovány nesoulady mezi datasetem automaticky vygenerovaným vytvořeným nástrojem a validačním datasetem využití ploch. Celková úroveň shody pro všechny kategorie využití ploch činí 84% respektive 91% pro zemědělské kategorie. Pro ornou půdu, tedy plochy nejvíce ohrožené ztrátou půdy, je shoda v polohovém určení 95% a zároveň jsou velmi dobře definovány prvky ovlivňující odtok, které nejsou přítomné ani v jednom ze vstupních datových zdrojů.

Abstract

The goal of this work is to establish an automated geoprocessing tool for creation of the land-use spatial definition that can be used for general preparation of spatially distributed input data for soil erosion models independent of particular model. Precise definition of landscape matrix elements that interfere with surface runoff and flow concentration in the agricultural landscape is emphasized because such elements strongly influence the patterns of intensive soil erosion distribution.

Firstly the geographical data representations suitable for the task are addressed and spatial input data requirements of contemporary distributed and semi-distributed soil erosion models are assessed. Widely used flow-tracing algorithms within geographical information systems are described and their capability to incorporate non-elevation structures for additional flow direction alternation is evaluated. The state-of-art data sources that include land-structure and land-use information are described with a focus on their usability for defining the desired land-use definition specific for soil erosion models input data preparation.

The created geoprocessing tool based on the ArcGIS API framework is presented. The tool produces a topologically correct land-use definition by a series of geometrical and logical operations. The output dataset is suitable as a fundamental basis for soil erosion models input data definition and storage. Inputs used are the two major spatial data products available for the extent of whole Czech Republic: ZABAGED® and LPIS, geographical usership database of agricultural land. The user interface is described together with available user settings of the tool. The processing operations sequence transforming the input data to the output dataset fulfilling the demands is outlined. Quality of the output dataset is assessed by validation against land-use definition manually digitized from aerial photographs for two areas with combined area of 69 km² and the discrepancies between the automatically generated and manually created datasets are thoroughly analyzed. Overall match in categories is 84% of the total spatial extent and 91% of the agricultural categories. The arable land category which is the most endangered by the soil loss risk shows 95% match of its area. The landscape elements that influence the surface runoff that are not present in neither of the input data are very well captured.

Obsah

1	Úvod	5
1.1	Cíle práce	7
2	Faktory erozního procesu	8
2.1	Srážka	8
2.2	Půda	9
2.3	Porost	9
2.4	Morfologie terénu	10
2.5	Členění krajiny	11
3	Reprezentace reality pomocí GIS	12
3.1	Vektorové datové struktury	14
3.1.1	Polohopisná data	14
3.1.2	Výškopisná data	15
3.2	Rastrové datové struktury	16
3.2.1	Polohopisná data	16
3.2.2	Výškopisná data	17
4	Erozní modely	19
4.1	Klasifikace erozních modelů	19
4.2	Popis vybraných erozních modelů	20
4.2.1	Univerzální rovnice ztráty půdy a její odvozeniny	20
4.2.2	Erosion-3D	23
4.2.3	SMODERP	25
4.2.4	WEPP	25
5	Morfometrická analýza	26
5.1	Parametry terénu	26
5.2	Terénní objekty	28
5.3	Zdroj výškových dat pro tvorbu DMT	29
5.4	Měřítko řešení	30
5.5	Výpočet terénních parametrů	30
5.6	Určení přispívající plochy a délky toku	31
5.7	Liniové prvky ovlivňující směr odtoku	34
6	Datové zdroje	36
6.1	Využití území	36
6.1.1	ZABAGED	36
6.1.2	LPIS	40
6.2	Výškopis terénu	44
6.2.1	DMR 4G	44
6.2.2	DMR 5G	45
7	Nástroje pro generování vstupních vrstev distribuovaných erozních modelů	47
7.1	Nástroje pro vytvoření definice využití ploch – Land Use complex processing	48
7.1.1	Definice výstupních kategorií využití ploch	50
7.1.2	Uživatelské rozhraní nástroje	54
7.1.3	Oddělení sadů a zahrad - určení hranice intravilánu	57
7.2	Popis algoritmu generování vrstvy využití ploch	58
7.2.1	Přípravné operace	58
7.2.2	Antropogenní a zpevněné plochy	60
7.2.3	Oddělení sadů a zahrad	63
7.2.4	Travní a lesní porosty	65
7.2.5	Orná půda	65
7.2.6	Ostatní neurčené plochy a křovinaté porosty	65
7.2.7	Vodní plochy	65
7.2.8	Chmelnice	65
7.2.9	Vinice	66
7.2.10	Finální úpravy datasetu využití ploch	66
7.2.11	Kalibrace nastavení nástroje	67
7.3	Nástroje pro získání definice LPIS	68
7.3.1	Automatické stažení LPIS pro velká území - Download LPIS	69
7.3.2	Získání seznamu uživatelů LPIS pro velká území - Get table of LPIS users	71

8	Validace výstupů nástroje	73
8.1	Území „Kolín“	77
8.2	Území „Botič“	78
9	Výsledky	81
9.1	Automaticky vytvořená mapa využití ploch	81
9.2	Validace Land-use processing	82
9.2.1	Antropogenní a zpevněné plochy	87
9.2.2	Cesty	89
9.2.3	Křovinaté porosty	90
9.2.4	Lesní porosty	91
9.2.5	Orná půda	92
9.2.6	Sady	93
9.2.7	Travní porosty	94
9.2.8	Vodní plochy	96
9.2.9	Zahrady	96
10	Diskuze	99
10.1	Nástroje pro vytvoření vstupních vrstev erozních modelů	99
10.1.1	Orná půda	99
10.1.2	Antropogenní plochy v intravilánu	103
10.1.3	Liniová dopravní infrastruktura	105
10.1.4	Zahrady a sady	108
10.1.5	Lesní, travní a křovinaté porosty	112
10.1.6	Vodní plochy	115
10.2	Praktické aplikace automaticky generované vrstvy využití ploch	116
11	Závěr	118
12	Použitá literatura	121

1 Úvod

Erozní procesy obecně zahrnují přírodní děje, které vedou k uvolňování částic z matečného materiálu, v důsledku namáhání jejich povrchu pohybující se okolní hmotou: vodou, vzduchem, ledem ale i kamením, pískem či lidskou činností. V případě přírodních dějů v České republice jsou hlavními činiteli dešťové srážky a vítr. Uvolněné částice jsou následně transportovány a ukládány. Vodní eroze je přirozenou součástí hydrologického cyklu a je jedním z významných činitelů při vývoji krajiny. V přírodním stavu bez zásahu člověka je v podmínkách České republiky naprostá většina povrchu pokryta vegetací případně doplněnou o vrstvu organického materiálu. Během nenadálých událostí jako jsou sesuvy půdy či lesní požáry se může část půdního povrchu obnažit (či vytvořit), ale je přirozenou vlastností ekosystémů, že tato místa jsou v krátké době využita organismy, které jsou přizpůsobeny právě odpovídajícím podmínkám. Následná sukcese pak dlouhodobě vede k ustavení metastabilního společenstva, které v našich podmínkách na suchozemských stanovištích, až na výjimky, zahrnuje zelené rostliny, což obecně vede k přibývání organické hmoty. Konečným stádiem sukcese je klimax, tedy stav kdy je dané stanoviště využíváno optimálně s ohledem na energetické a látkové toky.

Počátek zemědělství znamenal z pohledu zakrytí zemského povrchu podstatnou změnu, protože obdělávání půdy způsobuje, ve větším či menším měřítku, narušení a obnažení půdního povrchu. S příchodem pluhu pak je orniční profil dokonale obrácen a jakýkoliv materiál z půdního povrchu je zapracován do hloubky orby a naopak nově je povrch tvořen rozrušenou zeminou, která byla původně uložena pod povrchem. Tím je prakticky eliminován ochranný vliv půdního pokryvu rostlinami i jejich odumřelými zbytky a je tak umožněno výrazné zrychlení erozních dějů. U tradičních agrotechnologií je orba prováděna na podzim po sklizni a pokud není následně zasetá ozimá plodina, zůstává půdní povrch poměrně dlouhý časový úsek obnažený. Před setím plodiny je provedena předseťová příprava, která má cíl rozbít příliš velké pseudo-agregáty („hroudy“) a zarovnat půdní povrch, aby bylo usnadněno setí a vzcházení rostlin. Zarovnání povrchu, tedy snížení jeho drsnosti, znamená odstranění hydraulických překážek případného povrchového odtoku. Snížení drsnosti sebou nese i redukci objemu terénních mikrodepresí, ve kterých dochází k povrchové retenci, což následně vede i k rychlejšímu nástupu povrchového odtoku. V jarních měsících, než zasetá plodina doroste do fáze, kdy dostatečně chrání půdní povrch svým listovým, již může holý

povrch zasáhnout intenzivnější srážka „bouřkové sezóny“ a nechráněný půdní povrch je tak zcela vystaven destruktivní energii dopadajících dešťových kapek.

Vodní eroze vzniká interakcí srážky dopadající na zemský povrch, půdních vlastností, určujících míru odolnosti proti uvolňování částic a tvaru povrchu, který určuje směr a rychlost povrchového odtoku a tím schopnost proudu transportovat uvolněné částice. Komplexnost všech zmíněných elementů erozního procesu je vysoká a číslcová reprezentace vlastností, jejich měření, záznam i vzájemné působení je velmi složitou úlohou, která si vynucuje zjednodušení a zanedbání některých vlastností. Stručný popis jednotlivých činitelů srážko-odtokového procesu je podán v kapitole 2.

Matematické srážko-odtokové a erozní modely abstrahují reálné chování odtokového procesu a nahrazují jej soustavou matematických vztahů popisujících tento fyzikální systém a jeho subsystémy. Rozvoj komplexnosti a robustnosti srážko-odtokových modelů odpovídá dostupnosti výpočetních prostředků jak hardwarových tak softwarových. Snaha popsat jednotlivé vztahy odtokového procesu se vzrůstající mírou přesnosti vede ke zvyšování komplexity výpočetních vztahů a k zahrnutí dříve zanedbávaných vlivů. Důsledkem je zvyšování počtu vstupních parametrů, které ne vždy mají triviální fyzikální podstatu a jejichž měření může být značně komplikované. Různé erozní a odtokové modely popisují systém různým způsobem lišícím se způsobem abstrakce, časovým a prostorovým měřítkem a dimenzí řešení. Podle druhu modelu se liší míra generalizace a způsob matematického popisu jednotlivých subsystémů, čemuž odpovídá i množství a podstata jednotlivých vstupních parametrů. Stručný popis vybraných erozních modelů současnosti zaměřený na specifika jejich vstupů uvádí kapitola 4.

Při daném (ač libovolném) časovém a finančním omezení, vede zvyšující se obtížnost měření daného parametru nutně ke snížení počtu realizací měření. To má za následek buď vyšší nejistoty v měření, protože je datový vzorek pro statistické vyhodnocení menší, nebo hrubší pokrytí území body vzorkování, tedy zvýšení nejistoty mimo místa vzorkování, nebo ke kombinaci obou. Míra časové a prostorové variability jednotlivých faktorů odtokového a erozního procesu je různá a stejně tak složitost, se kterou je možné určit množinu jejich vlastností a tyto vlastnosti měřit a zaznamenat. Nejběžnější používané datové struktury pro reprezentaci prostorově vázaných dat shrnuje kapitola 3.

Kapitola 5 představuje základní koncepty při analýze výškových geografických, dopad měřítka při vytváření odvozenin z digitálních modelů terénu a nejběžnější algoritmy pro řešení směřování odtoku. Otázka ovlivnění akumulace povrchového odtoku nezávisle na použitém modelu terénu je konfrontována s výpočetními postupy jednotlivých algoritmů.

Tato práce se soustředí na možnosti vytěžení běžně dostupných datových sad v České republice pro potřeby automatizovaného vytváření distribuovaných vstupních dat pro erozní modely. V kapitole 6 jsou uvedeny základní informace o datových produktech dostupných v ČR, které jsou vhodné pro použití v analýzách výškových dat a konstrukci datových vstupů pro erozní modelování.

1.1 Cíle práce

Základní cíle této práce jsou:

- Vytvořit postup pro zpracování dostupných geodat do topologicky korektní definice využití ploch obsahující ty dílčí plochy krajinné matrice, které mají podstatný vliv na směr a akumulaci odtoku v zemědělské krajině
- Implementovat vytvořený postup do geoprocessingového nástroje, který na základě veřejně dostupných datových zdrojů automatizovaně vytvoří dataset využití ploch v co nejvyšší prostorové přesnosti, který bude obecně použitelný pro prostorovou definici vstupních parametrů distribuovaných erozních modelů.
- Validovat shodu vytvořeného datasetu s nezávisle získanou definicí využití ploch kvantifikací odchylek mezi porovnávanými datasety

Kapitola 7 představuje geoprocessingový nástroj vytvořený pro splnění uvedených cílů. Jsou prezentovány dílčí problematické úlohy a výsledný sled operací vedoucí k vytvoření výstupní definice využití ploch, která splňuje uvedené požadavky. V kapitole 8 jsou popsána území a postupy, které byly použity pro validování shody výstupů nástroje s realitou. Kapitola 9 uvádí výsledky validace a v kapitole 10 jsou analyzovány a diskutovány důvody pro nesoulady mezi validačním a vytvořeným datasetem využití ploch a jejich případný vliv na výsledky erozního modelování. Stručně je zmíněn i význam úspěšného oddělení extravilánových a intravilánových kategorií využití ploch na příkladu praktické úlohy nalezení místa vstupu koncentrovaného odtoku ze zemědělské půdy do zastavěného území obce.

2 Faktory erozního procesu

Tato kapitola se zabývá rozborem faktorů, které se účastní systému srážka-odtok-eroze. Jednotlivé faktory jsou analyzovány z pohledu komplexnosti jejich vlastností a možností měření a popisu těchto vlastností.

Základními mechanismy erozního procesu je uvolňování půdních částic při dopadu dešťových kapek a jejich transport na krátkou vzdálenost pomocí tzv. „splash“ eroze. Takto uvolněné částice jsou dále k dispozici pro transport vodním proudem. Uvolnění, transport rozstříkáním a tekoucím vodním proudem v tenké vrstvě jsou souhrnně nazývány jako plošná („sheet“) eroze. V případě soustředění odtoku vyvolaném tvarem mikro- i makro-reliéfu dochází i k uvolňování půdních částic tečným napětím vyvolaným vodním proudem a vzniká rýhová eroze, která je dále členěna podle svojí dimenze na rýžkovou (šířka v řádu jednotek centimetrů), rýhovou (jednotky desítek centimetrů), až po stržovou erozi (v řádu jednotek až desítek metrů).

2.1 Srážka

Srážka tvoří aktivní prvek erozního systému, tok materiálu a jeho kinetické energie působící na povrch půdy a jsou hnací silou erozních procesů. Dopadající kapky rozrušují půdní povrch energií, která je závislá na intenzitě srážky, rozdělení velikosti kapek, směru a síle větru, který srážku doprovází. Jevy v atmosféře vedoucí ke srážkám mají tak vysokou komplexnost, že už přesná předpověď výskytu srážky ve středně a dlouhodobém časovém horizontu je prakticky nemožná. I předpověď krátkodobá je zatížena vysokou nejistotou a nemůže zahrnovat všechny vlastnosti srážky a jejich časoprostorovou variaci.

Srážky obecně tedy mají podobu náhodného přírodního jevu, u kterého nelze předpovědět jejich výskyt, ale je nutné z dostatečného počtu záznamů odvozovat pravděpodobnost výskytu srážky zvolených vlastností. Pokud je srážka uvažována pouze množstvím vody, který vydá za jednotku času, lze ji uvažovat jako třírozměrný problém intenzita - doba trvání - doba opakování (pravděpodobnost výskytu).

Celková intenzita srážky (její úhrn za dobu trvání) však nijak neimplikuje vnitřní časové rozdělení srážky, které je z pohledu iniciace erozních procesů neméně důležité. Dle charakteru srážky je možné (a běžné), že je většina jejího celkového úhrnu soustředěna pouze do krátkého časového úseku jejího trvání. Z toho plyne, že špičková intenzita v průběhu srážky může libovolně překročit celkovou intenzitu a mezi celkovou a špičkovou intenzitou nelze definovat obecný vztah.

Z měřených dat je opět možné statistickou analýzou odvozovat pravděpodobnostní vztahy mezi typem (frontální, konvekční srážky), dobou výskytu (jarní, letní, podzimní) a ostatními vlastnostmi srážky. Problém určení pravděpodobnosti výskytu srážky s konkrétními vlastnostmi se tak stává obtížně řešitelným vysoko-dimenzionálním problémem, který vyžaduje velmi komplexní datové sady.

2.2 Půda

Půdní povrch tvoří pasivní prvek erozního procesu, který do určité míry, dané kombinací svých fyzikálně-chemických vlastností, odolává působící energii dopadajících kapek. Procesy zapojené do uvolňování a transportu částic jsou velmi komplexní a vzájemně provázané. Vlastnosti, které mají vliv na odolnost půdy proti uvolňování půdních částic, jsou výrazně ovlivněny kromě chemického složení matečného substrátu a fyzikálních vlastností zrn půdy i oživením půdními organismy a rostlinami. Vzájemná provázanost jednotlivých vlastností je značná a komplikuje parametrizaci těchto vlastností v rozumném rozsahu. Mnohé vlastnosti se mění nejen s polohou na svahu, ale i v hloubce. Na zemědělsky využívaných plochách navíc dochází lidskou činností k pravidelnému rozrušování struktury a tím ke změně vlastností jak z krátkodobého, tak z dlouhodobého hlediska (Pinheiro, Pereira, a Anjos 2004). Zemědělské operace také výrazně pozměňují mikrorelief povrchu, a ten ovlivňuje chování plošného odtoku, povrchovou retenci, intenzitu infiltrace a soustřeďování.

I snadno měřitelné veličiny, jsou místně a časově proměnné v různých měřících. V detailním měřítku dokonale popsat půdní povrch a jeho interakci s povrchovým odtokem pomocí fyzikálních vztahů je velmi složité, ne-li nemožné. I když tedy nejsou půdní vlastnosti jevem náhodným a některé z nich je možné považovat za časově neměnné, je složitost jejich měření a záznamu nejkomplicovanější ze všech veličin vstupujících do erozního procesu.

2.3 Porost

Společenstvo rostlin přítomné na půdním povrchu značně ovlivňuje erozní procesy svými nadzemními i podzemními orgány a to i po skončení jejich životního cyklu. Nadzemní části rostlin (živé i mrtvé) se účastní erozního procesu tím, že chrání půdu před dopadem dešťových kapek na její povrch. Většina srážkové vody sice nakonec dopadne až na půdní povrch, ale energie dopadu kapek je interakcí s rostlinou utlumena. Podzemní části rostlin působí mechanicky na soudržnost půdních agregátů a ovlivňují chemické složení půdy jak během života, tak po smrti. Kořeny rostlin ovlivňují také vlhkostní vlastnosti půdy vytvářením preferenčních cest pro infiltraci a odebíráním půdní vlhkosti pro metabolismus rostliny. Změna

mikroreliefu vyvolaná růstem rostlinného společenstva ovlivňuje také hydraulické vlastnosti půdního povrchu. Míra uvedených jevů se odvíjí od konkrétního druhu/ druhů přítomných rostlin, hustoty porostu i jejich fenologického a zdravotního stavu.

Konkrétní podoba rostlinného společenstva se primárně odvíjí od způsobu využití dané plochy. Na orné půdě je společenstvo značně homogenní, ve většině případů monokulturní, s klesající intenzitou využívání pak narůstá diverzita společenstva. Stav porostu se odvíjí od mnoha vlivů, které často není možné předpovědět, jako jsou klimatické podmínky stanoviště, konkrétní průběh srážek a slunečního svitu, poloha na svahu, druhové složení porostu a mnoho dalších. Většina ploch v kulturní krajině je navíc člověkem trvale udržována v nepřírodném stavu, jehož konkrétní podoba se odvíjí od situace v zemědělství. Do hry tak, kromě situace na trzích zemědělských komodit, vstupují dotační programy, vůle zemědělce používat půdoochranné technologie, vývoj v nabídce variet plodin a další.

Parametrizovat a předpovídat vlastnosti porostu je opět velmi komplikovanou úlohou. Měřit v dostatečném rozsahu potřebné veličiny je velmi časové a finančně náročné. Odvozovat tyto veličiny pomocí matematických modelů je náročné (ne-li nemožné) a je zatíženo značnými nejistotami. Homogenita druhového složení porostů na orné půdě usnadňuje měření vlastností porostu a umožňuje extrapolaci naměřených vlastností i do ostatních ploch se stejným porostem.

2.4 Morfologie terénu

Tvar terénu, tedy průběh jeho výšky v ploše, je určujícím pro pohyb vody po povrchu, neboť z něj vyplývá směr a velikost gradientu v každém bodě tohoto povrchu. Výškový průběh terénu je nejdůležitější vlastností povodí, neboť má obecně nejvýraznější vliv na směr povrchových i podpovrchových odtokových procesů. (Quinn a Planchon 1991). I když je výška terénu prostorově velmi proměnlivá a závislá na mnoha geomorfologických faktorech je snadno měřitelná pomocí mnoha technologií v celé škále měřítek. Oproti ostatním uvedeným erozním faktorům je tvar terénu výrazně méně časově proměnný, respektive časové měřítko jeho změny je výrazně větší. Tvar terénu a gradient výšek tak lze z pohledu erozního procesu uvažovat za konstantní.

Výjimkou v časovém měřítku změny morfologie můžou být lokální události jako sesuvy půdy nebo i depozice erozního sedimentu. Tyto změny jsou však prostorově velmi limitované a v případě depozice erodovaného materiálu jsou často následně člověkem navraceny do původního stavu.

Vlastnosti všech elementů účastnících procesu tvorby povrchového odtoku a eroze půdy jsou důležité pro zjištění konkrétního množství odtékající vody a odnosu půdy. Z faktorů ovlivňujících povrchové procesy je morfologie terénu nejnázne popsateľná a časově nejméně proměnlivá. Pokud je tedy úloha omezena na lokalizaci rizikových ploch z hlediska tvorby a soustředění povrchového odtoku, je soubor nutných vstupních dat značně redukován.

2.5 Členění krajiny

Pokud budeme povrchový odtok uvažovat v kontextu reálné situace v krajině bude výsledná prostorová situace značně odlišná od hypotetické situace perfektně homogenního virtuálního povrchu. V případě kulturní krajiny, ve které jsou vlastnické a uživatelské vztahy dobře definované dochází k rozčlenění plochy povrchu terénu na plochy, v rámci nichž jsou vlastnosti homogenní nebo velmi blízké a jsou rozděleny rozhraním, na kterém dochází ke skokové změně vlastností.

Je to tedy prostorová struktura jednotlivých elementů krajiny a její kombinace s tvarem povrchu, která výrazně doplňuje samotné vlastnosti jednotlivých elementů a zásadně ovlivňuje podobu a průběh konverze srážkové události na povrchový odtok a jeho projevy podobě odnosu, transportu a ukládání materiálu. Druh využití ploch určuje jejich hydrologické vlastnosti a erozní odolnost, hranice mezi plochami pak ovlivňují propojení těchto ploch a tedy přenos vody a transportovaného sedimentu mezi těmito plochami. Pokud není zahrnut do výpočtu vliv různých druhů využití ploch a jejich hranic, liší se podstatně nejenom celkové hodnoty ztráty půdy, ale i prostorové vzorce výskytu erozních a depozičních ploch. (Van Oost, Govers, a Desmet 2000)

3 Re prezentace reality pomocí GIS

Zaznamenání reality v digitální (číslicové) podobě je nutnou podmínkou pro nakládání s tímto záznamem na současné počítačové technice, která v důsledku použitých technologií operuje s pojmy redukovánými na absolutní minimum – nulu a jedničku. Ve vyšších vrstvách architektury software je samozřejmě možné zaznamenávat libovolné hodnoty čísel a přiřadit číslům libovolný význam, který reprezentují.

V praxi jsou geografická data proměněna do digitálního záznamu kombinací vzorkování, přímých měření, interpretace, interpolace, generalizace a odvození. (Goodchild, Yuan, a Cova 2007). Již v raných dobách počítačové geografie bylo rozlišováno mezi číslicovým záznamem informací ve spojitých polích a informací vztáženou ke geografickým objektům (Peuquet 1988). Ač se mnoho autorů pokusilo o definování jednotícího přístupu k záznamu geografických informací, tak je i v současné době tato dualita stále přítomna a pro každý z těchto přístupů jsou využívány specifické datové struktury. Lidské vnímání reality tíhne k rozdělení na objekty, které jsou pojmenovány a je jim přiřazeno určité chování, a to i přesto že jejich významové vymezení a prostorové ohraničení nemusí být jednoznačné. (Couclelis 1996) Jiné vlastnosti prostředí naopak člověk přirozeně vnímá jako spojitě pole hodnot, které nelze rozdělit na objekty, zejména pak při fyzikálním přístupu k realitě. Popis reality jako oddělených objektů a spojitých polí je zaměnitelný v případě formy, ale již ne v případě procesů, tedy změn v čase. (Goodchild, Yuan, a Cova 2007)

Přes desítky let trvající snahu o jednotící přístup k počítačovému popisu reality se ustálilo mnoho datových reprezentací, kde každá z nich má blíže jednomu nebo druhému způsobu abstrakce reality. Dvěma nejsilněji zastoupenými způsoby reprezentace rastrový záznam, který má jasné výhody pro reprezentaci spojitých polí a vektorový záznam, který je naopak ideální pro reprezentaci oddělených objektů. Konkrétní souborová struktura pro zápis těchto reprezentací je pak závislá na využití platformě, software, zdroji a účelu dat.

V případě počítačového zpracování výškových dat je číslicová reprezentace povrchu označována jako "digitální model výšek" (digital elevation model, DEM). Toto označení je dále možné rozdělit na "digitální model povrchu" (digital surface model, DSM), který reprezentuje výšku zemského povrchu se všemi objekty, které jsou na něm přítomné, tedy včetně vegetace a člověkem vytvořených struktur a digitální model terénu (digital terrain model, DTM), který reprezentuje nadmořskou výšku zemského povrchu bez vegetace či budov. Někteří autoři označují jako „DEM“ pouze výšky zaznamenané v podobě pravidelné matice hodnot, tedy rastrový DEM, např. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009).

Povrch terénu, tak jak jej známe z reálného prostředí je značně komplexní proměnnou a je problematické zachytit jeho tvar pomocí reprezentace počítačovými daty (Grazzini a Chrysoulakis 2005). Stejně jako množství dalších přírodních fenoménů, má i povrch terénu fraktálový charakter (Evans and McClean 1995, Evans 1998) in (R.J. Pike 2000) a při jeho měření je výsledná hodnota závislá na přesnosti použitého měřidla. Je všeobecně přijímáno, že zemský povrch má multifraktálový charakter a při změně měřítka vykazuje afinitu, kterou není možné popsat pomocí konstantní fraktálové dimenze (Schetzer and Lovejoy, 1991) in (Grazzini a Chrysoulakis 2005).

Dokonale popsat povrch terénu je tedy možné pouze nekonečným množstvím dat. To je z principu nemožné, a proto je nutné přistoupit k redukci množství zaznamenávaných hodnot. Stejně jako v jiných úlohách digitalizace přírodních jevů, je prvním krokem vzorkování hodnoty daného jevu, tedy výběr a zaznamenání pouze omezeného počtu hodnot z kontinua hodnot jevu v realitě. Nepřesnosti způsobené vzorkováním povrchu terénu se projevují zejména při změně měřítka, ve kterém je daný povrch snímán a analyzován (Grohmann, Smith, a Riccomini 2011).

Digitální záznam terénu je nedokonalou reprezentací skutečného tvaru povrchu také z důvodu nepřesnosti měření, které se projevují jako šum ve výškových datech, jehož charakteristiky se odvíjejí od způsobu měření. Dopad chyb měření na morfometrické analýzy je závislý na tom, jak výrazně ovlivní základní morfometrické vlastnosti. Vliv šumu v datech je významnější v plochých oblastech, kde jsou tvary terénních forem méně patrné. (Gallant 2011)

Základním vstupem pro digitální reprezentaci povrchu terénu je matematický popis nadmořské výšky zemského povrchu (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009). Z matematického hlediska lze reálný povrch terénu popsat funkcí v kartézské pravoúhlé souřadné soustavě, která přiřazuje dvěma nezávisle proměnným souřadnicím (geografické poloze) třetí závislou souřadnici - nadmořskou výšku v daném bodě. Na zemském povrchu přirozeně existují i plochy převíslé, kdy je v jednom bodě vodorovné roviny možné nalézt více průsečíků se svislicí. Možnosti zachycení takového povrchu jsou závislé na konkrétní datové struktuře použité pro záznam dat a způsobu snímání. Satelitní a letecké metody zřejmě tuto možnost neposkytují stejně jako způsob záznamu pomocí rastrového DEM.

Dalším problémem je přítomnost diskontinuit, které znemožňují povrch reprezentovat spojitou analytickou funkcí. Množství zlomových hran se značně zvyšuje v antropogenních reliéfech urbanizovaných ploch a podél liniových vedení infrastruktury.

Dominantními způsoby reprezentace topografických dat jsou rastrový digitální model, nepravidelná trojúhelníková síť a vrstevnicové síť (Kienzle 2004; Quinn a Planchon 1991).

Nejstarší používaná metoda záznamu výšek pomocí isolinií výšek (vrstevnic) byla před nástupem digitálního zpracování výškových dat využíván pro provádění morfometrických analýz (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009), nicméně pro automatizované odvozování některých morfometrických parametrů, zejména lokálních, není příliš vhodný.

Jiné datové struktury jsou známy a vyvíjeny, dále v této kapitole jsou popsány dva nejběžnější způsoby reprezentace geografických dat z pohledu možností jejich využití pro záznam dat potřebných pro realizaci cílů vytyčených v úvodní kapitole.

3.1 Vektorové datové struktury

Záznam dat pomocí vektorových datových struktur spočívá v záznamu jednotlivých objektů (prvků) ve strukturované formě tak, aby byla jednoznačně určena jejich poloha ať už je tato uvažována v 3 rozměrném prostoru, v ploše nebo pouze jedním rozměrem podél definované křivky. Teoreticky je samozřejmě možné definovat objekty v libovolně dimenzionálním prostoru, ale pro geografické aplikace jsou 3 dimenze (a případně čas) z povahy zaznamenávaných dat dostačující. Základním elementem je bezrozměrný bod, který má přiřazené souřadnice. Vícerozměrné objekty jsou pro záznam rozloženy na body, mezi kterými jsou definovány vztahy tak, aby bylo možné vždy nakládat s původním objektem jako celkem. Pro definovanou geometrii jsou pak libovolným způsobem uloženy doplňující informace (atributy) a je zajištěno jejich provázání.

Pro geografické úlohy jsou hodnoty souřadnic uloženy v libovolném souřadném systému délkovém nebo úhlovém. Zvolená souřadná soustava nemá vliv přímý vliv na přesnost uložené polohové informace. Ke ztrátě přesnosti tak nedochází při transformaci do jiné souřadné soustavy nebo při geografické projekci.

3.1.1 Polohopisná data

Při záznamu polohopisných dat jsou většinou souřadnice, ale i dimenze zaznamenaných dat omezeny na dva rozměry. Objekty mohou být plošné (polygony), liniové (úsečky a křivky) a bodové. Struktura ukládaných dat, geometrických i tematických, je již závislá na konkrétní GIS platformě a použitém formátu. Některé datové struktury umožňují přiřazení i dalších doplňkových rozměrů bodům a definovat tak objekty v třírozměrném prostoru, nebo využívat vzdálenost podél linie pro řešení síťových úloh.

V současné době jsou vektorové datové struktury široce využívány, existuje jich velké množství v závislosti na konkrétním GIS software, ale převod mezi jednotlivými formáty je snadný a pokud je dostupná dokumentace k danému formátu, není z programátorského

pohledu obtížné implementovat jejich zpracování do libovolného programu. Výhodou vektorových dat je že jejich přesnost se nemění v závislosti na měřítku řešené úlohy a jsou méně datově náročné, protože umožňují zvolit přesnost záznamu podle povahy reprezentovaných dat.

3.1.2 Výškopisná data

Hormann (1969) vyvinul novou metodu pro zaznamenávání výškopisu pomocí trojúhelníkové nepravidelné sítě (TIN). Významné body povrchu na hřbetnicích, v údolnicích a na terénních zlomech propojil úsečkami, aby mohl porovnávat vztahy nadmořské výšky, sklonu a orientace svahu. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009) Díky dostupnosti výkonné počítačové techniky s objemnými datovými úložišti je dnes tento přístup používán pro libovolné mračno bodů. Jakékoliv měřené výškové body lze poměrně snadno převést do tohoto formátu díky osvědčeným algoritmům Delauneyho triangulace. S rozvojem měřicích technologií mohou však být objemy zpracovávaných dat i tak problematické pro zpracování, zejména z časového hlediska. (Isenburg et al. 2006)

Nepravidelná trojúhelníková síť má výhodu v tom, že může mít proměnnou přesnost v rámci jednoho území (datasetu). Množství bodů na jednotku plochy se tak může přizpůsobit tvaru povrchu a zaznamenávat jak detaily, tak plochá (i skloněná) území. Při zachování míry detailu je výsledný objem dat pro uložení TIN menší než u rastrového záznamu, protože je odstraněna redundance záznamu v málo proměnných plochách. Oproti rastrovému záznamu nemá projekce dat vliv na jejich přesnost, neboť je každý bod projektován nezávisle (Shortridge a Clarke 1999). Datová struktura nepravidelné trojúhelníkové sítě je také na rozdíl od rastrového záznamu schopna zachytit i převislé formy terénu, tunely a mosty (Gold 2005).

Každý bod povrchu leží ve vrcholu, na hraně nebo na ploše trojúhelníka. Poloha bodu, který neleží přímo ve vrcholu, musí být dopočtena pomocí lineární interpolace ze dvou nebo tří bodů. Jednoduchá úloha nalezení výšky obecného bodu v prostoru je oproti rastrovému záznamu výrazně složitější. Nejprve je nutné nalézt trojúhelník, do kterého bod spadá, nalézt souřadnice jeho tří vrcholů a následně interpolovat výškovou souřadnici hledaného bodu.

Ze složitosti nalezení a adresování konkrétního trojúhelníku a jeho elementů (vrcholů a hran) vyplývá i složitost matematických operací na TIN. Pokud nemají vstupní terény stejnou geometrickou definici, stává se i součet dvou TIN poměrně složitou výpočetní operací, kdy je třeba vzájemně promítnout polohu bodů obou povrchů, interpolovat jejich výšky, triangulovat nový TIN obsahující vrcholy z obou vstupních se sečtenými výškami a následně jej zjednodušit na požadovanou úroveň.

3.2 Rastrové datové struktury

Jako rastr (nebo grid) jsou označována data uložená v pravidelné síti stejně velkých buněk (pixelů), kde každá z nich drží právě jednu číselnou hodnotu. Celý dataset je umístěn v souřadné soustavě jako celek a jednotlivé buňky mají polohu určenou relativně vůči lokálnímu počátku datasetu. Obecně mohou mít buňky tvar čtyřúhelníku libovolného tvaru (i kosoúhlé), ale z praktických důvodů, jako je struktura ukládaných dat a jejich zobrazování, jsou nejpoužívanější pravidelné čtvercové sítě. (Gold 2005)

Z pravidelné geometrické struktury záznamu hodnot plynou omezení a nevýhody při operacích s rastrovými datasety. Zejména transformace do jiné než zdrojové souřadné soustavy přináší problémy, které vedou k převzorkování datasetu a tím spojené snížení přesnosti a vnesení nejistot do výsledného datasetu. (Shortridge a Clarke 1999). Pevně daná velikost základního elementu také předurčuje limitovanou plošnou přesnost. Převzorkování do datasetu s vyšším rozlišením je možné, ale interpolací hodnot do nové definice jsou opět do vnášeny nejistoty do výsledného datasetu.

3.2.1 Polohopisná data

Rastrová reprezentace je vhodná pro záznam hodnot spojitých polí, záznam kategorických hodnot je možný, ale má pouze omezené možnosti. Jakoukoliv nečíselnou informaci o prvku je možné vyjádřit pouze implicitně, explicitní vyjádření není možné. Pokud má být tedy v rastrovém formátu uložena jiná informace než je právě číselná hodnota, musí být externě definováno jednoznačné propojení uložené hodnoty a jejího informačního významu.

Pro kategorické hodnoty jsou velmi významné problémy při převzorkování datasetu, kdy je nutné doplnit informaci v nově vznikajících buňkách, které vznikají podél hranic kategorií. Protože jsou zástupné hodnoty kategorií pevně dané, není možné mezi původními hodnotami interpolovat. Interpolací by vznikaly hodnoty, které nejsou definované v seznamu kategorií, nebo by se objevily hodnoty zcela nezávislé na původních kategoriích a tedy chybné. Při převzorkování je tedy nutné hodnoty přiřazovat „od nejbližšího souseda“ (nearest neighbor), čímž ale dochází k posunu v původním vedení hranice a tím ke snížení polohové přesnosti zaznamenaných kategorií. Rastrová datové struktury jsou tedy méně vhodné pro reprezentaci geografických objektů.

3.2.2 Výškopisná data

Nadmořská výška povrchu Země je spojitým polem hodnot a rastrová reprezentace je pro její záznam vhodná. Skutečný průběh funkce výšky terénu je nahrazen pravidelnou sítí diskretních hodnot. Tento formát je velmi široce využíván v hydrologických analýzách pro svou dostupnost, jednoduchost zpracování a výpočetní efektivitu (Kienzle 2004; Moore, Grayson, a Ladson 1991). Pro morfometrické analýzy se tento formát jeví jako vhodnější, protože díky značné rozšířenosti je dostupné velké množství programů, algoritmů a nástrojů pro jejich analýzu. (Shary, Sharaya, a Mitusov 2002; Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009)

Analytická funkční analýza není možná, ale je možné v každém bodě získat diskretní hodnoty prvních a druhých derivací ze vzájemné polohy sousedních bodů ve čtvercové síti. Odvozování výškopisných terénních atributů může být ve čtvercové síti přímočaré, ale schopnost zachytit skutečný charakter povrchu závisí jak na rozlišení rastru, tak na drsnosti reprezentovaného povrchu. Přestože se variabilita povrchu terénu odehrává v celé řadě měřítek, jsou parametry povrchu odvozované z rastrového DEM předurčeny jeho rozlišením (Shary, Sharaya, a Mitusov 2002; Kienzle 2004)

Na reprezentaci povrchu pomocí pravidelného čtvercového rastru lze nahlížet dvěma způsoby. Jednotlivé buňky rastru lze uvažovat jako plošky s nulovým sklonem, tedy jako pravidelné uspořádání vzájemně sousedících sloupců, kde hodnota buňky rastru udává výšku sloupce (Shortridge a Clarke 1999). Tento pohled má jasný nesoulad s pozorovanou realitou terénního povrchu, ale je velmi snadné zjistit hodnoty výšky pro libovolný bod na povrchu.

Druhou možností je uvažovat povrch tvořený sítí hran propojujících středy sousedních buněk, kde výška tohoto bodu je opět rovna hodnotě buňky rastru. Vrcholy buněk musí být propojeny i diagonálně, aby vznikaly trojúhelníky, a tím pádem bylo možné lineárně interpolovat hodnoty výšky libovolného bodu terénu, který neleží ve vrcholu buňky. Tento přístup využívá například Tarbotonův algoritmus trasování odtoku D_{∞} (Tarboton 1997) nebo algoritmus TNF (Triangulated Facet Network) (Zhou, Pilesjö, a Chen 2011). Více o algoritmech pro trasování odtoku v kapitole 5.6.

Ze zdrojových dat, která mají zpravidla podobu množiny plošně nepravidelně rozmístěných bodů se známou výškou, je pravidelná síť rastrového DEM vytvořena jednou z mnoha interpolačních technik. Počínaje nejjednoduššími, kdy je hodnota dopočtena jako vážený průměr okolních hodnot podle převrácené hodnoty jejich vzdálenosti (inverse distance weighting – IDW), přes geostatistické metody založené na korelaci výšky a vzdálenosti okolních bodů (Kriging), po prokládání vhodné matematické funkce měřenými body (spline, polynomiální funkce) (Kienzle 2004; Hengl 2009; Gold 2005).

Ukládání výškových hodnot v pravidelné čtvercové síti sebou nese řadu nevýhod. Pravoúhlý systém vzorkování výšek nerespektuje morfologii terénu, některé části terénu nejsou zachyceny s dostatečnou přesností, jiné naopak obsahují nadbytečné množství datových bodů vzhledem k morfologii, přičemž oba tyto stavy mohou nastávat v rámci jednoho (i relativně malého) zájmového území. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009) Matice čtverců je útvarem v rovině a proto určité operace jako je projekce dat vede k podstatným změnám jak v poloze tak výšce výstupního datasetu (Steinwand et al., 1995) in (Kienzle 2004).

Přestože má formát pravidelné čtvercové sítě řadu nedostatků, využívá většina morfometrických aplikací rastrových DEM a to hlavně z důvodu jednoduchosti výpočetních procedur a tomu, že vlastnosti rastrového DEM jsou udány jednou hodnotou - velikostí buňky (rozlišením). (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009). Pro úplnou definici je samozřejmě potřeba udat i polohu tohoto rastru vůči geografickým souřadnicím, ale i bez těchto údajů je možné provádět na rastrovém DEM příslušné analýzy. Horizontální (plošné) rozlišení a výšková přesnost jsou základními ukazateli kvality rastrového DEM (Wu, Li, a Huang 2008).

Většina morfometrických procedur na rastrovém DEM je prováděna pomocí tzv. plovoucího okna (neighbourhood, sub-grid, filter window). Výpočet je opakován pro všechny buňky rastru a v každém kroku je výsledná hodnota odvozena z hodnoty v dané buňce a buněk v definovaném pravidelném okolí dané buňky - plovoucím okně (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009). Velikost i tvar okna mohou být různé, ale jsou vždy konstantní v průběhu dané procedury. Výpočty prováděné pomocí plovoucího okna mají zřejmý nedostatek v blízkosti okrajů rastru, konkrétně pro buňky, které jsou k okraji blíže než je polovina rozměru plovoucího okna. Velmi často je žádoucí zachovat rozměr výstupního rastru stejný jako vstupního, a tak je nutné odhadnout hodnoty za hranicí vstupního rastru, aby bylo možné výpočet provést pro celý rozsah vstupního rastru. Existuje mnoho možností, jak doplnit hodnoty za hranicí vstupního rastru, všechny ale vedou k chybě ve výstupním rastru v blízkosti jeho okraje. Často jsou hodnoty mimo rastr doplňovány prostým opakováním hodnot z krajních buněk. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009)

Většina terénních parametrů může být vypočtena pomocí různých algoritmů a výsledky se liší podle rozlišení použitého DMT a zdroje jeho výškových údajů. Hodnoty žádného vypočteného parametru tak nemohou být považovány za absolutně platné. Kromě konkrétního vzorce použitého pro výpočet je tedy důležité znát i rozlišení vstupního rastru a velikost a tvar použitého plovoucího okna. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009; Grohmann, Smith, a Riccomini 2011)

4 Erozní modely

Stejně jako jiné matematické modely i erozní modely slouží pro simulaci chování daného systému, které umožňuje jeho lepší pochopení, ověření předpokladů a pokud je model správně kalibrován, tak predikci budoucího stavu systému. Přirozená variabilita faktorů, které ovlivňují stav systému srážka-odtok-eroze je vysoká a matematický popis tohoto systému je nutně zjednodušen, aby bylo možné tento systém analyticky popsat. (Takken et al. 1999)

Historie matematických erozních modelů začíná ve čtyřicátých letech 20. století ve spojených státech Amerických kdy Zingg vztáhnul intenzitu ztráty půdy ke sklonu a délce svahu. Tento přístup byl s přispěním dalších výzkumníků dále doplňován o další faktory erozního procesu a vedl ke vzniku Univerzální rovnice ztráty půdy. (Wischmeier a Smith 1978). S nástupem výpočetní techniky a jejím rozvojem bylo možné dále systém srážka-odtok-eroze popisovat stále komplexněji a vznikla celá řada dalších modelů založených na různých přístupech k dané problematice. Dále je uvedeno členění erozních modelů a vybrané modely jsou stručně popsány.

4.1 Klasifikace erozních modelů

Erozní modely lze zatřídit podle mnoha hledisek podle toho, jak přistupují k popisu procesů, popisu modelovaného území a časového měřítka řešení.

Podle prostorového členění řešeného území:

- celistvé (lumped) – celé řešené území je považováno za homogenní z pohledu svých vlastností
- geometricky dělené (distributed) – vlastnosti ploch jsou plně prostorově variabilní a mohou být definovány nezávisle pro každý bod v povodí, plochy mohou být agregovány do dílčích ploch, v rámci nichž jsou vlastnosti homogenní, tento přístup je nazýván jako semi-distribučovaný

Podle časového měřítka řešené úlohy:

- epizodní – výpočet je prováděn pro jednotlivou srážku, je možné zanedbat některé dílčí hydrologické jevy irelevantní v krátkém časovém měřítku (evaporace, evapotranspirace), počáteční podmínky výpočtu mají výrazný vliv na výsledek
- dlouhodobé (kontinuální) – výpočet je prováděn pro delší časové období (vegetační sezónu, rok, apod.), snižuje se dopad počátečních podmínek na výsledek, ale není možné zanedbat hydrologické jevy, které v delším časovém měřítku mají

nezanedbatelný vliv na výsledek, je nutné definovat i parametry ovlivňující tyto jevy (např. teplotu, sluneční radiaci)

Podle velikosti a komplexity řešené plochy:

- modely svahu – je simulován odděleně systém jednoho svahu reprezentovaný svým podélným (charakteristickým) profilem
- modely povodí – je simulováno větší území zahrnující plochy s různými vlastnostmi, zpravidla (ale ne nutně) uzavřené povodí

Podle způsobu popisu jevů:

- empiricky založené – dílčí procesy systému nejsou popisovány odděleně v časovém měřítku, ve kterém se odehrávají, ale jsou statisticky vyhodnoceny z dlouhodobých záznamů a agregovány do skupin podle svého významu v erozním procesu
- fyzikálně založené – popisují dílčí procesy systému na základě jejich fyzikální podstaty

Obecně pro všechny modely platí, že čím komplexnější je popis systému, tím komplexnější je soubor stavových veličin, které tento systém popisují a tím vyšší jsou i nejistoty při získávání počátečních a kalibračních hodnot těchto veličin. Tyto (často neznámé) nejistoty se propagují celým výpočtem a ve výsledku znehodnocují výstupy modelu. (Jetten, Govers, a Hessel 2003) Variabilita a tím pádem i nejistoty spojené s hodnotami vstupních parametrů, jsou pravděpodobným důvodem toho, že složité fyzikálně založené modely obecně nevykazují lepší výsledky než lumped modely založené na empirických vztazích. (Jetten, Govers, a Hessel 2003)

4.2 Popis vybraných erozních modelů

4.2.1 Univerzální rovnice ztráty půdy a její odvození

Universal Soil Loss Equation (USLE) je empirický erozní model pro výpočet dlouhodobé průměrné ztráty půdy, původně vyvinutý jako celistvý model pro ruční výpočet odhadu eroze na svahovém profilu. Princip výpočtu spočívá v pronásobení jednotlivých faktorů, které jsou do výpočtu zahrnuty, viz Rov. 4-1. Hodnoty těchto faktorů byly odvozeny z rozsáhlých experimentálních dat (Wischmeier a Smith 1978)

USLE je založena na předpokladu, že transportní kapacita vodního proudu není dosažena a tedy dochází k odnosu půdy v celém plošném rozsahu. Z výsledků USLE tedy není možné lokalizovat místa ukládání sedimentu a tyto plochy by neměly být do výpočtu zahrnuty (Janeček et al. 2012). Výsledky univerzální rovnice ztráty půdy mohou být interpretovány jako extrémní případ s maximálním plošným rozsahem eroze.

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Rov. 4-1

kde:	<i>R</i>	faktor erozní účinnosti deště [MJ.cm/ha/hod]
	<i>K</i>	faktor erodovatelnosti půdy [t.hod/MJ/cm]
	<i>L</i>	faktor délky svahu [-]
	<i>S</i>	faktor sklonu svahu [-]
	<i>C</i>	faktor ochranného vlivu vegetace [-]
	<i>P</i>	faktor protierozních opatření [-]

Prakticky se zájmové území rozdělí na jednotlivé dílčí svahy, na kterých se určí charakteristické odtokové dráhy. Pro každou odtokovou dráhu je vytvořen její podélný profil a pro plochu, kterou reprezentuje, jsou určeny hodnoty ostatních faktorů. Způsob výpočtu hodnot jednotlivých faktorů se odvíjí od účelu a měřítka modelované úlohy. Pro modelování odhadu eroze v rozsáhlých územích mohou být data získána z různých mapových podkladů a převodních tabulek. Výsledkem výpočtu je dlouhodobá průměrná ztráta půdy v tunách z hektaru plochy za rok, která je platná pro předpoklad, že je modelovaná plocha ve stavu definovaném faktory C a P dlouhodobě.

V současné době je po úpravě používán i pro distribuované modelování eroze pomocí nástrojů GIS. V distribuované verzi je výpočet faktoru délky a sklonu svahu prováděn na rastrové reprezentaci terénu a je vypočten pro každou buňku z hodnoty přispívající plochy a délky nepřerušovaného svahu v daném místě. Hodnoty faktorů ochranného vlivu vegetace jsou zpravidla uvažovány konstantní v rámci pozemků orné půdy a mohou tak připravovány ve vektorové podobě jako atribut polygonové vrstvy pozemků.

USLE představuje nejznámější empirický erozní model, který se od doby svého představení dočkal řady úprav a doplnění, z nichž některé jsou uvedeny dále.

4.2.1.1 **RUSLE**

Erozní model **RUSLE** (Revised USLE) rozšiřuje možnosti výpočtu o libovolnou časovou definici osevního postupu a sledu technologických operací. Výpočet je prováděn po časových úsecích, přičemž hodnoty faktorů jsou v rámci těchto časových úseků uvažovány konstantní. Základní délka časového intervalu je 15 dnů, ale aby byl celkový počet intervalů v rámci roku celých 24, jsou intervaly odvozeny z délky trvání jednotlivých měsíců tak, že vždy prvních 15 dnů v měsíci tvoří jeden interval a zbylé dny v měsíci interval následující. Prakticky se tak základní délka intervalů liší od 13 dnů (druhá polovina února nepřestupného roku) po 16 dnů (druhá polovina měsíců, které mají 31 dnů) (Renard et al. 1997). Pro každý časový interval je zvlášť definována erozní účinnost srážek a ta je použita jako váha pro výpočet C faktoru (viz Rov. 4-2), takže rozdílná délka úseků nemá vliv na výsledek výpočtu.

Načasování technologických operací nemusí přirozeně souhlasit s hranicemi intervalů a může nastat obecně kdykoliv. Pokud je uvnitř jednoho časového intervalu definována technologická operace nelze již hodnoty faktorů v rámci intervalu považovat za konstantní a interval je rozdělen na dva dílčí intervaly, pro něž je dopočtena hodnota erozivity srážek úměrně délce jejich trvání. Obecně tedy může být počet výpočetních intervalů libovolný v závislosti na definici a načasování technologických operací v osevním plánu.

Rov. 4-2 uvádí způsob výpočtu C faktoru RUSLE.

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n EI_i} \cdot \sum_{i=1}^n SLR_i \cdot EI_i$$

Rov. 4-2

kde: EI_i – erozivita deště za interval i
 SLR_i – „soil-loss ratio“ podíl ztráty půdy v intervalu i
 n – celkový počet uvažovaných intervalů

Výpočet SLR je dále složen ze subfaktorů reprezentujících jednotlivé aspekty ochranného účinku vegetace.

$$SLR_i = CC_i \cdot SC_i \cdot PLU_i \cdot SR_i \cdot SM_i$$

Rov. 4-3

kde: CC_i – subfaktor zakrytí povrchu porostem – „Canopy Cover Subfactor“
 SC_i – subfaktor půdního pokryvu – „Surface Cover Subfactor“
 PLU_i – subfaktor předchozího využívání pozemku – „Prior Land Use Subfactor“
 SR_i – subfaktor drsnosti půdy – „Surface Roughness Subfactor“
 SM_i – subfaktor vlhkosti půdy – „Soil Moisture Subfactor“

Jednotlivé subfaktory jsou definovány funkcemi jedné nebo více proměnných, které reprezentují vlastnosti plodiny, technologických operací a klimatu. Každý z faktorů nabývá teoreticky hodnot mezi 0 a 1, kde 1 odpovídá nulovému ochrannému vlivu daného aspektu a čím je hodnota subfaktoru menší, tím je jeho ochranný vliv větší.

4.2.1.2 **BoBB**

Software BoBB vyvinutý v Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt v Rakousku slouží pro odhad ztráty půdy a vychází z modelu RUSLE, ale na rozdíl od původního výpočetního algoritmu jsou všechny výpočty prováděny v časovém kroku jeden den. Výpočetní vztahy zůstávají stejné, nebo jsou mírně upraveny pro výpočet v jednodenním časovém kroku (Devátý a Strauss 2013). Díky tomu odpadá nutnost rozdělování intervalů po definici osevního plánu, rozpočítávání klimatických hodnot a nutnost počítat průměrné hodnoty

v rámci intervalu (např. pro rozklad biomasy). Výpočet se tak snadněji automatizuje a programuje a zvyšuje se i jeho flexibilita.

4.2.1.3 MUSLE

Williams in (ARS 1975) navrhl rozšíření USLE o postup umožňující odhad celkového přímého odtoku, kulminačního průtoku a transportního činitele pro výpočet celkového množství sedimentu transportovaného do závěrového profilu povodí. Výpočet vychází ze souhrnných vlastností řešeného povodí vycházející z hodnot ostatních faktorů a prostorové konfigurace povodí. Takto doplněnou Univerzální rovnicí ztráty půdy nazval Modified Universal Soil Loss Equation.

4.2.1.4 WATEM/SEDEM

Water and Tillage Erosion Model (WATEM) je belgický empiricky založený model pro simulaci odnosu a transportu povrchovým odtokem a v důsledku obdělávání. Pro simulaci ztráty půdy vodní erozí je implementována upravená rovnice RUSLE doplněná o možnost sedimentace materiálu, která je založena na transportní kapacitě vodního proudu, který je vypočten z sklonového průběhu svahu. Ztráta půdy způsobená agrotechnologickými operacemi je závislá na změně sklonu svahu (odnos na konvexních, ukládání na konkávních částech svahu) a vlastnostech konkrétní operace, která je určena jedním vstupním parametrem. Model obsahuje možnost redukovat množství odtoku a transportovaného sedimentu na rozhraní ploch orné půdy a jiných kategoriích. (Van Oost, Govers, a Desmet 2000) Sediment Delivery Model (SEDEM) je druhou částí modelu, která simuluje transport sedimentu ze zdrojových ploch do vodních toků a následně jeho pohyb definovanou sítí úseků vodních toků. (Van Rompaey et al. 2001)

Oba modely sloučené do jednoho software jsou použitelné pro měřítko svahu až středního povodí a vstupní parametry jsou zadávány semi-distribučně jako rastrový dataset obsahující kódy homogenních pozemků orné půdy a ostatních kategorií využití ploch a sadu tabulek přiřazující těmto plochám hodnoty parametrů. Příprava vstupních parametrů ve vektorové podobě je velmi výhodná, protože umožňuje přehlednou správu parametrů pro celou plochu modelovaného území.

4.2.2 Erosion-3D

Erosion-3D je epizodní plně distribuovaný fyzikálně založený matematický model simulující povrchový odtok a množství odnášených půdních částic.(von Werner 1996) Model umožňuje simulovat opakovaně jednu epizodu, případně sekvenci epizod a napodobit tak dlouhodobou srážkovou řadu. Průběh srážky je do modelu zadáván v tabelární podobě

s absolutním časovým určením, a proto je snadné srovnání s měřenými daty. Časový krok musí být v průběhu celé zadávané srážky konstantní a intenzita je zadávána v mm/minutu.

Výstupy modelu zahrnují veličiny spojené s odtokem a transportem půdy a to jako rastrové vrstvy a volitelně jako tabelární hodnoty v definovaných bodech. Rastrové výstupní vrstvy je možné zaznamenávat v každém výpočetním kroku simulace, nebo pouze v posledním kroku.

Soubor vstupních parametrů modelu Erosion-3D popisující půdu a její povrch je složen z následujících hodnot:

- zrnitostní složení (hm.% pro 9 zrnitostních frakcí)
- objemová hmotnost půdy (kg/m^3)
- obsah organického uhlíku (hm. %)
- počáteční vlhkost (obj. %)
- erozní odolnost (N/m^2)
- drsnost povrchu ($\text{s/m}^{1/3}$)
- pokrytí povrchu rostlinami a rostlinnými zbytky (%)
- opravný faktor závislý na stavu povrchu (-)

Hodnoty všech parametrů mohou být do programu zadány jako plně distribuované, definované každá svou rastrovou vrstvou, nebo jako semi-distribuované. V plně distribuovaném přístupu je však vytváření jednotlivých vstupních vrstev náročné a výsledek je zatížen výraznými nejistotami a artefakty zpracování.

Zrnitostní složení půdy je zadáváno pomocí 9 čísel, odpovídajících relativnímu zastoupení půdních částic v devíti zrnitostních třídách. Součet zastoupení částic ve všech zrn. třídách pak musí být roven 100 a pokud není, tak není možné vstupní data použít pro výpočet. Podmínka součtu musí platit v každém buňce řešené oblasti. Půdní vzorky jsou odebírány bodově a je tedy nutné nějakým způsobem prostorově distribuovat hodnoty vstupních parametrů odvozené pro bod odběru.

Při využití semi-distribuovaného přístupu je vytvořena jedna rastrová vrstva, která nabývá hodnoty číselného identifikátoru oblasti, v níž jsou vstupní parametry uvažovány jako konstantní. Tato „mapa homogenních ploch“ je doplněna tabulkou párující číselný identifikátor oblasti s názvem dané plochy. Pro každou z ploch jsou pak v další tabulce uloženy hodnoty všech vstupních parametrů. Vzhledem k tomu, že je pro každou plochu připravován velký počet parametrů, které jsou v rámci této plochy konstantní, je výhodné připravovat definici

ploch v prostředí GIS jako vektorový polygonový dataset, který může mít všechny vlastnosti uložené najednou ve své atributové tabulce.

4.2.3 SMODERP

Fyzikálně založený epizodní model SMODERP byl vyvinut na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství v osmdesátých letech 20. století původně jako 1D (profilový) simulační nástroj. V současné době je již k dispozici distribuovaná 2D verze tohoto modelu a jeho vývoj stále pokračuje. Model je určen pouze pro plochy orné půdy a simuluje odděleně plošnou (mezirýhovou) a rýhovou erozi. (Kavka a Zajíček 2013) 2D verze je přímo navázána na prostředí GIS, kde probíhá jak příprava vstupních parametrů tak samotný výpočet. Přímá implementace do prostředí GIS výrazně usnadňuje přípravu a správu vstupních parametrů, které jsou zadávány v rastrové podobě, ale běžně jsou připravovány jako vektorové polygony, kterým jsou přiřazovány jednotlivé vstupní parametry, které jsou posléze převedeny do žádané podoby, až před spuštěním výpočtu.

4.2.4 WEPP

WEPP (Water Erosion Prediction Project) je semi-distribuovaný, kontinuální, fyzikálně založený erozní model vytvořený americkým ministerstvem zemědělství (USDA) pro potřeby některých jeho služeb. Model je sestaven jako systém svahových profilů a úseků koryt se vzájemně definovanými vztahy. Pro každý z těchto profilů a úseků toků jsou definovány počáteční vstupní parametry půdy a půdního pokryvu. Simulace pomocí modelu je typicky prováděna pro časové rozmezí několika let, kdy je vypočten odhad dlouhodobé ztráty půdy porovnatelný s výstupy Univerzální rovnice ztráty půdy. Výpočet je možné spouštět i pro jednotlivé srážky, což je potřebné zejména pro kalibrace vstupních parametrů. Ve výpočtu je zahrnut i vliv radiace na hydrologii svahu a proto je orientace jedním ze vstupních parametrů svahového profilu. (Flanagan a Livingston 1995) Velké množství vstupních parametrů a semi-distribuovaný přístup jsou ideální pro přípravu vstupů v přehledné podobě polygonové vektorové geometrie s navázanými hodnotami v atributové tabulce a jejich následnou konverzi do svahových profilů a přiřazení vlastností na základě prostorových vztahů s plošnými elementy v prostředí GIS

5 Morfometrická analýza

(Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009) definují dva klíčové pojmy pro morfometrickou analýzu: parametr (povrchu terénu) a objekt (povrchu terénu). Parametr (nazýván také proměnná – variable) je popisná charakteristika tvaru povrchu ve formě spojitého pole hodnot zpravidla ve stejném rozsahu a rozlišení jako DEM ze kterého je odvozen (např. sklon a orientace svahu, vlhkostní index). Objekt (zemského povrchu) je prostorově omezená entita na povrchu např. povodí, rozvodnice, síť vodních toků. Charakteristiky objektů se označují jako atributy, jsou vázány na příslušný objekt a jeho prostorové určení. Silk (1979) in (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009) a další autoři, např. (Shary 2006; Shary, Sharaya, a Mitusov 2002) označují měřitelné vlastnosti povrchu jako proměnné (morphometric variables) a jako parametry označuje sumární vlastnosti odvozené z určitého vzorku datasetu. Dle této definice odpovídají parametry atributům objektů povrchu terénu, protože dataset je vždy určen nějakým výběrem.

Morfometrická úloha obecně sestává z pěti postupných kroků: (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009)

1. vzorkování povrchu (měření výšek)
2. vytvoření modelu povrchu z měřených výšek
3. oprava chyb a artefaktů v modelu povrchu
4. odvození terénních parametrů a objektů
5. využití výsledných parametrů a objektů

5.1 Parametry terénu

(Moore, Grayson, a Ladson 1991) rozlišují parametry povrchu odvoditelné z výškového modelu na primární, které jsou vypočteny přímo z hodnot výšek a sekundární (složené), které jsou kombinací parametrů primárních. (Shary 2006; Shary, Sharaya, a Mitusov 2002) rozděluje parametry (proměnné) povrchu na závislé (field-specific) a nezávislé (field-ignoring, field-invariant) na vektorovém poli (např. gravitace, sluneční záření) a obě skupiny pak na lokální, regionální a globální. Lokální jsou závislé pouze na svém nejbližším okolí, regionální charakterizují uzavřenou oblast zájmu a globální lze určit pouze z celého povrchu tělesa (např. Země). Lokální proměnné tedy odpovídají parametrům povrchu dle Moora, regionální a globální odpovídají atributům terénních objektů, respektive celého tělesa.

„Field-specific“ parametry jsou vztažené k vektorovému poli v jehož působení se systém nachází (například gravitace, oslunění), naopak „field-invariant“ jsou závislé pouze na samotném povrchu a vycházejí tak pouze z jeho geometrie (Shary 2006). Z hlediska hydrologie

jsou tedy důležité pouze field-specific parametry, protože všechny povrchové procesy jsou poháněny gradientem potenciálu gravitačního pole Země.

Evans (1979) in (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009) uvažuje pět základních parametrů povrchu, které mohou být určeny pro libovolný dvourozměrný souvislý povrch a které odpovídají nulté, první a druhé derivaci zkoumaného povrchu: výška, sklon svahu, orientace svahu, křivost horizontální (po vrstevnici), křivost vertikální (po spádnici). Vertikální (profilová, tangeční) i horizontální (planární) křivost jsou vztaženy k maximálnímu resp. minimálnímu (nulovému) sklonu terénu v gravitačním poli a jsou proto „field-specific“ parametry. Naopak průměrná a maximální křivost povrchu (terénu) je nezávislá na vektorových polích a popisuje tak samotný povrch (Shary 2006). Křivosti vztažené ke směru působení gravitace odpovídají dvěma základním akumulacním mechanismům povrchového toku tekutin i sypkých materiálů: soustředění toku v konvergenci svahu a zrychlování a zpomalování toku vyvolané konvexitou resp. konkavitou svahu. (Shary, Sharaya, a Mitusov 2002)

Rozdíl největší a nejmenší nadmořské výšky v daném území je v anglicky psané literatuře označován jako „local relief“. V češtině tento termín odpovídá spíše subjektivnímu hodnocení geomorfologie daného území. Tato vlastnost může být odvozována jak lokálně pro definované okolí každého bodu povrchu a být tak jedním z parametrů, kterými lze charakterizovat drsnost povrchu (Grohmann, Smith, a Riccomini 2011), tak pro definovanou oblast (povodí, geomorfologickou jednotku) a být tak atributem charakterizujícím daný objekt povrchu.

Přispívající plocha (Contributing Area, CA) je rovna kolmému průmětu plochy území, ze kterého voda odtéká daným bodem nebo úsekem vrstevnice. Specifická přispívající plocha (Specific Contributing Area, SCA) je pak vztažena na jednotkovou délku této vrstevnice (Moore, Grayson, a Ladson 1991). SCA je důležitým distribuovaným parametrem s morfologickým, hydrologickým a geologickým významem (Costa-Cabral a Burges 1994). Určení SCA na digitální reprezentaci terénu je silně závislé na použitém algoritmu pro trasování odtoku, z nichž nejpoužívanější jsou uvedeny v kap. 5.6. Opakem CA resp. SCA je plocha ovlivněná odtokem z daného bodu resp. specifická plocha ovlivnění (Specific Dispersal Area, SDA) (Shary 2006).

Délka odtokové dráhy reprezentuje horizontální vzdálenost z daného bodu k počátku odtoku ve směru největšího spádu. Délku odtokové dráhy je možné z daného bodu měřit směrem dolů (po směru největšího gradientu-spádnice) nebo vzhůru (proti směru spádnice). Směrem vzhůru odtoková délka začíná na rozvodnici nebo na prvku ukončujícím odtok z výše

ležících ploch a končí v daném bodě. Směrem po svahu odtoková délka začíná v daném bodě a končí v moři nebo v lokální bezodtoké depresi.

Z jednotkové přispívající plochy a délky odtokové dráhy proti svahu je dále možno vypočítat specifickou odtokovou šířku jako jejich podíl. Budeme-li uvažovat obdélník o ploše jednotkové přispívající plochy a výšce rovné délce odtokové dráhy, odpovídá šířka tohoto obdélníka specifické odtokové šířce.

Sekundární parametry terénu bývají označovány také jako složené, protože jsou vytvořeny kombinací primárních parametrů případně dalších vstupů. Nejčastěji se jedná o různé indexy, které mají charakterizovat předpoklady morfologie povrchu pro výskyt určitého jevu. Pravděpodobně nejužívanějším hydrologickým indexem je „topografický vlhkostní index“ (Topographic Wetness Index), označovaný též jako CTI (Compound Topographic Index) nebo TMI (Topographic Moisture Index) (Costa-Cabral a Burges 1994). TWI vyvinuli Beven a Kirkby (1979) in (Sørensen, Zinko, a Seibert 2006) a jeho hodnota je definována jako přirozený logaritmus poměru specifické přispívající plochy a sklonu v daném místě na svahu.

Topografický vlhkostní index je používán pro určení vlivu topografie na hydrologické procesy (Sørensen, Zinko, a Seibert 2006) a mnoho autorů studovalo jeho spojitost s výskytem a intenzitou jevů v životním prostředí, jako např. vlhkost půdy (Moore, Grayson, a Ladson 1991), hladina podzemní vody a vlastnosti půdy (Zinko et al. 2005, Sariyildiz et al. 2005 a další) in (Sørensen, Zinko, a Seibert 2006). Výpočet TWI je možné provést pomocí libovolného z algoritmů pro určení přispívající plochy, ale není možné jednoznačně určit, který dává nejlepší výsledky (Sørensen, Zinko, a Seibert 2006). Nevýhodou TWI je, že díky sklonu ve jmenovateli, není definován pro buňky s nulovým sklonem.

Dále je možné mezi terénní parametry zahrnout různé ukazatele drsnosti (hrubosti terénu) jako jsou poměr ploch (kolmého průmětu a skutečné šikmé plochy), rozptyl normálových vektorů, směrodatnou odchylku výšky v okolí bodu, směrodatnou odchylku křivostí v okolí bodu a další (Grohmann, Smith, a Riccomini 2011).

Množství odvoditelných terénních parametrů je neomezené, protože je možné konstruovat nové a vlastní. Některé z nich je možné určovat více rovnocennými způsoby (např. na různé velikosti plovoucího okna).

5.2 Terénní objekty

Terénní objekt je ohraničená prostorová entita na zemském povrchu, kterou je možné zaznamenat vektorově jako bod, linii nebo polygon. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009) Terénní objekty jsou odvozovány z lokální, regionální či globální analýzy parametrů terénu

a i pro ně platí rozdělení ve vztahu k vektorovým polím: field-specific/ field-invariant. Některé objekty je možné geometricky definovat v obou skupinách, ale jejich význam a role na povrchu terénu bude nutně odlišná. Například lokální deprese je možné nalézt a ohraničit i bez vztahu ke gravitačnímu poli (tedy při využití libovolně orientované vztahné soustavy), ale pouze při vztahení ke směru působení gravitace jsou lokální deprese prvkem povrchu, který zadržuje povrchový odtok. (Shary, Sharaya, a Mitusov 2002).

Terénní útvary (terénní elementy a terénní formy) jsou jasně ohraničené objekty povrchu, které vznikly specifickým geomorfologickým procesem nebo skupinou procesů. (Richard J. Pike, Evans, a Hengl 2009)

5.3 Zdroj výškových dat pro tvorbu DMT

Nadmořské výšky terénu je možné v současné době pořídit mnoha způsoby, lišícími se použitou technologií, místem snímání, umístěním a hustotou vzorkování. Základní zdroje dat o nadmořské výšce terénu s jejich charakteristickými vlastnostmi shrnuje Tab. 5-1.

Tab. 5-1: způsoby měření nadmořské výšky terénu a jejich charakteristické vlastnosti

Způsob měření	Hlavní vlastnosti	Použitá technologie	Typická přesnost DEM
Terénní měření	nejvyšší přesnost, malá hustota vzorkování, vysoké náklady	GPS geodetické měření	< 1m 1 mm - 1 m
Stereoskopické snímkování	vysoká hustota vzorkování, může být zcela nebo částečně automatizované, problémy s vegetací	letecká fotogrammetrie satelitní fotogrammetrie	0,1 - 1 m 10 - 20 m
Laserová altimetrie	vysoká hustota vzorkování, proniká vegetací a zaznamenává data o povrchu vegetace i terénu, je nutné filtrování a převzorkování naměřených dat před jejich použitím	LIDAR	0,2 - 1 m
Radarová interferometrie	nejnižší náklady na km ² , vyžaduje komplexní přípravu dat a kontrolní data měřená jinou technologií	Letecká radarová interferometrie Orbitální radarová interferometrie (SRTM)	0,5 - 2 m 10 - 25 m

V současné době zažívá obrovský rozmach dostupnost bezpilotních leteckých prostředků (Unmanned Air Vehicles – UAVs), které se tak stávají běžným prostředkem pro zajištění výškových dat pro komerční i vědecké účely. Konkrétní způsob měření výšek je limitován nosností těchto UAVs a hmotnostní měřicích zařízení. Nejdostupnějším způsobem pořízení dat pro získání výškového pole je tak kombinace kamery (fotoaparátu) a fotogrammetrického zpracování snímků. Nicméně i na poměrně malých bezpilotních letadlech je možné použít metody laserového měření výškových dat.

Dalším zdrojem výškových dat může být i topografická část existujících mapových podkladů, nicméně i tato data jsou původně získána některou z výše uvedených metod. V případě analogových map se jedná zejména o vrstevnice, které jsou samy o sobě originální

a subjektivní interpretací bodových výškových dat kartografem. Z těchto dat je po digitalizaci možné interpolovat spojitý digitální model terénu, ale díky mnohonásobnému zpracování jsou taková data zatížena vysokou neurčitostí. (Gold 2005) Takto vytvořený výškový model je tedy třeba před použitím podrobit pečlivé přípravě v závislosti na plánovaném použití.

5.4 Měřítko řešení

Je teoreticky i experimentálně ověřeno (Mandelbrot, 1967; Clarke, 1988) in (Shary, Sharaya, a Mitusov 2002), že představa hladkého povrchu terénu není ve shodě s pozorováním. Hodnoty terénních parametrů definovaných pomocí derivací průběhu terénní plochy jsou tedy platné pouze pro konkrétní měřítko řešení (velikost buňky rastru), protože pro nespojitě plochy nejsou (parciální) derivace definovány. (Shary, Sharaya, a Mitusov 2002)

Obecná schopnost digitálního modelu terénu reprezentovat topografii závisí jak na proměnlivosti (drsnosti) skutečného terénu, tak na rozlišení jeho počítačového záznamu (Grazzini a Chrysoulakis 2005). Protože proměnlivost terénu se projevuje s různou mírou v různých měřících, vyžaduje každá aplikace digitálního modelu terénu jinou přesnost a zvolené rozlišení nutně ovlivňuje hodnoty odvozovaných terénních parametrů (Quattrochi a Goodchild 1997).

Výškový průběh terénu je výsledkem mnoha různých procesů odehrávajících se v široké škále prostorových i časových měřítek. Otázka měřítka tedy musí být vždy zahrnuta pro plné pochopení toho, které procesy jsou reprezentovány v daném záznamu. (Quattrochi a Goodchild 1997) Tradiční terénní (topografické) parametry jako sklon a orientace svahu, křivost terénu jsou závislé na měřítku (Grazzini a Chrysoulakis 2005). Realistické výsledky analýz na rastrových datech jsou závislé na přesnosti a prostorové distribuci zdrojových výškových bodů, použitím interpolačním algoritmu pro generování spojitého terénního modelu i zvolené velikosti buňky (Kienzle 2004). Rozlišení rastru použitého pro řešení konkrétní úlohy musí zohlednit rozměr terénních prvků, které jsou klíčové při generování hydrologické reakce povodí (Quinn a Planchon 1991).

5.5 Výpočet terénních parametrů

Rastrový způsob reprezentace umožňuje snazší zpracování digitálních terénních dat a množství nástrojů dostupných pro odvozování terénních parametrů je vyšší než je tomu v případě TIN. Protože je většina morfometrických analýz prováděna na rastrových datech, která jsou zároveň nejdostupnější pro větší území, budu dále uvádět pouze operace na rastrových DEM.

Sklon a orientace svahu stejně jako křivosti jsou vypočítány z nejbližšího okolí dané buňky o velikosti 3x3 buňky, tedy zájmová buňka ± 1 buňka ve směru os rastru. Existuje více algoritmů pro jejich výpočet, z nichž nejpoužívanější jsou metody autorů Horn (1981) a Zevenberg a Thorne (1987). Porovnání těchto metod nevykazuje výrazné rozdíly ve vypočteném sklonu. (Kienzle 2004)

(Kienzle 2004) dále uvádí, že všechny primární parametry terénu dle (Moore, Grayson, a Ladson 1991), i TWI se výrazně liší se změnou velikosti buňky rastru použitého pro jejich odvození. Vypočtený sklon svahu narůstá se zvětšováním velikosti buňky a naopak vypočtené křivosti s rostoucí velikostí buňky klesají (Kienzle 2004). Zároveň je ale třeba uvažovat vzájemný vztah rozlišení odvozeného rastrového DEM na hustotě vzorkování výšek, ze kterého je tento DEM odvozen. V plošších územích, kde je hustota vzorkování obecně menší, je možné využívat nižšího výsledného rozlišení pro odvozování první derivace průběhu terénu (Kienzle 2004). Druhé derivace vykazují opačný trend, na plochách s vyšší hustotou vzorkování je závislost vypočtených parametrů na rozlišení rastrového DEM menší a je možné použít DEM v nižším rozlišení. Rozlišení použitého rastru pro výpočet všech primárních odvozených terénních parametrů by tedy mělo být co nejvyšší (Kienzle 2004).

5.6 Určení přispívající plochy a délky toku

Směr pohybu vody po povrchu terénu představuje základní geomorfologický proces, který je pevně svázán s jeho tvarem. Výškopis povodí je zásadní pro modelování hydrologických procesů v povodí a hraje klíčovou roli v plošné distribuce povrchového odtoku. (Zhou, Pilesjö, a Chen 2011) Při použití rastrového DEM je tato úloha ovlivněna striktní čtvercovou geometrií reprezentace povrchu, jejíž osy nemají vazbu na skutečné sklony terénu. Trasování odtoku na rastrových digitálních modelech terénu je potřebné pro hydrologické aplikace k určení pohybu vody, sedimentu a kontaminantů (Moore, Grayson, a Ladson 1991). Mnoho autorů se snaží o nalezení optimálního algoritmu pro výpočet, který by nějakým způsobem tuto geometrickou danost obešel. Každý z algoritmů produkuje specifickou podobu distribuce odtoku (Costa-Cabral a Burges 1994; Tarboton 1997), která dále ovlivňuje morfometrické parametry povrchu, které jsou z ní odvozovány. Obecně lze algoritmy směřování odtoku a výpočtu přispívající plochy rozdělit na dvě skupiny podle toho jestli umožňují rozdělení (divergenci) toku do více buněk (multiple flow direction – MFD), nebo omezují směřování pouze do jedné navazující buňky (single flow direction – SFD). (Zhou, Pilesjö, a Chen 2011)

Nejstarší a nejjednodušší způsob určení směru odtoku ve čtvercové síti označovaný jako D8, SD8, nebo SFD8. Odtok z každé buňky rastru je přiřazen právě jedné z 8 sousedících buněk a to té, do které míří největší hodnota gradientu výšky. Výtok z buňky je vždy maximálně jeden, ale počet přítoků může být libovolný, maximálně však 8 v případě bezodtoké buňky (O'Callaghan a Mark 1984). Z toho vyplývá, že takto určený směr povrchového odtoku reprezentuje vždy pouze konvergentní tok a není možné jím vyjádřit divergenci toku. Tento algoritmus má poměrně mnoho záporů, jeho velkou výhodou je snadná implementace a jednoznačné určení buněk, jejichž odtok směřuje do zvolené buňky, tedy nalezení všech buněk, které tvoří přispívající oblast k dané buňce.

(Quinn a Planchon 1991), představili algoritmus trasování odtoku, který stále operuje s osmi základními směry danými strukturou rastru, ale odtok ze zkoumané buňky je rozdělen do všech níže položených buněk na základě poměru sklonů z centrální buňky ke každé z nich. V porovnání s algoritmem SD8 tento postup lépe popisuje odtok v horních částech povodí, kde převládá plošný povrchový odtok, a naopak hůře v dolních částech povodí, kde převládá soustředěný odtok. Pro přímé a konvergentní svahy je výsledná distribuce odtoku nepřírodně rozptýlená (Costa-Cabral a Burges 1994; Seibert a McGlynn 2007).

Pro eliminaci nereálných vzorců odtokových drah, které vykazuje algoritmus SD8 při zachování konvergence toku navrhl (Tarboton 1997) nový přístup pro trasování odtoku a rozdělování přispívající plochy do navazujících nižších buněk rastrového DEM. Tento algoritmus je označován jako SD^∞ nebo SFD^∞ (Single Flow Direction infinity) a zavádí rozdělení okolí sledované buňky do osmi trojúhelníkových plošek s vrcholy ve středu buněk okolí 3x3 buňky.

Jako logické rozšíření algoritmu, který navrhl Tarboton přišli (Seibert a McGlynn 2007) s řešením, které umožňuje trasování odtoku v libovolném směru a to i do více navazujících buněk stejně jako u MD8 algoritmu. Pro odtok jsou uvažovány všechny buňky se záporným převýšením od centrální buňky okolí, na základě jejich elevací jsou spočteny odtokové úhly a rozdělen odtok (Seibert a McGlynn 2007). Oproti MD8 algoritmu je odtok mnohem realističtěji situován do lokálních minim, tím lépe reprezentuje konvergenci toku a k divergenci toku dochází pouze tam, kde je silná divergence v topografii, tedy na hřebenech a sedlech.

Costa-Cabral a Burges namítají, že všechny předchozí algoritmy uvažují zdrojovou buňku jako bezrozměrný bod a předávání toku mezi buňkami jako jednorozměrné, což neodpovídá realitě. Předávání toku mezi buňkami tak může probíhat i diagonálně, kde spolu buňky sousedí pouze jedním bodem. Proto navrhuje algoritmus přerozdělující odtok pouze do kardinálních sousedních buněk, kde tok prochází přes celou šířku hranice buňky. Plocha

zdrojové buňky je rozdělena podle směru sklonu této buňky přímkou mající směr sklonu v buňce a procházející nejnižším vrcholem. (Costa-Cabral a Burges 1994)

(Zhou, Pilesjö, a Chen 2011) navrhli způsob trasování odtoku založený na vytvoření „sítě trojúhelníkových plošek“ (triangular facet network – TFN) ze vstupního čtvercového rastru. Plošky jsou generovány diagonálním rozdělením čtverce vytvořeného ze středů sousedících buněk v okolí 2x2 buňky. Směr diagonály je určen z rozšířeného okolí uvažovaného čtverce o jednu buňku každým směrem tedy okna 4x4 buňky. V tomto rozšířeném okolí je aproximován průběh terénu pomocí dvourozměrné kvadratické spline funkce a pro diagonální rozdělení je zvolen ten směr, který výškou lépe odpovídá aproximovanému terénu ve středovém styku buněk. Každá ze vzniklých plošek je rovinná a tím pádem má konstantní sklon a jednoznačně definovanou orientaci. „Balíček odtoku“ (flow package) z každé plošky je odeslán směrem odpovídající orientaci, po překonání hranice plošek je jeho směr upraven podle orientace navazující plošky. Takto jsou vytvořeny odtokové trajektorie ze všech buněk řešené plochy, které končí v nejnižším bodě rastru, nebo na jeho hraně případně v lokální bezodtoké depresi. Každý „balíček odtoku“ reprezentuje plochu jedné výchozí plošky a výsledná akumulace odtoku je získána pro každou plošku součtem trajektorií, které touto ploškou procházejí.

Každý z představených algoritmů trasování odtoku má své silné a slabé stránky. SFD algoritmy dávají dobře strukturované odtokové dráhy, ale jsou silně zatíženy vazbou na 8 základních směrů, MFD algoritmy dobře popisují odtokovou situaci ve sklonitějších horních partiích svahů, ale v méně sklonitých plochách jsou odtokové dráhy příliš vyhlazené a nejasně určené. Vektorový přístup TFN algoritmu poskytuje výrazně lepší výsledky než předešlé dva typy trasování a navíc přináší výhodu možnosti sledovat odtok podél vypočtených odtokových trajektorií (Zhou, Pilesjö, a Chen 2011)

Pro potřeby této práce je zásadní to, že všechny algoritmy směřují odtok čistě na základě výškových poměrů ve vstupním rastru a neumožňují zahrnout do výpočtu externí prvky ovlivňující směr odtoku. V případě rastrových dat s velmi vysokým rozlišením (řádově pod 1 m) by bylo možné předpokládat, že všechny prvky, které směr odtoku ovlivňují jsou zahrnuty ve výškovém průběhu rastru. Takovýto dataset by byl ale velmi náročný na získání i zpracování a při současné úrovni technologií pro získání výškových dat i počítačové techniky potřebné pro jejich zpracování je takovýto přístup nerealizovatelný v plošném rozsahu praktických úloh.

Dodatečné ovlivnění směru odtoku, které by umožňovalo zohlednit v akumulaci lineární prvky, které jsou v člověkem silně ovlivněné krajině přítomny, není možné.

5.7 Liniové prvky ovlivňující směr odtoku

Topografické informace velkou měrou definují variabilitu hydrologické reakce povodí, ale velká pozornost musí být věnována i porozumění odtokové situace, pokud mají být digitální terénní data použita při hydrologickém modelování (Quinn a Planchon 1991).

„Liniové prvky ovlivňující odtok“ je rozsáhlá a různorodá skupina terénních objektů, která mění směr a množství povrchového odtoku. Kromě struktur, které jsou primárně určeny k odvádění či zadržení odtoku (příkopy, průlehy, meze) zahrnují struktury, které ovlivňují odtok jaksí mimochodem nebo jako doplňkovou funkci (cesty s příkopem i bez, pěšiny, liniová vegetace, hranice půdních bloků). Vlastnosti liniových prvků ovlivňujících odtok jsou velmi komplexní a jsou závislé nejen na geometrických charakteristikách, ale i na stáří a stavu (povrch, materiál, vegetace).

Základními parametry liniového prvku ovlivňujícího odtok jsou:

- orientace vůči spádnicí
- „kapacita“ určující nakolik je tento prvek překonatelný povrchovým tokem

Oba tyto parametry jsou pak ještě ovlivňovány sklonem terénu v daném místě. Lze předpokládat, že intenzita ovlivnění odtoku bude u skupiny prvků, které nejsou primárně k zachycování a odvádění povrchového odtoku, obecně více ovlivňována orientací vůči spádnicí.

Flow-routing je základní součástí modelů pro simulaci povrchového odtoku jako jedné ze součástí hydrologického podsystemu srážka-povrchový odtok. Současné flow-routing algoritmy nezahrnují možnosti pro simulaci liniových prvků přerušujících odtok. Nepřítomnost těchto prvků v modelových nástrojích tak ovlivňuje možnosti reálné simulace chování povrchového odtoku na svazích s přítomnými liniovými prvky ovlivňujícími směr a intenzitu povrchového odtoku.

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole je v používaných Flow-routing algoritmech směrování odtoku prováděno čistě na základě sklonu terénu, ať již se jedná o použití na rastrové (grid) nebo vektorové (TIN) reprezentaci terénu. Vypočtená akumulace odtoku se tak může lišit od reálné situace ovlivněné antropogenními strukturami. Zahrnutí možnosti doplňkového směrování by tedy mohlo výrazně přiblížit počítačovou reprezentaci povrchového odtoku jeho reálnému chování.

V kulturní krajině je výskyt těchto elementů poměrně zásadní a proto může dojít u distribuovaných erozních modelů k významnému ovlivnění výsledků. Čím intenzivnější je zemědělské využívání půdy v krajině, tím silněji je odtoková situace těmito prvky pozměněna. Samotný prvek pak nemusí mít charakter koryta jako takového, ale může se jím stát libovolné

rozhraní ploch. Toto rozhraní ovlivňuje odtok měrou, která se odvíjí, kromě charakteristik samotné hranice, od situace daného prvku v konkrétním místě: orientaci vůči spádnici, sklonu svahu, přispívající ploše.

Správná geometrická definice těchto prvků je pak nutností pro použití takového vstupu v praktickém využití. Samotné rozhraní, pokud se zde zároveň nevyskytuje jiný geografický prvek, však bývá přítomno v mapových dílech pouze jako hranice plošných útvarů, které leží na jeho jednotlivých stranách. Jedná se tedy o dvě plošné entity, kde každá má svou hranici. Na stejnou situaci lze také nahlížet jako dělicí rozhraní, která má na každé své straně přítomnu jednu plochu.

Dostatečně podrobná mapa využití ploch tedy neslouží pouze pro odvození definice ploch uniformního využití ploch, ale také kvalitně definuje rozhraní těchto ploch, tedy průběh tohoto rozhraní a kategorie využití, které se na tomto rozhraní setkávají. Co nejpřesnější odvození rozhraní mezi jednotlivými prvky datasetu využití ploch je doplňkovou úlohou při návrhu algoritmu pro vytvoření mapy využití území představeného v kapitole 7.

6 Datové zdroje

V této kapitole jsou popsány stěžejní geoinformační produkty, které jsou dostupné pro celý rozsah České republiky. Jsou popsány jejich výhody a nevýhody z pohledu jejich využití při erozním modelování. Představeny jsou ty nejpřesnější datové zdroje, které jsou v ČR dostupné, a které obsahují informace potřebné pro vytvoření datasetu vhodného pro obecnou geometrickou definici elementárních ploch použitelnou pro odvozování vstupních vrstev distribuovaných erozních modelů.

6.1 Využití území

6.1.1 ZABAGED

Základní báze geografických data je komerční mapový produkt ČÚZK odpovídající svou přesností ZM 1:10 000. Toto mapové dílo je složeno ze sady vektorových datasetů („objektů“) obsahujících plošné, liniové i bodové prvky zahrnující polohopis a výškopis. (Pressová 2015)

ZABAGED® vznikl vektorizací oskenovaných tisků Základní mapy 1:10 000, které byly systematicky zpracovávány od roku 1995. V první etapě od roku 1996 pak probíhalo skenování původních listů ZM10 s kapacitou až 1000 listů polohopisu a 600 listů výškopisu za rok. Regionální redakce katastrálních úřadů I. typu prováděly kompletní revizi tiskových podkladů mapového díla a jejich přípravu pro vektorizaci. V druhé etapě od roku 1999 probíhala aktualizace polohopisného obsahu, zpřesnění absolutní polohy některých typů objektů, doplnění detailů intravilánu a atributů. V letech 2010-2013 bylo realizováno letecké laserové skenování celého území ČR v kooperaci s Ministerstvem obrany a Ministerstvem zemědělství, které mělo jako jeden z cílů i výrazné zpřesnění dosavadního výškového modelu ZABAGED®. Výškopisný rastr s rozlišením 10x10 m byl nahrazen mřížovým modelem s rozestupem bodů 5x5 m (DMR 4G) a následně v letech 2013-2016 i nepravidelnou sítí výškových bodů DMR 5G (Šíma 2016).

Objekty jsou pravidelně aktualizovány pro celou plochy České republiky na podkladě dat dálkového průzkumu Země, z veřejně dostupných zdrojů i místních šetření. Vybrané objekty jsou aktualizovány „primárními správci dat“, což jsou instituce, které provozují vlastní geoinformační systémy pro správu dat své kompetenci a tato data pak poskytují ČÚZK. Jedná se například o Ředitelství silnic a dálnic ČR (aktualizace silniční sítě), Správu železniční dopravní cesty (aktualizace železniční sítě), Informační systém územní identifikace (zpracování uliční sítě), Informační systém katastru nemovitostí a Registr územní identifikace adres a nemovitostí (budovy, adresní místa, hranice správních jednotek), MŠMT, MPO, AOPK

ČR, ČSÚ, ČHMÚ a další. (Pressová 2016) Kompletní seznam primárních správců dat je k nalezení v uvedeném zdroji.

„ZABAGED® má charakter geografického informačního systému integrujícího prostorovou složku vektorové grafiky s topologickými relacemi objektů a složku atributovou obsahující popisy a další kvalitativní a kvantitativní informace o jednotlivých geografických objektech.“ ZABAGED je na nejvyšší úrovni rozdělen na dvě části: polohopisnou a výškopisnou, ve kterých je celkově 120 základních geografických objektů obsahujících více než 350 typů popisných atributů. (Pressová 2016)

Obsah je strukturován do osmi tematických kategorií:

1. Sídla, hospodářské a kulturní objekty
2. Komunikace
3. Rozvodné sítě a produktovody
4. Vodstvo
5. Územní jednotky včetně chráněných území
6. Vegetace a povrch
7. Terénní reliéf
8. Geodetické body

Sedmá kategorie zahrnuje i digitální modely reliéfu 4. a 5. generace o kterých pojednává kapitola 6.2. Vzhledem k zaměření této práce na odtokové a erozní modelování jsou v této kapitole dále popisovány pouze objekty, které se této oblasti dotýkají. Tyto objekty mapového díla ZABAGED® jsou dále použity jako zdroj geografických informací pro automatizovanou tvorbu detailní mapy využití tak jak je popsáno v kapitole 7.1.

Členění struktury polohopisu ZABAGED® do objektů podle významu reprezentovaných prvků je ustálené od roku 2010 nedošlo k podstatným změnám. Do roku 2015 došlo pouze k drobným úpravám zejména v názvech některých objektů a názvech atributových polí. Většina objektů má jasný význam z pohledu vlastností ploch, které jsou v nich obsaženy a je možné je přímo použít pro reprezentaci homogenních elementů krajiny. Výjimku tvoří několik objektů, které však mají významný vliv při odvozování příslušnosti plochy k některé z kategorií využití:

- **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy** – zahrnuje kromě samotné orné půdy plochy liniové infrastruktury (zpevněné plochy) a plochy v jejím okolí (travnaté a křovinaté porosty), plochy velikosti pod rozlišením mapového díla, ale často i dosud nezastavěné stavební pozemky, z pohledu erozního a hydrologického modelování je přiřazení

„ostatních neurčených ploch“ k orné půdě, tím nejméně vhodným řešením, neboť agreguje plochy s extrémně širokým rozmezím vlastností vzhledem k infiltraci a generování povrchového odtoku

- **OvocnySadZahrada** – zahrnuje plochy okrasných a okrasně-užitkových zahrad v okolí obytných staveb zároveň s plochami extenzivních i intenzivních sadů, tyto plochy od sebe není možné odlišit na základě atributů a většinou nejsou ani prostorově oddělené hranicemi polygonů. Jejich oddělení ze zdrojových dat ZABAGED® tedy není možné provést pouhým výběrem prvků na základě polohy nebo atributu.
- **OstatniPlochaVSidlech** – zahrnuje směs zpevněných i nezpevněných ploch v intravilánu typicky směs ploch komunikací a doprovodné zeleně velikosti pod rozlišením mapového díla, plochy parkovišť a vnitřních ploch komplexů budov, ale také například dosud nezastavěné stavební pozemky, plochy komunikací zahrnutých v této vrstvě často zasahují i mimo zastavěné území obce. Atributová tabulka objektu neobsahuje informace pro další zatřídění jednotlivých ploch
- **ArealUceloveZastavby** – zahrnuje areály rozmanitého účelu tvořené jak převážně zpevněnými plochami (průmyslové a skladové areály) tak i areály sportovní (např. fotbalová hřiště, golfové hřiště) tvořené převážně travnatým porostem. Do tohoto objektu patří i plochy zahrádkářských kolonií odpovídající svým charakterem zahradním a/nebo sadovým porostům. Jednotlivé typy areálů lze rozlišit na základě hodnot v atributové tabulce datasetu. (více v kapitole 7.1.3)

Zmíněné negativní jevy jsou dokumentovány na Obr. 6-1.



Obr. 6-1: Dokumentace nedostatků ZABAGED na podkladě leteckého snímku

Jedním z nedostatků vzájemných vztahů mezi objekty ZABAGED® jsou jejich topologické vazby. Topologická čistota je jedním z deklarovaných pravidel při vytváření a správě dat ZABAGED®, nicméně při prozkoumání topologických vztahů mezi objekty zjistíme, že jsou zde dvě nepsané skupiny objektů, z nichž jedna leží vždy na jiném podkladovém objektu a dochází k tak k chybě topologie, kdy je v jednom místě přítomno více prvků z různých objektů. Z geometrického pohledu dochází k překryvu polygonů, ať už úplnému nebo částečnému, který je nutno vyřešit pro topologicky správnou definici využití ploch. Následující objekty (dále označované jako „překryvné objekty“) vždy leží na prvku jiného objektu:

- Antropogenní
 - **BudovaBlokBudov**
 - **KulnaSklenikFoliovnik**
 - **Silo**
 - **ValcovaNadrzZasobnik**
- Přirozené
 - **SkalniUtvary**

Prvky, které leží pod těmito objekty, mohou být z různých objektů ZABAGED®, nejčastěji jsou to **OvocnySadZahrada**, **ArealUceloveZastavby**, **LesniPudaSeStromy**,

LesníPudaSKrovinatymPorostem, OkrasnyParkZahrada, LoukaPastvina, OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy, ale vyskytují se i na plochách dalších objektů.

6.1.2 LPIS

LPIS (Land Parcel Identification System) je geografický informační systém primárně určený pro evidenci užívání zemědělské půdy a vznikl na základě zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství. K vytvoření systému došlo na přelomu let 2003 a 2004 a byl spuštěn k 21. březnu 2004. Podle uvedeného zákona o zemědělství je za vedení LPIS odpovědné MZe, podle novely zákona o zemědělství od 1.1. 2015 však výkon agendy převzaly organizační složky SZIF označované jako Oddělení příjmu žádostí a LPIS (bývalé Agentury pro zemědělství a venkov). (Ministerstvo zemědělství ČR 2017c).

Evidence ploch je vedena čistě podle uživatelských vztahů a je výchozí databází pro udělování dotací na zemědělskou půdu. Databáze obsahuje další přidané informace, užitečné jak pro státní správu, tak pro farmáře. Po novelizaci zákona o zemědělství (zákon č. 179/2014 Sb.) je součástí LPIS i evidence ekologicky významných prvků, která nahradila dřívější evidenci krajinných prvků. Data jsou tedy strukturována do dvou datasetů: půdní bloky a díly půdních bloků (Ministerstvo zemědělství ČR 2017b)

Půdní blok (PB) „představuje souvislou plochu zemědělsky obhospodařovanou plochu zřetelně oddělenou od jiných terénních prvků“. V evidenci nemá, kromě vymezení typu (Zemědělsky obhospodařovaná půda, Ekologicky významný prvek, Zalesněná půda, Vodní plocha) žádnou další funkci, ale slouží jako nadřazený element dílům půdních bloků. Díl půdního bloku (DPB) je základní jednotkou, ke které jsou vztaženy všechny ostatní informace (o uživateli, o kultuře, pro administraci dotací, o ochranných opatřeních a další). Díl půdního bloku představuje souvislou zemědělskou plochu s jednou kulturou užívanou právě jedním uživatelem. Každý DPB náleží právě jednomu půdnímu bloku. (Ministerstvo zemědělství ČR 2017b).

Podle (Ministerstvo zemědělství ČR 2017a) je přístup k databázi možný pomocí jednoho ze tří modulů:

- Registr půdy pro farmáře – iLPIS (webová aplikace)
- Veřejný registr půdy – pLPIS (webová aplikace)
- Přístup pomocí WMS/WFS služeb

Portál farmáře (iLPIS) je komplexní webovou aplikací, která slouží primárně k vytváření a správě DPB. Uživatelé půdy připravují zákresy změn DPB a ty jsou následně kontrolovány a schvalovány odpovědnou organizací. Pro obě zainteresované strany (státní správu a farmáře)

tak představuje nástroj pro zjišťování informací o uživatelsko-vlastnických vztazích. Dále jsou zde zahrnuty informace o omezení zemědělského hospodaření z titulu nitrátové směrnice, uplatňování protierozních opatření, ochranných pásem vodních zdrojů, vodních toků a další. iLPIS dále poskytuje farmářům možnost aktivního vkládání osevních plánů k jednotlivým DPB a návazně evidovat aplikace hnojiv, přípravků na ochranu rostlin, pastvu a úkony pro zelenou naftu. (Ministerstvo zemědělství ČR 2017c)

pLPIS je webovou aplikací postavenou na shodném základě jako iLPIS, ale umožňuje pouze pasivní prohlížení informací a to jak geografických (samotné DPB LIPS i doprovodné vrstvy zmíněné výše), tak na ně navázaných atributů, ale pouze v rozsahu veřejně dostupných informací. V databázi je možné vyhledávat, a to i v historických stavech LPIS, zobrazit data v mapovém prohlížeči a následně provádět export těchto dat.

Dodatečně byla přidána ještě další možnost přístupu k datům LIPS a to možnost přímého stažení přes HTML/FTP ve formátu SHP. Export zahrnuje definici geometrie dílů půdních bloků s přiřazenými atributy, které jsou součástí veřejné části registru půdy pLPIS. Tato veřejně dostupná část LPIS je nepravidelně aktualizována přibližně dvakrát za měsíc a jednotlivé historické verze zůstávají k dispozici ke stažení (dostupné od prosince 2015). Zároveň je umožněno stažení doplňujících informací k jednotlivým DPB, obsahující mimo jiné i identifikaci jeho uživatele, a to také retrospektivně. (Ministerstvo zemědělství ČR 2017d). Více o automatizovaném stahování definice LPIS je uvedeno v kapitole 7.3.

V atributové tabulce polygonové geometrie jednotlivých DPB je uvedena informace, o jaký druh využívání se jedná a to ve třech variantách: jako textový popis („KULTURANAZ“), číselný kód (sloupec „KULTURA“) a písmenný kód. Ve starších verzích LPIS se tento sloupec nazýval „KULTUTAKOD“, v aktuálních verzích exportu LPIS se již jmenuje „KULTURAKOD“. Výčet kultur a jejich kódů platný od 1.1.2015 je uveden v Tab. 6-1.

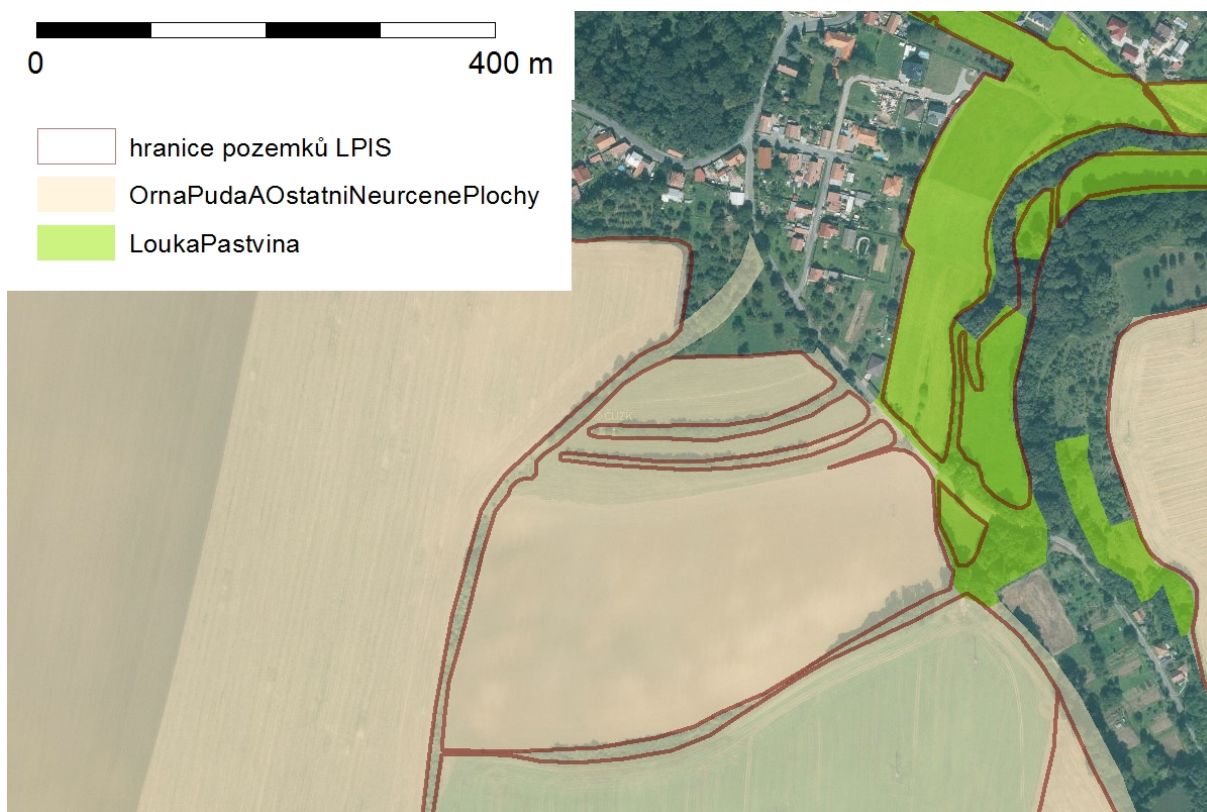
Přesnost zákresu pozemků LPIS je vysoká a zakreslený stav je pravidelně a často aktualizován. Neveřejná část geodatabáze (pro nahlížení a správu dotací) je aktualizována v řádu dnů a jednotlivé úpravy, navržené uživateli půdy, jsou podrobeny několikasupňové kontrole a to jak z pohledu přesnosti geometrického záznamu (na podkladu ortofoto snímku), tak z pohledu faktické správnosti (např. terénními kontrolami). Přesnost geometrického zákresu a dodržování definice DPB, zejména pravidlo že v rámci DPB se vyskytuje právě jedna plodina, tvoří zásadní předpoklad využitelnosti LPIS pro získání podstatných informací pro hydrologické modelování. I poměrně malé plochy, které neodpovídají uvedenému pravidlu se vyskytují mimo geometrickou definici DPB a lze je tedy identifikovat a využít při tvorbě podkladů pro hydrologické a erozní modelování.

Přesnost zákresu v porovnání se dvěma objekty ZABAGED je demonstrována na Obr.

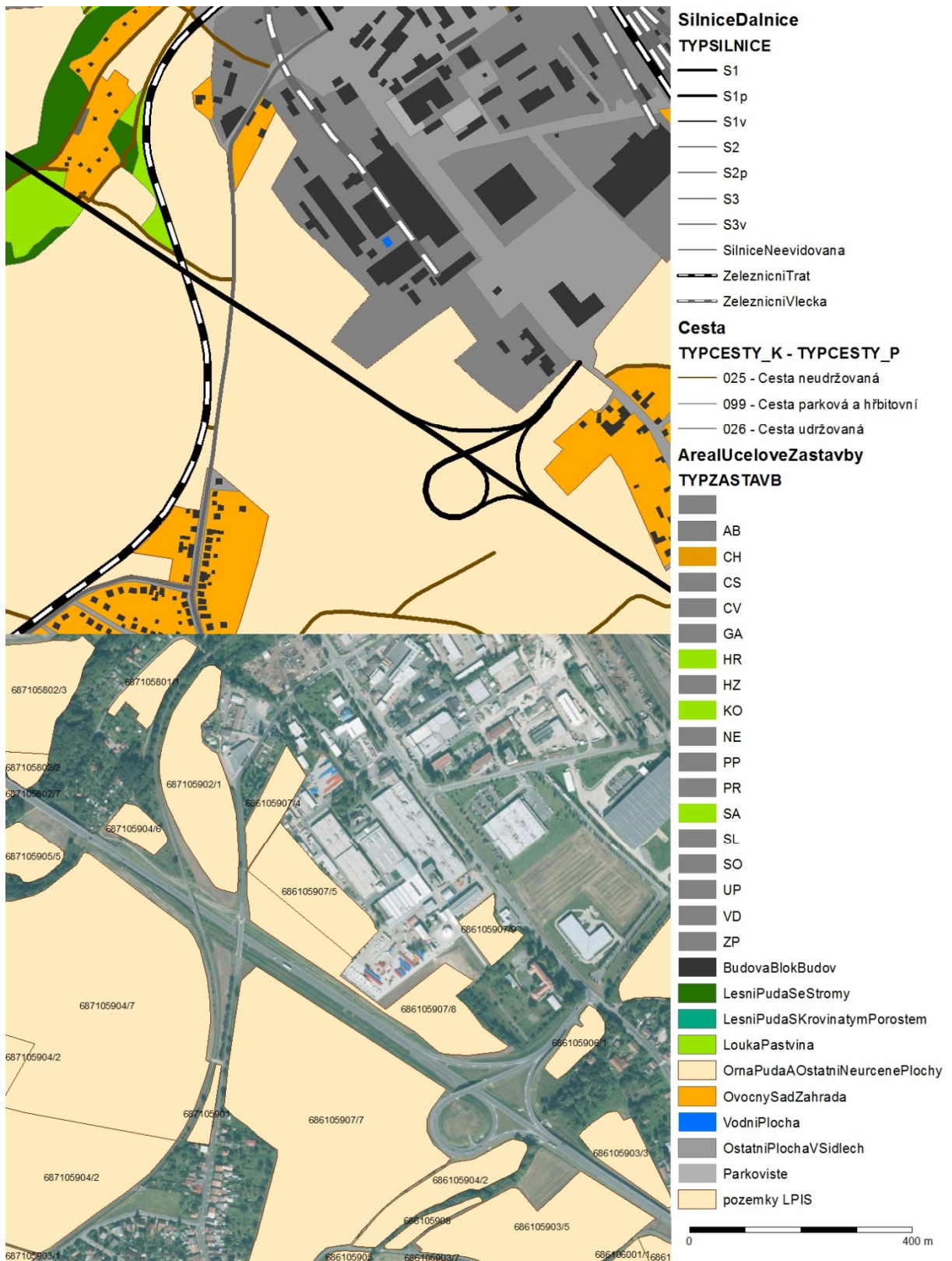
6-2

Tab. 6-1: Kategorie využití LPIS dle (Ministerstvo zemědělství ČR 2017b)

KULTURANAZ	KULTURAKOD
standardní orná půda	R
travní porost (na orné půdě)	G
úhor	U
trvalý travní porost	T
vinice	V
chmelnice	C
ovocný sad	S
školka	K
rychle rostoucí dřeviny	D
jiná trvalá kultura	J
zalesněná půda	L
rybník	B
mimoprodukční plocha	M
jiná kultura	O



Obr. 6-2: Porovnání geometrické přesnosti LPIS a ZABAGED



Obr. 6-3: Porovnání geometrického záznamu datasetu LPIS a mapového díla ZABAGED®

6.2 Výškopis terénu

6.2.1 DMR 4G

„Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů.“ (Český úřad zeměměřický a katastrální 2013a) Výšková data byla pořízena metodou laserového skenování v letech 2009 až 2013. Datová sada DMR 4G pro celé území České republiky byla dokončena k 1.2.2014 (Brázdil 2016a). Od té doby je průběžně aktualizován a to metodami digitální stereofotogrammetrie a leteckého laserového skenování. Dataset je určen k analýzám terénních a přírodních jevů regionálního charakteru a rozsahu. (Český úřad zeměměřický a katastrální 2013a)

Letecké laserové skenování je prováděno z výšky 1200 nebo 1400 metrů nad střední rovinou terénu v záznamových blocích. Záznam odrazů laserového paprsku je podroben robustní filtraci, která má za cíl separovat body odrazu na terénu (včetně skal), na vegetaci, stavbách a identifikovat chybná měření (například odraz paprsku od letícího ptáka). Výsledkem procesu jsou samostatné soubory dat podle příslušnosti k dané skupině objektů. Orientační úspěšnost zatřídění do jednotlivých souborů se liší podle sezóny, ve které probíhalo měření: v období bez rozvinuté vegetace (březen-květen) je přibližně 90%, v období s rozvinutou vegetací pak 30-40% (Brázdil 2016a).

Jednotlivé záznamové bloky jsou posléze zpracovány ve čtvercích 5x5 m, kde v každém čtverci je vybrán jako pravděpodobný „uzlový bod“ bod s nejmenší výškou. Tento je porovnán s okolními body a pokud se výrazně výškově odlišuje, je považován za chybu a je zvolen následující vyšší bod, který toto kritérium splňuje. Finálně jsou z nepravidelné sítě uzlových bodů interpolovány výšky bodů v pravidelné síti 5x5 metrů metodou adaptabilní lineární predikce. (Brázdil 2016a)

Polohová souřadná soustava datasetu je S-JTSK a výšková souřadná soustava je Balt po vyrovnání. Úplná střední chyba výšek je průměrně 0,3 metru v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. (Český úřad zeměměřický a katastrální 2013a) Velikost úplné střední chyby je různá na různých kategoriích povrchů a pro ornou půdu je 0,13 m. Vzhledem ke generalizaci výškových dat do čtvercové sítě 5x5 m nemůže tento model vystihnout lokální členitost terénu, výskyt anomálií a terénních objektů v rozměrech menších než 5 metrů. V blízkosti výrazných terénních zlomů tak může dojít až k několikametrovým chybám při odvozování výšek z tohoto generalizovaného modelu. (Brázdil 2016a)

6.2.2 DMR 5G

„Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN)“ (Český úřad zeměměřický a katastrální 2013b) Výšková data byla pořízena metodou laserového skenování v letech 2009 až 2013. Datová sada DMR 4G pro celé území České republiky byla dokončena k 30.6.2016 (Brázdil 2016b). Od té doby je průběžně aktualizován a to metodami digitální stereofotogrammetrie případně leteckého laserového skenování. Dataset je určen k analýzám terénních a přírodních jevů lokálního charakteru a rozsahu, například projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb a modelování přírodních jevů lokálního charakteru. (Český úřad zeměměřický a katastrální 2013b)

Výšková data byla získána během stejné kampaně a tedy stejným způsobem jako v případě DMR4G tak, jak popsáno v předchozí kapitole. Filtrování měřených dat a jejich rozdělení do souborů bylo prováděno také shodně a odpovídá tomu i stejná úspěšnost zařídění podle období sběru dat (Brázdil 2016b).

Výběr „uzlových bodů“ probíhal obdobně jako u DMR 4G s tím rozdílem, že byla použita různá velikost procesního čtverce pro zemědělsky využívané plochy a pro plochy ostatní. Na plochách s nízkou vegetací, zejména těch jež byly snímány během vegetační sezóny, nebylo možné spolehlivé automatické zařídění všech bodů neležících přímo na terénu do kategorie vegetace. Na zemědělských plochách byla použita velikost procesního čtverce také 5x5 m. Zemědělské plochy byly definovány jednak pomocí datasetu zemědělských půdních bloků LPIS, ale také byly manuálně zahrnuty plochy zemědělsky obhospodařované nepřítomné v LPIS. Ve všech manuálně přidávaných plochách bylo kontrolováno, že neobsahují významné terénní hrany a další trvalé terénní prvky, které by byly použitou generalizací odstraněny. (Brázdil 2016b)

Pro ostatní plochy byla velikost procesního čtverce 1x1 m a výběr reprezentativního bodu každého čtverce probíhal tak jak je popsáno v předchozí kapitole. Protože výsledným produktem je nepravidelná síť bodů, nebyly již tyto reprezentativní body dále upravovány (interpolovány). Interpolace ze známých bodů byla využita pro plochy, pro něž nebyl ve zdrojovém měření získán dostatečný počet bodů terénu. Typicky se jednalo o vodní plochy, kde odchází k pohlcování laserového paprsku a plochy s hustou vegetací, kde není dostatečný počet odrazů od samotného terénu. (Brázdil 2016b)

V této podobě by však byl model příliš detailní a tak dochází k „ředění“ výškových bodů. Výsledný dataset je transformován do souřadné soustavy S-JTSK a výšková souřadná soustava je Balt po vyrovnání. Úplná střední chyba výšek je průměrně 0,14 metru v terénu bez souvislé vegetace a zástavby a 0,3 m v plochách pokrytých hustou vegetací. Velikost úplné střední chyby je různá na různých kategoriích povrchů, pro ornou půdu odpovídá 0,14 m a nejvyšší je pak na plochách luk a pastvin s hodnotou 0,21 m. (Brázdil 2016b)

7 Nástroje pro generování vstupních vrstev distribuovaných erozních modelů

V této kapitole jsou představeny nástroje, které jsem osobně vyvinul specificky pro úvodní fáze sestavování erozních modelů. V úvodu každé modelovací úlohy je nejprve nutné získat přehled o řešeném území a jeho charakteristikách. Základní členění krajinné matrice, tedy definice využití ploch, a přítomnost prvků ovlivňujících směr odtoku a jeho soustředění, které jsou nezávislé na konkrétním modelu. Takto získaný dataset může být dále rozpracováván a doplňován o informace specifické pro model použitý v konkrétní úloze. Balíček nástrojů je dále doplněn o množství pomocných nástrojů usnadňující preprocessing a postprocessing modelovacích úloh (viz Obr. 7-1).

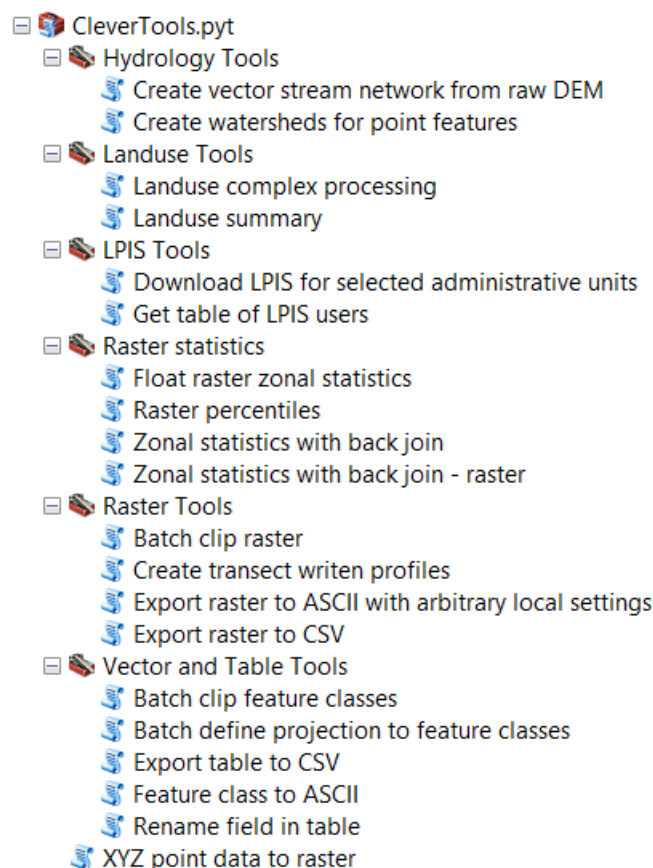
Nástroje jsou napsány v jazyce Python a využívají API (Application Programming Interface) knihovny `arcpy` programu ArcGIS společnosti ESRI. Nástroje tak jsou dostupné přímo v prostředí ArcGIS, kde se chovají stejně jako nativní nástroje ArcGIS. To umožňuje snadné spouštění těchto nástrojů přímo v prostředí, kde je prováděna příprava vrstev a jejich další zpracování. I když jsou nástroje nakódovány konkrétně pro tento produkt, tak jejich konverze pro využití jiných GIS knihoven by nebyla složitá díky použité objektové struktuře.

Součástí balíku nástrojů je mnoho pomocných nástrojů pro přípravu dat pro modelovací úlohy a pro zpracování a vyhodnocení výsledků těchto úloh. Některé pouze urychlují work-flow tím, že řetězí běžné nástroje, které jsou tak spouštěny jako jeden nástroj (např. vytvoření definice přispívajících ploch pro bodové vektorové prvky, zonální statistika se zpětným připojením výsledků k polygonové definici zón, hromadný ořez rastrů nebo vektorových datasetů na jedno území), jiné umožňují provádět operace, které nejsou standardně dostupné v prostředí ArcGIS Desktop (např. zjištění percentilů z hodnot rastru desetinných čísel). Nástroj na vytvoření psaných profilů z hodnot rastru podél libovolné linie je optimální pro vytváření svahových profilů pro profilově orientované simulační modely.

Názvy nástrojů a jejich uživatelské prostředí je záměrně vytvořeno v anglickém jazyce z několika důvodů:

- aby bylo umožněno je využívat i zahraničním uživatelům
- ustálená terminologie v geografických informačních systémech je v anglickém jazyce a obvykle se nepřekládá
- anglické popisky jednotlivých polí jsou zpravidla jednodušší a kratší než české
- na různých počítačích by mohlo docházet ke nečitelnosti českých popisků, kvůli chybám v implementaci kódování znaků v knihovně `arcpy` a v prostředí ArcGIS

Nejzásadnějším nástrojem z tohoto balíku je „Landuse complex processing“, který byl vytvořen pro zpracování běžně dostupných datových sad do vektorového datasetu (mapové vrstvy) využití ploch. Vytvořený dataset je přímo určen k navázání dalších informací spojených se sestavením matematických (počítačových) erozních modelů, je však nezávislý na konkrétním použitém modelu.



Obr. 7-1: Struktura balíčku nástrojů pro pre- a post-processing v úlohách erozního modelování

7.1 Nástroje pro vytvoření definice využití ploch – Land Use complex processing

Při sestavování distribuovaného nebo semi-distribuovaného erozního a hydrologického modelu je ve většině případů nutné připravit vstupní vrstvu využití území, která dále slouží jako primární podklad pro přiřazování vstupních parametrů. Samotné parametry jsou odlišné v závislosti na konkrétním modelu, ale geografická vrstva definující plochy, v rámci nichž lze parametry považovat za konstantní je užitečným výchozím podkladem, na němž lze dále stavět konkrétní aplikační vstupy.

Požadavky na vlastnosti takovéto vrstvy byly definovány následovně:

- je vhodná pro přiřazování vlastností ploch nezávisle na použitém modelu
- je odvozována automatizovaně z dostupných dat

- zachycuje hydrologický a erozní charakter ploch
- může být vytvořena konzistentně v rámci celé plochy republiky
- není geometricky navázána na konkrétní digitální model terénu
- je topologicky čistá – v každém místě existuje právě jedna kategorie využití (nedochází k překryvům polygonů a nevznikají mezery)

Pokud budeme klást důraz na univerzálnost a snadnost správy geografických i doplňkových dat, tak je optimálním způsobem reprezentace tohoto datového modelu vektorový dataset (viz kapitola 3.1). Z běžně dostupných datových sad pro Českou republiku, které nějakým způsobem reprezentují vlastnosti ploch v krajině, jsou nejpřesnějšími zdroji LPIS a ZABAGED®, více v kapitole 6.1. Katastrální mapa v digitální podobě by poskytla výrazně přesnější geometrický zákres, ale tím, že je primárně určen pro správu vlastnických vztahů k pozemkům, tak neobsahuje informace o charakteru plochy. Vektorová digitální katastrální mapa také zatím není dostupná pro celou plochu republiky.

Při posouzení těchto datových produktů z pohledů požadavků na vhodnou mapu využití ploch pro erozní modely výše se ukazuje, že ani jeden z uvedených produktů nesplňuje všechny z nich. ZABAGED® není topologicky čistý (dochází k překryvům objektů) a nedefinuje správně plochy s podobným hydrologickými a erozními vlastnostmi. Hlavním problémem je společné zahrnutí velmi odlišných ploch do objektu **OvocnySadZahrada** a **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy** (podrobněji viz kapitola 6.1.1). Dataset LPIS také není topologicky čistý, protože neobsahuje informace v celé ploše, ale velmi dobře definuje plochy v rámci nichž lze považovat vlastnosti ploch za homogenní a to až do úrovně plodin a agrotechnických operací (podrobněji viz kapitola 6.1.2). Z výše uvedeného je patrné, že geometrické i doplňkové informace v datasetu LPIS mohou posloužit pro eliminaci jednoho z klíčových nedostatků ZABAGED - správné definici ploch orné půdy. Pro výrazně vyšší přesnost a aktuálnost definice zemědělských pozemků, je LPIS použit jako závazný během dalšího zpracování. Prvky LPIS mají tedy nejvyšší prioritu mezi všemi vstupními daty a žádná z operací nemění jejich geometrii nebo určení kategorie.

Představovaný algoritmus kombinuje uvedené datové zdroje, využívá předností každého z nich a snaží se eliminovat nedostatky vzájemným doplněním informací z ostatních vstupních datasetů. Jednotlivé vstupní daty jsou pomocí logických operací zpracovány a kombinovány tak, že výsledný vrstva využití ploch reflektuje co nejvíce skutečný stav ploch a splňuje podmínky definované výše. Pro dosažení maximální univerzálnosti výstupu byly

definovány elementární kategorie využití ploch z pohledu jejich vlastností vzhledem k infiltraci vody a generování povrchového odtoku.

7.1.1 Definice výstupních kategorií využití ploch

Kategorie využití ploch ve výstupu nástroje byly definovány pro oddělení krajinných elementů v první úrovni podrobnosti dělení nutné pro zachycení zásadních vlastností povrchů z pohledu materiálu, vegetace a ovlivnění lidskou činností. V rámci každé z kategorií by bylo možné další, podrobnější, dělení, ale dostupné datové zdroje již neobsahují dostatek informací pro rozlišení dílčích sub-kategorií. Pro řešení specifických úloh erozního modelování bylo umožněno další rozdělení kategorie orná půda zahrnutím informací o pěstované plodině a využívaných agrotechnologiích. Tyto informace však již nejsou přímou součástí dostupného datasetu LPIS a jejich případné doplnění je tak úkolem, který musí být řešen samostatně pro konkrétní úlohu.

V Tab. 7-1 jsou uvedeny jsou uvedeny kategorie využití ploch definované pro výstupní dataset nástroje. Každá dílčí plocha musí být zařazena právě do jedné z těchto kategorií, aby byla umožněna jednoznačnost přiřazení dodatečných charakteristik specifických pro konkrétní matematický model. Na základě tohoto rozdělení byly jednotlivé vstupní datasety rozřazeny do cílových kategorií, které uvádí Tab. 7-2

. Až na výjimky lze objekty ZABAGED® přímo zařadit do jedné z kategorií, a právě ty objekty, u nichž není zařazení jednoznačné, jsou podrobeny sledu operací, které mají za úkol tyto plochy rozdělit tak, aby výsledné dílčí plochy už bylo možné zařadit právě do jedné z kategorií. Tyto problematické objekty jsou popsány v kapitole 6.1.1 spolu s důvody pro jejich nejednoznačnost.

Tab. 7-1: Definice výstupních kategorií využití ploch

Kategorie využití	Kód	význam
Antropogenní a zpevněné plochy	AZP	- plochy výrazně pozměněné lidskou činností u nichž lze předpokládat výrazné zastoupení nepropustných povrchů - může obsahovat drobné dílčí plochy propustných povrchů, které ale nepřesahují 50% rozlohy jednotlivých prvků - přírodní nepropustné povrchy
Orná půda	OP	- pozemky orné půdy využívané k pěstování zemědělských plodin - nesmí obsahovat dílčí plochy jiných povrchů (cesty, meze, remízy, mokřady, doprovodná vegetace vodních toků atp.) - umožňuje další podrobnější dělení podle konkrétní situace
Zahrady	Z	- udržované plochy okrasných zahrad, parků, hřbitovů - minimální zastoupení povrchů bez vegetačního pokryvu - minimální zastoupení zpevněných a nepropustných ploch
Sady	S	- plochy produkčních ovocných sadových porostů charakteristické pravidelnou výsadbou nízkých stromů - meziřadí zpravidla bez vegetačního pokryvu nebo se špatnou kvalitou a pokryvností porostu
Travní porost	TP	- plochy trvale pokryté souvislou nízkou travní vegetací bylinného patra - zemědělské (louky, pastviny) i nezemědělské porosty (např. sportovní hřiště)
Křovinatý porost	KP	- plochy s většinovým vegetačním krytem bylinného i stromového patra - různé zastoupení vysoké a nízké vegetace - doprovodná vegetace liniových prvků (vodní toky, pozemní komunikace apod.) - maloplošné celky stromové a keřové vegetace (remízy, meze apod.) - může obsahovat dílčí plochy bez půdopokryvné vegetace, nebo pokryvu organickou hmotou
Lesní porost	LP	- plocha zcela pokrytá porostem stromů s vyvinutým bylinným a keřovým patrem - může obsahovat plochy dočasně se sníženým zastoupením vzrostlých stromů - dobře vyvinutá lesní půda a pokryv povrchu organickou hmotou
Cesty	C	- plochy nezpevněných komunikací s částečně zachovanou infiltrační schopností - bez půdního pokryvu, případně maximálně do 50% plochy
Vodní plochy	VP	- plochy vodních nádrží a vodních toků se souvislou vodní hladinou
Chmelnice	CH	- specifické plochy pro pěstování chmele s holým meziřadím s podpurnými konstrukcemi pro pnutí chmele
Vinice	V	- specifické plochy pro pěstování vinné révy - meziřadí zpravidla bez vegetačního pokryvu nebo se špatnou kvalitou a pokryvností porostu

Tab. 7-2: Rozřazení zdrojových objektů do cílových kategorií využití ploch

Kód	Kategorie využití	Zařazené plochy ZABAGED®	Zařazené plochy LPIS
AZP	antropogenní a zpevněné plochy	ArealUceloveZastavby ¹ BudovaBlokBudov ² Elektrarna ² HaldaOdval ³ ChladiciVez ² Kolejiste ² KulnaSklenikFoliovník ² Letiste ³ OstatniPlochaVSidlech ² Parkoviste ² PovrchovaTezbaLom ³ PrecepavaciStaniceProduktovodu (PrecepavaciStanice) ^{2, 11} RozvalinaZricenina ³ RozvodnaTransformovna ² Silo ² SkalniUtvary ³ Skladka ³ ValcovaNadrzZasobnik ² ArealZeleznicniStaniceZastavky (ZeleznicniStanice) ^{2, 11} plochy silnic ⁴ plochy železničních tratí ⁵	
OP	orná půda	OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy	standardní orná půda (R) ⁶ , úhor (U) ¹²
Z	zahrady	OvocnySadZahrada ⁷ OkrasnaZahradaPark ² Hrbitov ² ArealUceloveZastavby ¹	
S	sady	OvocnySadZahrada ⁸	ovocný sad (S)
TP	travní porost	TrvalyTravniPorost (LoukaPastvina) ^{10, 11} ArealUceloveZastavby ¹	trvalý travní porost (T), tráva na orné (G)
KP	křovinatý porost	LesniPudaSKrovinatymPorostem ¹⁰ Plochy zbývající po zpracování ostatních kategorií	rychle rostoucí dřeviny (D), jiná trvalá kultura (J), jiná kultura (O), mimoprodukční plocha (M)
LP	lesní porost	LesniPudaSeStromy ¹⁰ LesniPudaSKosodrevinou ¹⁰	zalesněná půda (L), školka (K)
C	cesty	plochy cest ⁹	
VP	vodní plochy	VodniPlocha	rybník (B)
CH	chmelnice	Chmelnice	chmelnice (C)
V	vinice	Vinice	vinice (V)

- ¹ - objekt dále kategorizován dle atributů
- ² - všechny prvky objektu jsou zařazeny do intravilánu
- ³ - do intravilánu zařazeny pouze prvky, které se vyskytují uvnitř uzavřené hranice definované ostatními plochami
- ⁴ - plochy vzniklé bufferováním liniové kategorie *SilniceDalnice, SilniceNeevidovana, Cesta (zpevněná)*
- ⁵ - plochy vzniklé bufferováním liniové kategorie ***ZeleznicniTrat, ZeleznicniVlecka***
- ⁶ - plochy lze dále rozlišit podle pěstované plodiny
- ⁷ - plochy kategorie ***OvocnySadZahrada*** do specifikované vzdálenosti od budov, plochy této kategorie jsou zahrnuty do definice intravilánu
- ⁸ - plochy kategorie ***OvocnySadZahrada*** kromě ploch zařazených do kategorie "zahrady"
- ⁹ - plochy vzniklé bufferováním liniového objektu ***Cesta (nezpevněná)***
- ¹⁰ - do zvolené vzdálenosti od budov je plocha zahrnuta do intravilánu
- ¹¹ - došlo ke změně jména datasetu
- ¹² – lze předpokládat, že úhor je na dílu půdního bloku přítomen pouze dočasně, jinak by byl DPB převeden na jinou kulturu nebo vyjmut z LPIS

U objektu ***ArealUceloveZastavby*** lze určit převládající charakter povrchu různých povrchů na základě atributu a tím je snadno rozřadit do odpovídajících kategorií. Tab. 7-3 uvádí hodnoty atributů, u kterých jsou prvky převedeny do jiné kategorie. Pro všechny ostatní hodnoty atributu jsou prvky zařazeny do kategorie „Antropogenní a zpevněné plochy“. Do roku 2013 se jednalo o textový atribut TYPZASTAVB, od roku 2014 lze charakter prvků odlišit na základě atributu TYPZAST_K. Rozdělení do kategorií se nezměnilo, jen došlo ke změně názvu atributového sloupce, způsobu kódování hodnota a rozšíření seznamu možných hodnot.

Tab. 7-3: Rozřazení kategorií objektu *ArealUceloveZastavby*

TYPZASTAVB	TYPZAST_K	Význam	Cílová kategorie
SA	301	sportovní areál	travní porost
GF	306	golfový areál	travní porost
KO	309	koupaliště	travní porost
CA	310	camping	travní porost
HR	311	hřiště	travní porost
VD	407	vodojem zemní	travní porost
KC	314	kynologické cvičiště	travní porost
	111	chov hospodářských zvířat	travní porost
CH	312	chatová kolonie	zahrady
RZ	313	rekreační zástavba	zahrady
SN	212	skanzen	zahrady
ZO	213	ZOO, safari	zahrady
BZ	214	botanická zahrada	zahrady

U ostatních objektů ZABAGED®, které nejdou jednoduše rozdělit do kategorií jsou prováděny geoprocessingové operace, které vedou na jejich plošné rozdělení. Konkrétní postupy pro jednotlivé objekty jsou popsány v kapitole 7.1.3.

7.1.2 Uživatelské rozhraní nástroje

Uživatelské prostřední nástroje je vytvořeno pomocí framework „Python toolbox“, který je obsažen API ArcGIS – knihovně „arcpy“ pro programovací jazyk Python. Nástroj dostává automaticky vytvořené rozhraní pro vkládání vstupních datasetů/ vrstev, viz Obr. 7-2. Jednotlivé vstupní argumenty jsou stručně popsány dále, podrobné vysvětlení významu pak v kapitole 7.1.3.

Landuse complex processing

Input LPIS definition

Distinguish crops in LPIS definition (optional)

Attribute field with crop information (optional)

Workspace with ZABAGED objects

Clip resulting Land-use on given boundary (optional)

Boundary for clipping (optional)

Output Land Use definition

Field name for land use code

Buildings buffer settings

Buffer around buildings on 'gardens and orchards' category

Linear features settings

Buffer table for linear features

Include service roads into landuse (optional)

Include also unpaved service roads (optional)

Create unpaved service roads within forests (optional)

Create unpaved service roads within grassland (optional)

Patches outside LPIS

Grassland outside LPIS parcels into schrubwoods (optional)

Vineyards outside LPIS parcels into schrubwoods (optional)

Hop fields outside LPIS parcels into schrubwoods (optional)

Orchards outside LPIS parcels into schrubwoods (optional)

Urban areas output

Create urban areas definition (optional)

Output urban areas definition (optional)

Use buildings on other land use categories to define urban areas (optional)

Buffer around buildings on other categories (grassland, forests, schrubwoods) (optional)

OK Cancel Environments... Show Help >>

Obr. 7-2: Uživatelské grafické rozhraní nástroje pro vytváření datasetu využití území

Definice LPIS – dataset/ vrstva pozemků LPIS

Rozlišit plodinu na orné půdě – pokud zvoleno, bude zahrnut vybraný atribut z definice LPIS do výsledné kategorie využití

Atributové pole LPIS obsahující plodinu – kód využití plochy pro ornou půdu doplněn o obsah tohoto atributového pole ve tvaru „OP_“*“%plodina%”*, může být použit jak pro konkrétní plodinu pro epizodní matematické modely, tak pro osevní postup pro empirické matematické modely

Umístění objektů ZABAGED® – pracovní prostor (adresář, geodatabáze) obsahující datasety objektů polohopisu ZABAGED

Oříznout na zájmové území – pokud je zvoleno, je výsledný dataset oříznut na zvolenou hranici

Hranice zájmového území - dataset/ vrstva pro oříznutí výstupní vrstvy využití ploch

Výstupní definice Landuse – jméno a umístění výstupního datasetu využití ploch

LandUse field – jméno atributového sloupce ve výstupním datasetu pro zápis kódu kategorie využití

Buffer budov pro oddělení zahrad a sadů – vzdálenost buffer pro oddělení kategorií zahrada a sad z objektu *OvocnySadZahrada* a pro odvození hranice intravilánu

Tabulka bufferů pro liniové prvky – výběr tabulky pro vytvoření ploch liniových staveb, pokud není zvoleno, je použita přednastavená tabulka (viz kapitola 7.2.11)

Zahrnout cesty do výstupní definice využití ploch – pokud je zvoleno, budou zpevněné cesty zahrnuty do výstupu

Zahrnout i nezpevněné cesty – pokud je zvoleno, budou i nezpevněné cesty zahrnuty do výstupu

Vytvořit nezpevněné cesty v lesích – pokud je zvoleno, budou nezpevněné cesty nadřazeny kategorii Lesní porosty

Vytvořit nezpevněné cesty v travních porostech – pokud je zvoleno, budou nezpevněné cesty nadřazeny kategorii Travní porosty

Travní porost mimo pozemky LPIS do kategorie křovinatých porostů – plochy objektu *TrvalyTravniPorost* nevedené v LIPS budou zařazeny do křovinatých porostů

Vinice mimo pozemky LPIS do kategorie křovinatých porostů – plochy objektu *Vinice* nevedené v LIPS budou zařazeny do křovinatých porostů

Chmelnice mimo pozemky LPIS do kategorie křovinatých porostů – plochy objektu *Chmelnice* nevedené v LIPS budou zařazeny do křovinatých porostů

Sady mimo pozemky LPIS do kategorie křovinatých porostů – plochy objektu **OvocnySadZahrada** nevedené v LIPS budou zařazeny do křovinatých porostů

Vytvořit definici intravilánu – pokud zvoleno bude plošná definice intravilánu uložena jako dataset

Výstupní definice intravilánu – jméno a umístění výstupního datasetu plošné definice intravilánu

Použít budovy na dalších kategoriích k odvození definice intravilánu – pokud zvoleno, bude intravilán odvozen i pro budovy na jiných kategoriích využití ploch (nejen Zahrady)

Buffer pro budovy na ostatních kategoriích - vzdálenost buffer pro odvození hranice intravilánu na extravilánových objektech ZABAGED

7.1.3 Oddělení sadů a zahrad - určení hranice intravilánu

Hranice intravilánu je využita během odvozování vrstvy využití ploch primárně pro geometrické oddělení sadů a zahrad ze zdrojového objektu **OvocnySadZahrada**. Okrasné a okrasně-užitkové zahrady se vyskytují vždy v blízkosti budov, neboť estetická hodnota je přirozeně umístěna do blízkosti výskytu obyvatel. S tím je spojeno i umístění obslužných objektů pro údržbu a zajištění těchto okrasných ploch, které jsou logicky situovány do přilehlých budov. Pravidelně udržované plochy zeleně s vysokou mírou pokryvu povrchu vegetací a příznivým stavem půdy vůči infiltraci po určité vzdálenosti přecházejí do ploch užitkových. Tento přechod nemusí být ostrý a jasně zřetelný, ale obvykle lze nalézt přibližný průběh nejvýraznější změny. Obslužné provozy užitkových ploch naproti tomu bývají situovány do blízkosti obytných budov a jejich areálů.

Objekt ZABAGED **OvocnySadZahrada** má zásadní význam pro správný odhad vlastností ploch, které jsou v něm zahrnuty, protože obsahuje jak zahrady kolem soukromých domů, tak intenzivně zemědělsky využívané plochy sadů. I v případě, že se jedná o malé soukromé sady za zahradami, lze očekávat pouze malé škody z jejich zaplavení nebo zanesení sedimentem. Vzhledem k tomu, že polygony této kategorie nejsou děleny podle skutečných hranic užívání ploch, nelze z těchto ploch oddělit plochy zahrad, tak aby to odpovídalo reálnému charakteru ploch, pouze pomocí prostorového výběru.

Určit toto rozhraní čistě na základě zatřídění objektů ZABAGED jako intravilánové/extravilánové může být chybné zejména kvůli mnohoznačnosti objektů **OvocnySadZahrada** a **ArealUceloveZastavby**. Proto byl použit pro odhad průběhu hranice mezi kategoriemi Zahrady a Sady předpoklad limitní vzdálenosti od budov. U budov, které nejsou přímou součástí zastavěné plochy sídel („samoty“) zpravidla není přítomen prvek v objektu

OvocnySadZahrada, ale budova leží na některém z extravilánových objektů (**LesniPudaSeStromy**, **LesniPudaSKrovinatymPorostem**, **LoukaPastvina**, **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy**). Pokud je potřeba pro konkrétní úlohu nalézt hranice „zahrad“ i u těchto budov, je to uživateli umožněno zvolit před spuštěním nástroje. Nalezení přibližné obecně platné vzdálenosti pro oddělení ploch užitných (zemědělských) a obytných (residenčních) bylo součástí kalibrace nástroje. Pro potřeby kalibrace a testování je umožněno nezávislé nastavení hodnoty vzdálenosti od budov na objektech extravilánových a intravilánových.

Volitelný výstup hranice intravilánu může být využit k dalším aplikacím, například jako hranice, kde povrchový odtok ze zemědělské půdy vstupuje do zastavěného území a může ohrozit majetek obyvatel a infrastrukturu sídel, více v kapitole 10.2.

Objekty ZABAGED, které jsou přímo bez úprav použity jako plochy intravilánu, jsou uvedeny v Tab. 7-2. Jsou to: **BudovaBlokBudov**, **Elektrarna**, **ChladiciVez**, **Kolejiste**, **KulnaSklenikFoliovnik**, **OstatniPlochaVSidlech**, **Parkoviste (ParkovisteOdpcivka)**, **PrececpavaciStanice (PrececpavaciStaniceProduktovodu)**, **RozvodnaTransformovna**, **Silo**, **ValcovaNadrzZasobnik**, **ZeleznicniStanice (ArealZeleznicniStaniceZastavky)**.

Prvky objektu **BudovaBlokBudov** se obecně vyskytují na jakékoliv z kategorií **ArealUceloveZastavby**, **OstatniPlochaVSidlech**, **OvocnySadZahrada**, **LesniPudaSeStromy**, **LesniPudaSKrovinatymPorostem**, **LoukaPastvina**, **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy**, **OkrasnaZahradaPark**, **Hrbitov**. Podtržením jsou označeny ty objekty, které nejsou součástí intravilánu. Pro tyto objekty je nutné provést sled operací, který oddělí plochy, které jsou v blízkosti budov a je možné je považovat za zahrady a tedy intravilán.

Protože operace pro oddělení sadů a zahrad jsou součástí postupu pro odvození datasetu využití ploch, byl algoritmus pro odvození plošného rozsahu intravilánu implementován jako volitelný výstup přímo do tohoto nástroje. Zařazení plochy do kategorie využití „Antropogenní a zpevněné plochy“ je nezávislé na zařazení plochy do výstupního datasetu hranice intravilánu.

7.2 Popis algoritmu generování vrstvy využití ploch

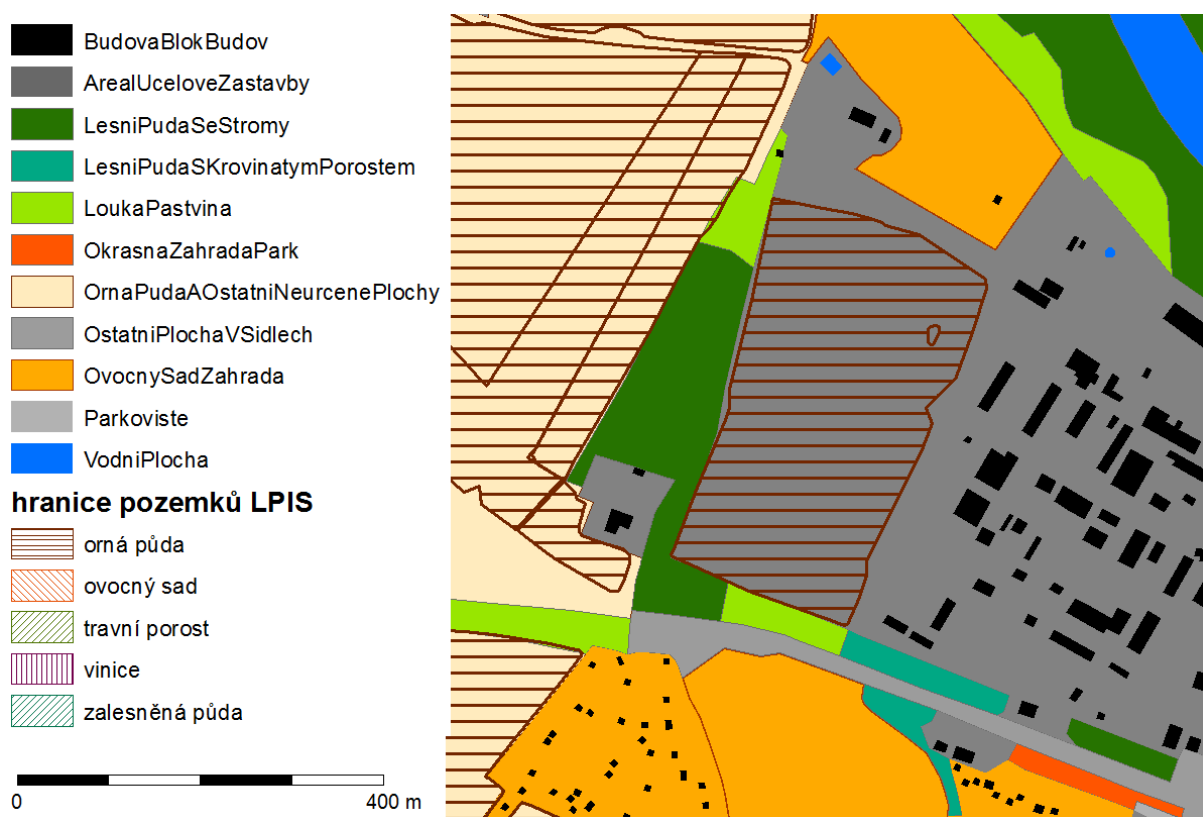
7.2.1 Přípravné operace

Z objektu **ArealUceloveZastavby** jsou na základě atributu vybrány ty prvky, u nichž převažuje povrch, který není zpevněný. Tab. 7-3 uvádí hodnoty atributů, u kterých jsou prvky převedeny do jiné kategorie. Tyto prvky jsou přiřazeny k uvedeným kategoriím a jsou součástí

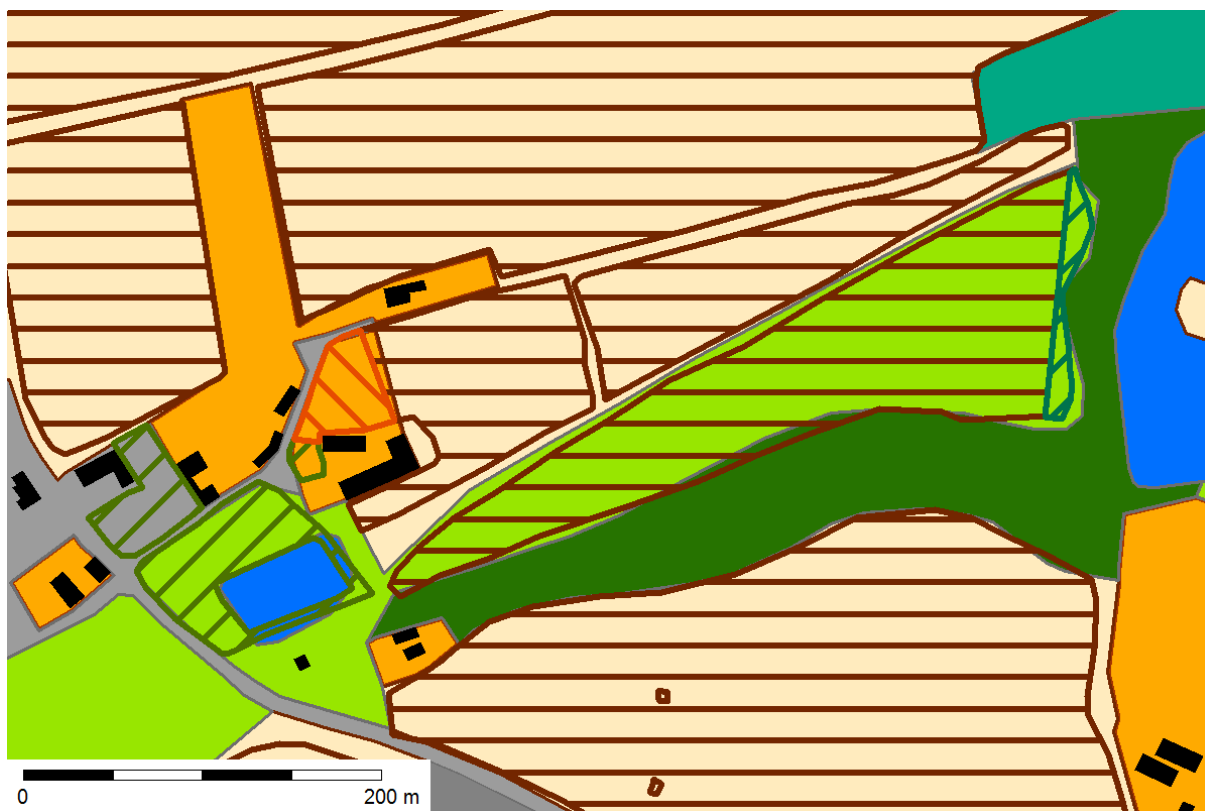
dalšího processingu těchto kategorií. Pro všechny ostatní hodnoty atributu jsou prvky zařazeny do kategorie „Antropogenní a zpevněné plochy“ a jsou bez dalších úprav součástí intravilánu.

Pozemky dle LPIS jsou použity jako závazná definice zemědělsky využívaných ploch a protože má dataset LPIS řádově vyšší geometrickou přesnost, jsou jeho polygony v rámci celého algoritmu brány jako závazné a neměnné. Protože obecně může dojít díky geometrickým nesouladům k překryvu s jakýmkoliv objektem ZABAGED, je v prvním kroku odečten LPIS od všech objektů ZABAGED®. Překryv nastává i se zdánlivě nemožnými objekty ZABAGED jako například **ArealUceloveZastavby** a **VodniPlocha** (viz Obr. 7-3, Obr. 7-4). Dále jsou od všech vstupních objektů ZABAGED® odečteny překryvné objekty **BudovaBlokBudov** a **SkalniUtvary**.

Plochy zbylé po odečtení pozemků jsou dále zpracovávány na základě svého charakteru, tak jak je popsáno dále. Pro objekt **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy** je předpokládáno, že jsou odstraněny všechny hospodářsky využívané pozemky (orná půda, trvalé travní porosty, sady) a z tím z tohoto objektu pro další zpracování zůstávají právě „ostatní neurčené plochy“.



Obr. 7-3: Výskyt pozemku LPIS na objektu ZABAGED ArealUceloveZastavby

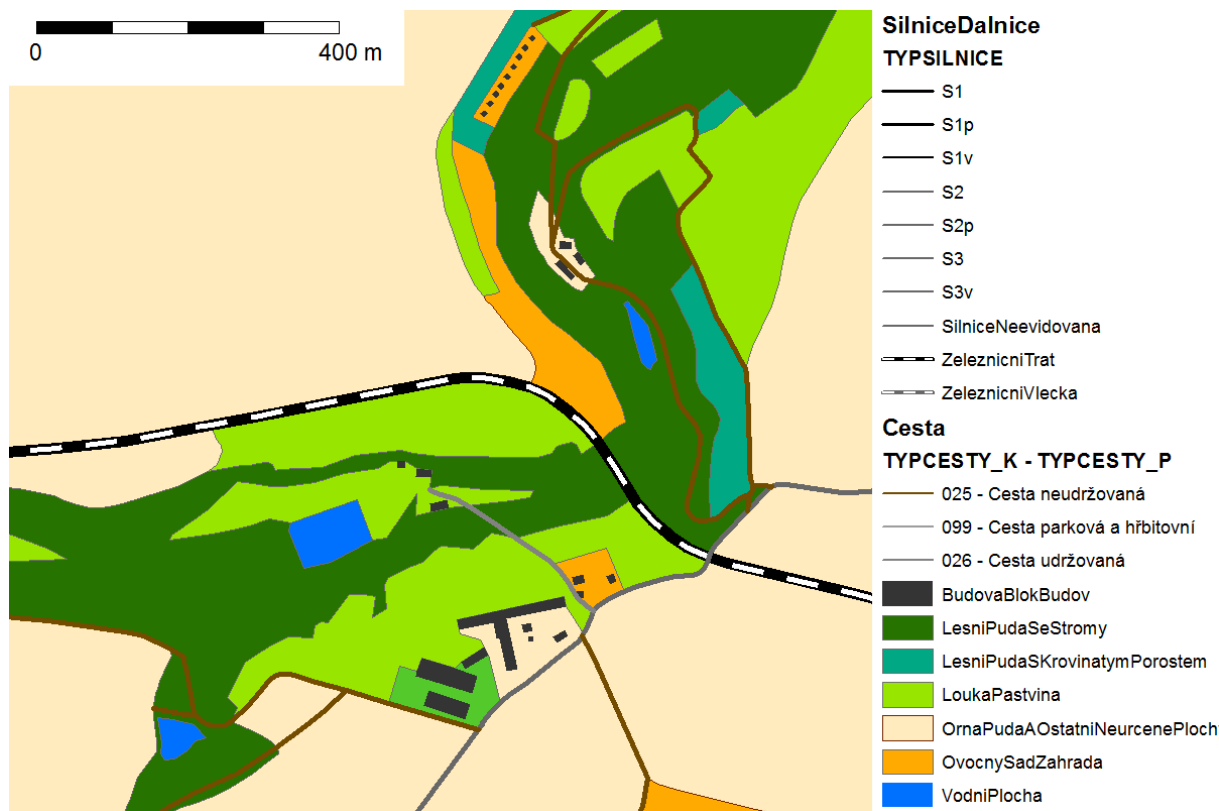


Obr. 7-4: Výskyt pozemku LPIS na objektu ZABAGED VodniPlocha (legenda na Obr. 7-3)

7.2.2 Antropogenní a zpevněné plochy

Následně je vytvořena kategorie „Antropogenní a zpevněné plochy“ sloučením vybraných objektů ZABAGED (viz Tab. 7-2) a vybraných prvků z objektu **ArealUceloveZastavby** (viz Tab. 7-3). Před sloučením je vyřešen překryv prvků odečtením objektů překryvných od objektů podkladních. Dále jsou ještě odečteny všechny prvky objektu VodniPlocha. Takto vytvořená kategorie „Antropogenní a zpevněné plochy“ je dále doplněna o plochy liniových dopravních staveb.

Plocha liniových staveb není zanesena ani v jedné ze zdrojových vrstev, i když může tvořena prvky, které mohou významně ovlivňovat reakci povrchu na srážku. Podél liniových staveb se pak často nachází pásy doprovodné zeleně. Liniová geometrie reprezentující liniové stavby je vedena po hranicích mezi různými objekty ZABAGED® nebo přímo přes tyto objekty, viz Obr. 7-5.



Obr. 7-5: Ukázka vedení liniových objektů ZABAGED

Liniové prvky ze objektů ZABAGED® **SilniceDalnice**, **SilniceNeevidovana**, **ZeleznicniTrat a ZeleznicniVlecka a Cesta** jsou převedeny na plošné pomocí ekvidistanty odpovídající jejich kategorii (řád silnice, počet kolejí železnice). Hodnoty rozšíření pro jednotlivé typy a pod-typy liniových staveb byly součástí kalibrace. Tab. 7-4 uvádí hodnoty vzdálenost rozšíření pro jednotlivé typy všech liniových objektů ZABAGED, které byly zařazeny do vytváření datasetu využití ploch.

Prvky z objektu **Cesta** jsou rozříděny na základě atributu „TYPCESTY_K“. Během kalibrace byl ověřen předpoklad, že lze ve většině případů považovat cesty udržované za zpevněné a cesty neudržované za nezpevněné. Výběrem dle hodnoty atributu jsou tedy prvky objektu Cesta rozděleny mezi kategorii Antropogenní a zpevněné plochy a kategorii Cesty, pokud je zvoleno zahrnutí nezpevněných cest do výstupní definice využití ploch před spuštěním nástroje.

Sloupec BUFFER uvádí vzdálenost v metrech, o kterou je prvek rozšířen na každou stranu, čili šířka výsledného polygonu je dvojnásobek této hodnoty. Kategorie komunikací jsou v tabulce seřazeny podle priority v případě vzájemného překryvu.

Tab. 7-4: Vzdálenost rozšíření pro jednotlivé typy liniových prvků

Kategorie komunikace	TYP	BUFFER [m]	Zdrojový objekt
Dálnice	D	18	SilniceDalnice
Dálnice – větev	Dv	9	SilniceDalnice
Dálnice – paprsek	Dp	9	SilniceDalnice
Rychlostní silnice	R	15	SilniceDalnice
Rychlostní silnice – větev	Rv	7,5	SilniceDalnice
Rychlostní silnice – paprsek	Rp	7,5	SilniceDalnice
Silnice I. třídy	S1	7	SilniceDalnice
Silnice I. třídy – větev	S1v	3,5	SilniceDalnice
Silnice I. třídy – paprsek	S1p	3,5	SilniceDalnice
Silnice II. třídy	S2	5	SilniceDalnice
Silnice II. třídy – větev	S2v	2,5	SilniceDalnice
Silnice II. třídy – paprsek	S2p	2,5	SilniceDalnice
Silnice III. třídy	S3	4	SilniceDalnice
Silnice III. třídy – větev	S3v	2	SilniceDalnice
Silnice III. třídy – paprsek	S3p	2	SilniceDalnice
Silnice neevidovaná	SN	4	SilniceNeevidovana
Železniční trať	ZT	2,5	ZeleznicniTrat
Železniční vlečka	ZV	2,5	ZeleznicniVlecka
Cesta zpevněná	CZ	2,5	Cesta
Cesta	C	2,5	Cesta

Pro všechny kategorie silničních komunikací objektu **SilniceDalnice** odpovídá atribut TYP hodnotě atributu TYP SILNICE ve zdrojovém datasetu. Pro prvky z objektů **SilniceNeevidovana**, **ZeleznicniTrat** a **ZeleznicniVlecka** je hodnota TYP přiřazena paušálně všem prvkům na základě zdrojového objektu. Pro objekt Cesta je atribut TYP přiřazen na základě atributu TYPCESTY_K. Pro hodnotu 025 (cesta neudržovaná) je cílová hodnota C (nezpevněná cesta), pro všechny ostatní je cílovým typem CZ (cesta zpevněná).

Pro železniční trať a vlečku je finální buffer ještě dopočten z počtu kolejí uvedeném v atributovém poli „POCETKOLEJ“. V atributovém poli se však vyskytují i hodnoty, které nevyjadřují skutečný počet kolejí, ale jedná se pravděpodobně o kódovou hodnotou, u které však nelze dohledat její význam (hodnoty 0 a 25). Proto je šířka rozšíření dopočtena následovně:

Pokud je hodnota „POCETKOLEJ“:

- rovna 0, je použit jednonásobek hodnoty „BUFFER“
- mezi 1 a 4, je hodnota rozšíření rovna „POCETKOLEJ“ * „BUFFER“
- větší než 4, je hodnota rozšíření rovna 4*„BUFFER“

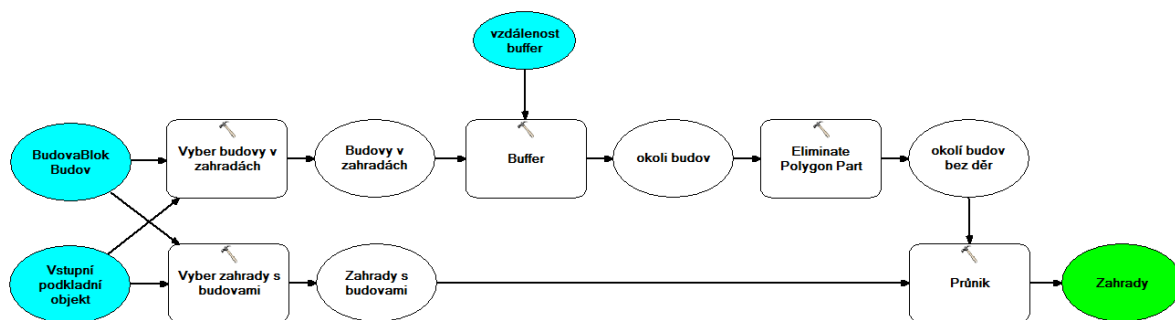
Od vytvořeného datasetu liniových staveb jsou dále odečteny plochy zpevněných ploch připravené dříve a to proto, aby se odstranily překryvy ploch v místech, kde jsou prvky liniových objektů ZABAGED vedeny na některém z intravilánových objektů. Na závěr je dataset liniových staveb je odečten od objektů **OvocnySadZahrada**, **LesniPudaSeStromy**, **LesniPudaSKrovinatymPorostem**, **LoukaPastvina**, **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy**, **OkrasnyParkZahrada**, **Hrbitov** od kterých byly již předtím odečteny pozemky LPIS a přírodní nepropustné plochy. Všechny plochy vzniklé ze zpevněných cestních komunikací a železničních tratí jsou součástí kategorie využití „**Antropogenní a zpevněné plochy**“.

7.2.3 Oddělení sadů a zahrad

Na Obr. 7-6 je zobrazeno pracovní schéma procesu, který vytvoří nový dataset obsahující plochy ze vstupního podkladního objektu (**OvocnySadZahrada**, **LesniPudaSeStromy**, **LesniPudaSKrovinatymPorostem**, **LoukaPastvina**, **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy**), do určené vzdálenosti od prvků objektu **BudovaBlokBudov**.

Nejprve jsou vybrány budovy, které leží na daném podkladním objektu, ty jsou následně rozšířeny o zvolenou ekvidistantu (vzdálenost buffer). Vzniklý dataset „bublin“ kolem budov obsahuje množství drobných mezer, které jsou odstraněny nástrojem Eliminate Polygon Part. Je proveden průnik „Okolí budov bez děr“ pouze s prvky ze zdrojového podkladového objektu, na kterých se nalézají budovy. To je provedeno proto, aby se rozšíření budovy případně neprojevovalo i do vedlejšího pozemku, na kterém tato budova nestojí, například na protější straně cesty.

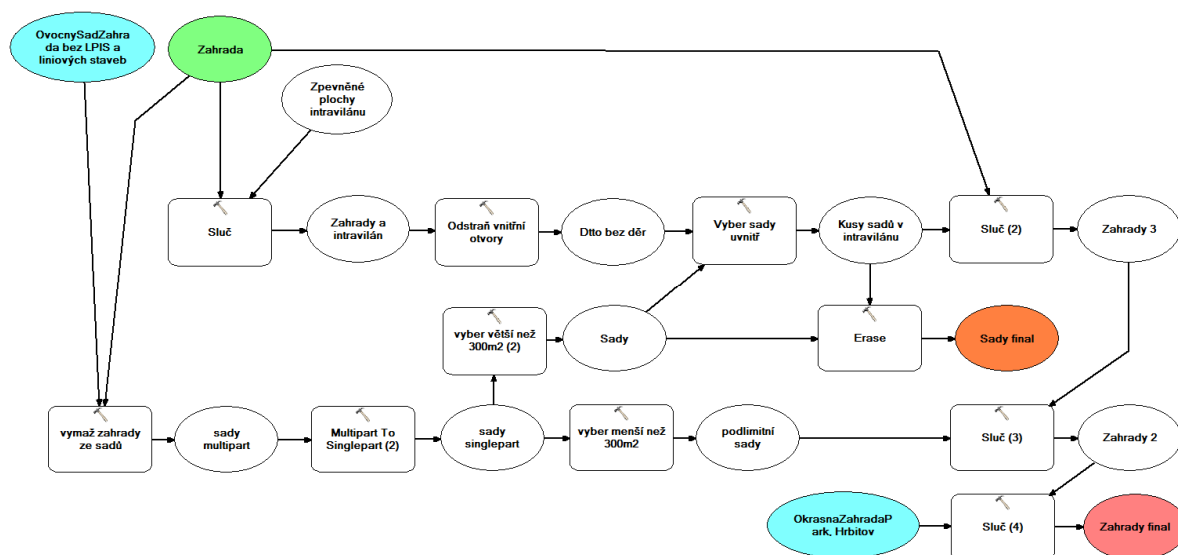
Tímto postupem jsou z objektu **OvocnySadZahrada** (od kterého byl v předchozích krocích odečten LPIS, nepropustné plochy a liniové stavby) získány prvky zahrad. Ze zbylých prvků jsou vybrány ty s rozlohou menší než 300 m² a ty, které leží kompletně obklopeny intravilánovými kategoriemi a tyto jsou následně spolu se všemi prvky z objektů **OkrasnaZahradaPark** a **Hrbitov** připojeny k zahradám a tvoří kategorii využití Zahrady. Zbylé plochy z původního objektu **OvocnySadZahrada** jsou zařazeny do kategorie Sady, tento postup je schematicky zobrazen na Obr. 7-7.



Obr. 7-6: Schéma procesu pro vytvoření hranice zahrady

Pokud je před spuštěním nástroje zvoleno, že má být vytvořena i hranice intravilánu na extravilánových plochách, je výše popsán postup proveden i pro objekty **LesniPudaSeStromy**, **LesniPudaSKrovinatymPorostem**, **LoukaPastvina** a **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy** a výsledné plochy jsou zahrnuty do plošné definice intravilánu. Následně jsou odstraněny vnitřní „díry“ v ploše intravilánu a to až do rozlohy 10 ha. Toto omezení je vynuceno složitou situací na vnějších okrajích velkých městských aglomerací, kde se často nachází pozemky orné půdy, které jsou obklopeny ze všech stran intravilánovými plochami.

V rámci kalibrace nástroje bylo testováno nastavení optimální vzdálenosti pro vytváření kategorie zahrad a definici intravilánu. Jako obecně platná se ukázala hodnota 20 m pro všechny objekty.



Obr. 7-7: Schéma procesu finalizace zahrad a sadů

Vzniklý dataset sadů je sloučen s pozemky sadů podle LPIS a tvoří kategorii využití „Sady“.

7.2.4 Travní a lesní porosty

Od datasetů vzniklých úpravou objektů ZABAGED (bez budov, nepropustných ploch a pozemků LPIS) jsou dále odečteny plochy liniových staveb. Nezpevněné cesty jsou odečteny, pouze pokud je toto zvoleno v nastavení nástroje. Následně jsou výsledné plochy travních a lesních porostů sloučeny s pozemky LPIS odpovídající kategorie (viz Tab. 7-2) a vznikají kategorie využití „**Travní porost**“ a „**Lesní porost**“.

7.2.5 Orná půda

Definice ploch orné půdy vychází pouze z pozemků LPIS kategorie „orná půda“. Pokud je v nastavení nástroje zvolen atributový sloupec obsahující definici plodiny/ osevniho postupu je kód využití plochy (OP) doplněn o tuto informaci a pro každý pozemek je kód zapsán ve tvaru „OP_%plodina%“, kde %plodina% je textový řetězec obsažený ve zvoleném atributovém sloupci.

7.2.6 Ostatní neurčené plochy a křovinaté porosty

Od ploch zbylých po odečtení pozemků LPIS od objektu **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy** jsou dále odečteny plochy liniových staveb. Výsledné zbytkové plochy jsou tvořeny zejména doprovodnou zelení podél pozemních komunikací, železničních tratí a vodních toků, příkopy a rozmanitou blížie nezařaditelnou vegetací. Dále se jedná o prvky uvnitř pozemků orné půdy a jejich těsné blízkosti, jako jsou meze, remízy a příkopy a vegetační pásy mezi pozemky. V jednotlivých případech obsahuje také hospodářsky využívané pozemky, které nejsou zaneseny v LPIS.

Tyto plochy jsou dále připojeny k upravenému objektu ZABAGED **KrovinatePorosty** (bez budov, nepropustných ploch a pozemků LPIS) a společně tvoří kategorii využití Křovinatý porost.

7.2.7 Vodní plochy

Od objektu ZABAGED **VodniPlocha** jsou odečteny plochy liniových staveb a jsou připojeny prvky LPIS s hodnotou atributu „KULTURA“ B, tedy rybník.

7.2.8 Chmelnice

Objekt ZABAGED Chmelnice je sloučen s pozemky LPIS odpovídající kategorie (viz Tab. 7-2) a tvoří kategorii využití Chmelnice.

7.2.9 Vinice

Objekt ZABAGED Vinice je sloučen s pozemky LPIS odpovídající kategorie (viz Tab. 7-2) a tvoří kategorii využití Vinice.

7.2.10 Finální úpravy datasetu využití ploch

Datasety jednotlivých kategorií využití jsou sloučeny do jednoho datasetu. Díky předchozímu processingu obsahuje tento dataset množství velmi malých a protáhlých polygonů zejména na rozhraních různých kategorií. Aby byl výsledný dataset využití ploch co možná nejvíce kompaktní a snížila se časová náročnost při jeho dalším využití, jsou tyto zbytkové odstraněny následovně. Pro všechny polygony je vypočtena jejich rozloha a koeficient tvaru:

$$c_s = \frac{\sqrt{\text{plocha}}}{4 \cdot \text{obvod}}$$

Rov. 7-1

Následně jsou vybrány všechny prvky:

- libovolné kategorie s plochou menší než 30 m²
- kategorie Antropogenní a zpevněné plochy
 - s plochou menší než 20 m²
 - nebo s plochou menší než 50 m² a koeficientem tvaru menším než 0,4
- kategorie Sady
 - s plochou menší než 100 m²
 - nebo s plochou menší než 400 m² a koeficientem tvaru menším než 0,3
- kategorie Křovinaté porosty nebo Travní porosty nebo Lesní porosty
 - s plochou menší než 100 m²
 - nebo s plochou menší než 400 m² a koeficientem tvaru menším než 0,3
- kategorie Travní porosty
 - s plochou menší než 100 m²
 - nebo s plochou menší než 400 m² a koeficientem tvaru menším než 0,3

Tyto vybrané polygony jsou následně připojeny k sousednímu polygonu, s nímž sdílí nejdelší hranice.

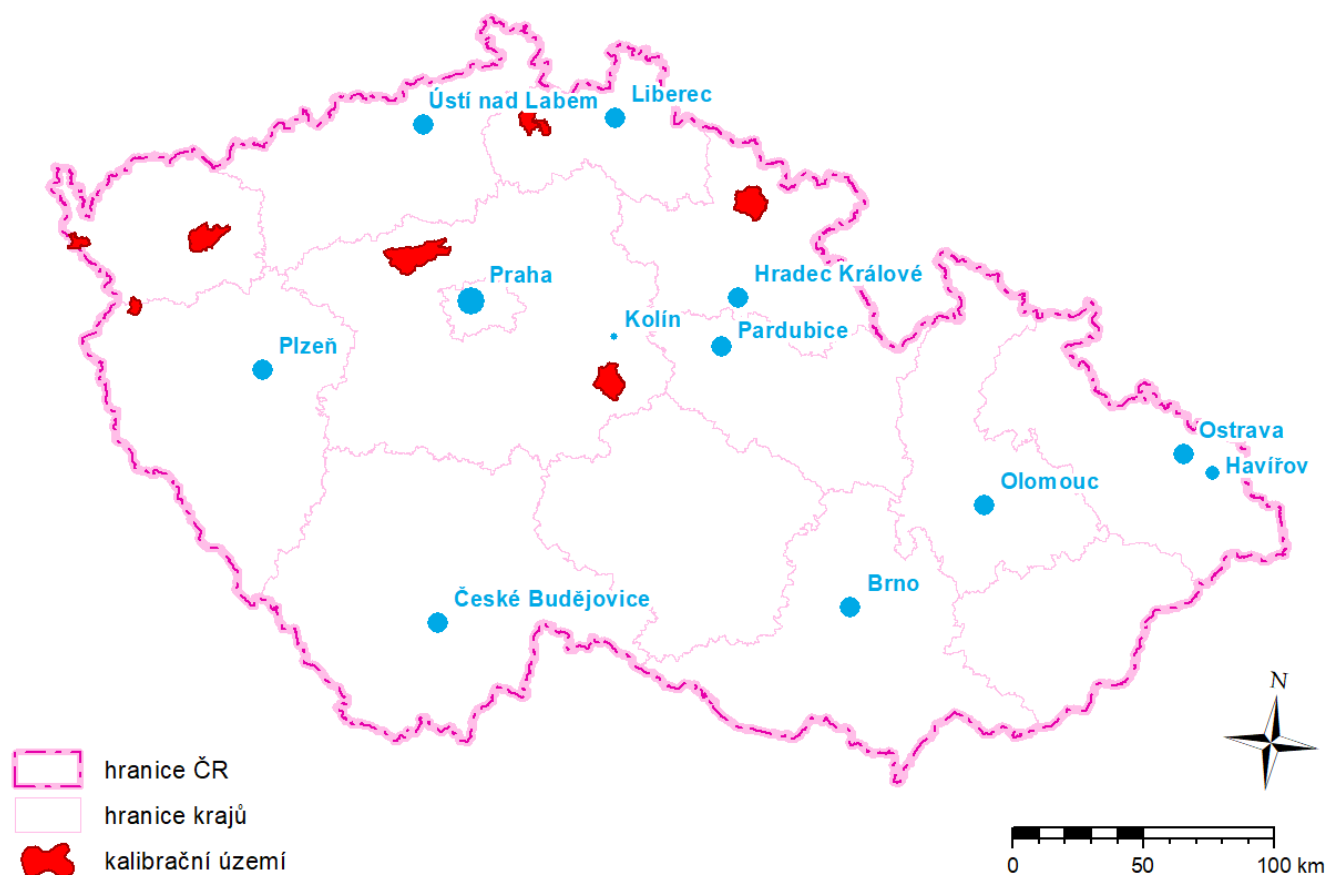
7.2.11 Kalibrace nastavení nástroje

Nastavení jednotlivých parametrů nástroje a správnost jeho výstupů byla kalibrována průběžně při jeho vývoji a to vizuálně na podkladě leteckých snímků. Území pro kalibraci nebyla vybírána záměrně, ale v rámci různých vědeckých projektů spojených s erozním modelováním a analýzou krajiny vznikla potřeba pro rychlé vytváření map využití ploch. Postupně byl představený nástroj vyvíjen a zdokonalován tak, aby jeho výstupy co nejlépe odpovídaly reálné situaci v územích. Nejvýznamnější území, na kterých byly laděny postupy kombinace vstupních objektů i hodnoty kalibračních vstupních parametrů, mají celkem rozlohu přibližně 580 km² a jsou zobrazeny na Obr. 7-8.

V rámci kalibrace byly hledány optimální hodnoty parametrů nástroje týkající se těch operací, u kterých je výsledek závislý na volbě nastavení. V celém postupu, která je popsán v předchozích kapitolách se jedná o následující operace:

- Hodnoty bufferů pro rozšíření liniových prvků do ploch
- Oddělení ploch zahrad a sadů
- Určení limitní minimální velikosti plochy sadu
- Hodnoty pro eliminaci malých prvků ve finální úpravě

Hodnoty uvedených nastavení byly kalibrována podle měření nad leteckým snímkem, následně byl pro dané nastavení zkontrolován nad leteckým snímkem v ploše daného území a hodnoty nastavení případně upraveny a nástroj byl opět spuštěn. Finální hodnoty kalibračních hodnot jsou uvedeny v textu, který se věnuje těmto operacím. Hodnoty vzdáleností pro odvození plošné definice liniových prvků, které jsou uvedené v Tab. 7-4 je možné snadno změnit před spuštěním nástroje volbou jiné než přednastavené tabulky. Stejně tak hodnotu bufferu pro oddělení zahrad a sadů je možné změnit v dialogovém okně nástroje.



Obr. 7-8: Přehled nejvýznamnějších kalibračních území

7.3 Nástroje pro získání definice LPIS

Jak je uvedeno v kapitole 7.1, je definice pozemků LPIS jedním z nutných datových vstupů nástroje pro automatické vytvoření mapy využití území. Dataset LPIS je možné získat několika způsoby, které jsou popsány v kapitole 6.1. Pro uživatele veřejných dat je možné využít WMS/WFS, které ale neumožňují stažení vektorové definice a jejich další využití při geoprocessingu. Z webové mapové aplikace pLPIS je možné stažení definice dílů půdních bloků po jednotlivých katastrálních územích, pro rozsáhlejší řešené plochy je však tento způsob zdlouhavý a nepohodlný.

Díky možnosti přímého stažení definice LPIS zadáním URL adresy je však možné automatizovat stahování i pro velká zájmová území. Stejně jako v případě stahování přes webové rozhraní jsou pozemky LPIS k dispozici v podobě datasetů pro jednotlivá katastrální území, jejichž identifikátor je použit pro sestavení URL adresy pro stažení. (Ministerstvo zemědělství ČR 2017d). Datasety ve formátu SHP jsou pro stažení zkomprimovány do archivu ZIP.

Adresa URL je sestavena následovně: první část adresy tvoří lokalizace služby v prostředí internetu (řetězec „<http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/>“), druhou část pak

samotný název souboru, který je utvořen určením data exportu ve formátu „YYYYMMDD“, šestimístným kódem katastrálního území, žádanou entitou (díly půdních bloků - „DPB“/ ekologicky významné prvky - „EVP“), požadovaná data (metainformace – „XML“/ geografická definice – „SHP“). V případě metainformací a ekologicky významných prvků je nutné ještě určení aktuálnosti požadovaných dat (aktuální – „A“/ historické – „H“). Jednotlivé části názvu souboru jsou od sebe odděleny pomlčkou a název souboru je zakončen příponou typu souboru – „.zip“.

Seznam dostupných dat exportu je k dispozici na adrese http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/seznam_varek.txt. Kód katastrálního území odpovídá Číselníkům územní identifikace správních jednotek (Ministerstvo zemědělství ČR 2017d), který je k dispozici pro vyhledávání na různých webových stránkách institucí veřejné správy, nebo jako atribut geometrické definice katastrálních území v dostupných geografických vrstvách (například jako součást datové sady ArcČR500 (ArcČR et al. 2014). Při použití geografické vrstvy katastrálních území v prostředí GIS software je tak možné získat seznam kódů KÚ pro stažení i výběrem na základě polohy – protnutím s definicí zájmového území. Toho využívá vytvořený nástroj pro snadné získání definice LPIS popsaný dále.

7.3.1 Automatické stažení LPIS pro velká území - Download LPIS

Nástroj byl vytvořen jako součást balíčku nástrojů (toolboxu) pro automatické generování vstupních parametrů popsaného v úvodu kapitoly 7 právě proto, aby usnadnil získání potřebných vstupních datasetů, které jsou zásadní pro vytvoření mapy využití ploch pomocí představeného nástroje.

Základním vstupem pro spuštění nástroje je geografická definice katastrálních území, která je použita pro získání seznamu KÚ pro stažení. Pokud je použita ve formě datasetu (mimo mapový projekt) jsou pro stažení použity všechny prvky přítomné v datasetu. Pokud je využita jako vrstva v mapovém dokumentu a jsou-li některé prvky v ní vybrány, je stažena definice LPIS pouze pro tato vybraná katastrální území. Dále je nutné vybrat z atributových polí to, které drží kód katastrálního území. Název atributového pole není implementován přímo, protože název tohoto pole se může lišit v závislosti na zdroji definice katastrálních území.

Seznam pro výběr konkrétního data exportu je vždy načten při spuštění nástroje z oficiální webové stránky eAgri a tak je vždy umožněno stažení nejnovější definice zemědělsky využívaných pozemků. Z nabídnutého seznamu musí být zvoleno požadované datum exportu veřejné části LPIS. Posledním nutným vstupem nástroje je určení adresáře, do kterého jsou staženy ZIP archivy s definicí LPIS. Je možné zvolit stažení i ostatních

dostupných dat: metainformace o DPB ve formátu XML a definici ekologicky významných prvků. Pro případ, že by došlo ke změně umístění této služby, je možné upravit první část URL adresy pro download. Přednastavená hodnota odpovídá současné funkční URL.

Download LPIS for selected administrative units

Input administrative units

Attribute field with administrative unit identifier

Select date of export

Directory to store the downloaded files

What to download
DPB-SHP.zip

URL settings
URL address root
http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/

After download

Unzip files after download (optional)

Unzip to different directory (optional)

Directory to save the unzipped files (optional)

Delete downloaded zip files after unzipping (optional)

Merge into one dataset after unzipping (optional)

Merge into one dataset (optional)

Delete single shapefiles after merging (optional)

OK Cancel Environments... Show Help >>

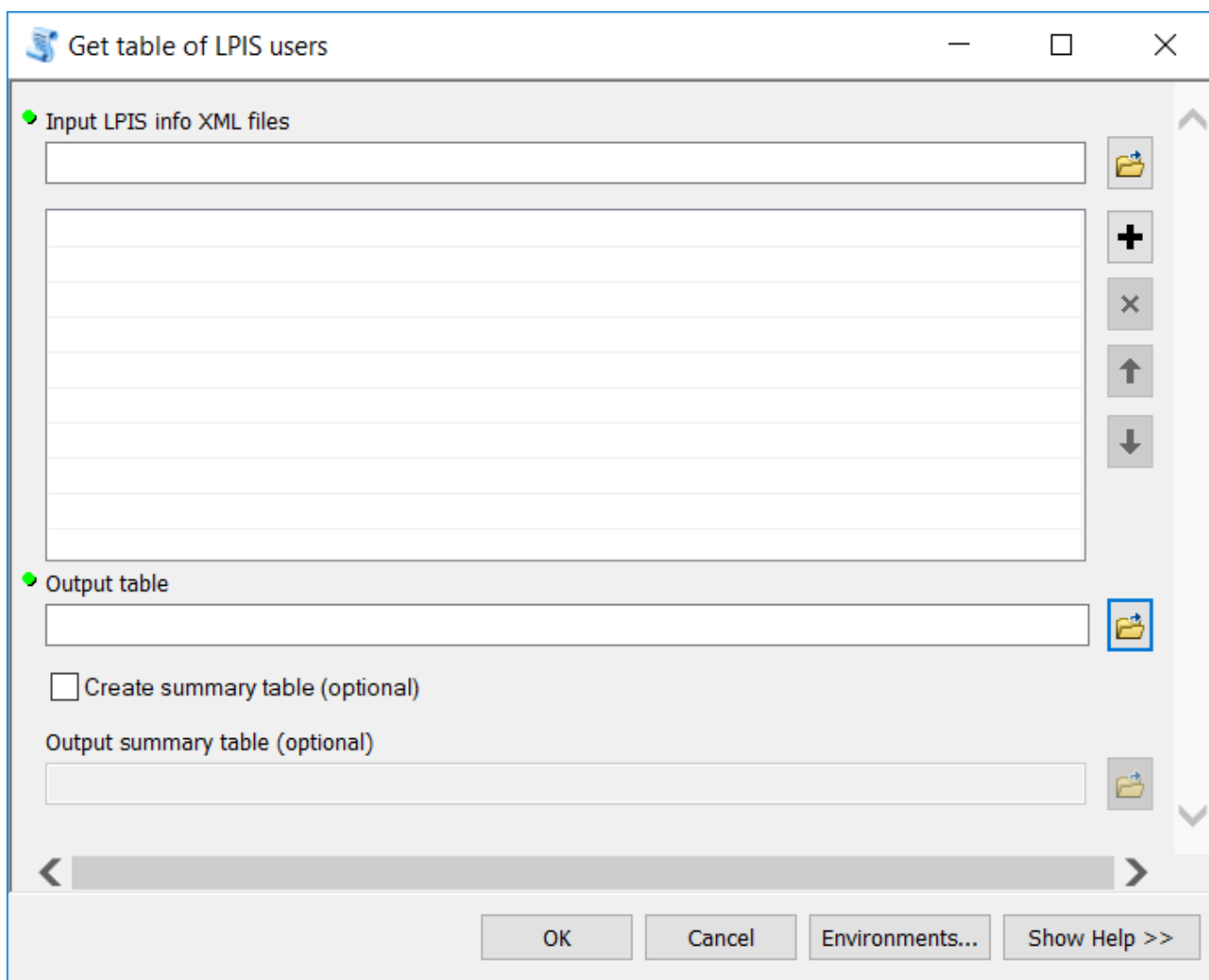
Obr. 7-9: Uživatelské rozhraní pro hromadné stažení datasetů LPIS

Pro urychlení a zjednodušení následného zpracování datasetů LPIS nástroj volitelně umožňuje po dokončení stahování jednotlivé ZIP archivy rozbalit a získané datasety okamžitě

sloučit do jednoho výstupního datasetu, který obsahuje definici DPB LPIS pro celé žádané území. Po úspěšném dokončení operací je možné automaticky vymazat nepotřebné soubory vzniklé během proběhnuvších operací – stažené ZIP archivy a SHP datasety jednotlivých katastrálních území.

7.3.2 Získání seznamu uživatelů LPIS pro velká území - Get table of LPIS users

Pro některé aplikace v soukromé i státní sféře je potřeba rychle zjistit uživatele zemědělských pozemků. Veřejná část LPIS umožňuje získání těchto informací stažením metainformací ve formátu XML. V tomto strukturovaném dokumentu jsou ke každému dílu půdního bloku uvedeny základní informace zahrnující i identifikaci uživatele - jeho obchodní jméno a identifikační číslo. Pro vytěžení těchto informací ve formě vhodné pro další využití (zejména v GIS) byl vytvořen nástroj Get table of LPIS Users.



Obr. 7-10: Uživatelské rozhraní pro získání seznamu uživatelů zemědělských pozemků

Vstupem do nástroje je libovolný počet XML dokumentů dříve získaných libovolným způsobem z veřejné části LPIS, výstupem je tabulka obsahující ke každému dílu půdního bloku informace o uživateli a pěstované kultuře. Volitelným výstupem pak shrnující tabulka, která ke každému uživateli (který se vyskytuje ve vstupních XML souborech), sumarizuje celkovou výměru pro jednotlivé kultury.

8 Validace výstupů nástroje

Výstup z automatizovaného nástroje pro generování mapy využití území, tedy správnost geometrické definice a cílové kategorie využití plochy, byly validovány porovnáním s datasetem využití ploch nezávisle vytvořeným ruční vektorizací nad ortofoto snímkem. Tyto referenční mapy využití území byly využity jako validační datasety, pro ověření shody mezi výstupy automatizovaného nástroje a reálným stavem. Datace leteckých snímků použitých pro vytvoření validačních datasetů by podle webových stránek poskytovatele dat (ČÚZK) měla odpovídat roku 2015 pro obě území (ke dni 10. 6. 2017 dle <http://geoportal.cuzk.cz> > Ortofoto České republiky > aktuálnost poskytovaných dat – barevné snímkování v letech 2015-2016)

Množina cílových kategorií zatřídění využití ploch při ruční vektorizaci byly definovány shodně s kategoriemi obsaženými ve výstupu automatizovaného nástroje. Hranice mezi jednotlivými plochami byly určovány vizuálně bez pomoci dalších podkladových vrstev (katastr nemovitostí, ZM10 ...). Kategorie využití ploch byly určeny na základě vizuálního zhodnocení charakteru dané plochy na leteckém snímku, vzhledem k plošnému rozsahu validačních území nebyl proveden terénní průzkum pro upřesnění zatřídění nejasných ploch.

Území, pro která byla provedena manuální vektorizace byla zvolena zejména z toho důvodu, že na jejich částech byl již minulosti modelován vliv využití ploch na výsledky erozního modelování. Pro tato území tedy již byla vytvořena definice využití ploch, nicméně ve výrazně menší podrobnosti, než bylo potřeba pro využití datasetů pro validaci. V obou územích tak byla stávající definice využití ploch použita jako výchozí dataset, který byl rozšířen a doplněn o míru detailu potřebnou pro využití těchto datasetů pro účely validace.

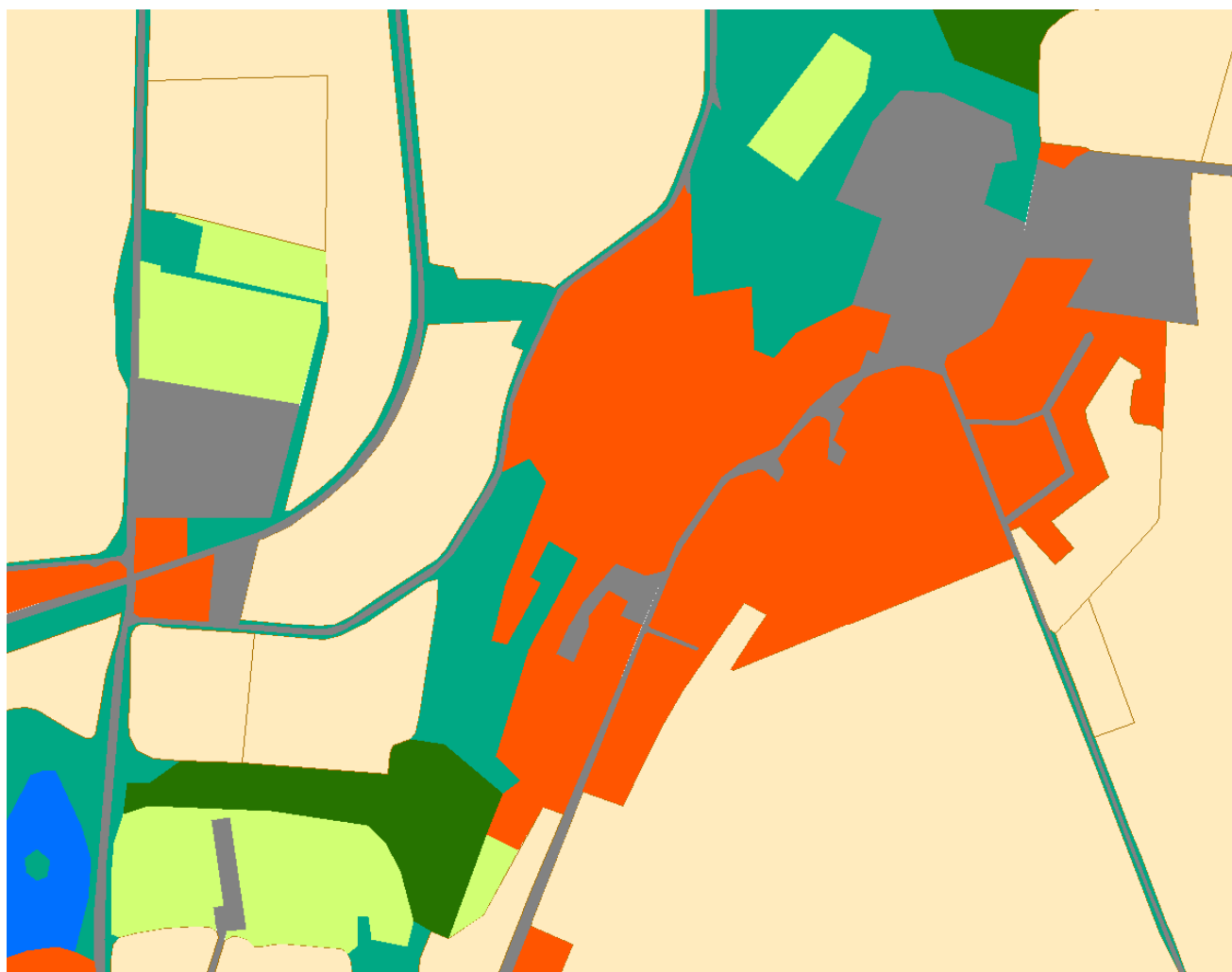
Úroveň podrobnosti digitalizace byla nastavena různě pro plochy intravilánu a extravilánu. Intravilánové plochy jsou méně rizikové z pohledu vodní eroze půdy, protože lze předpokládat že jednotlivé dílčí plochy splňují jednu nebo více následujících vlastností: (i) jsou trvale pokryty souvislou vegetací, (ii) jsou navrženy a zbudovány tak, že odtok z nich je bezpečně odveden systémem městského odvodnění, (iii) nejsou významným zdrojem sedimentu transportovaného vodním proudem. V prostorech sídel tak nebyly oddělovány do samostatných kategorií menší plochy doprovodné městské zeleně od zpevněných ploch ulic, dvorů a náměstí, protože by se výrazně zvýšila náročnost manuální digitalizace, která by ale zvýšila užitečnost pro erozní modelování jen částečně. Důraz u digitalizace intravilánu byl kladen na jeho vnější hranice a přechod do extravilánu – volné krajiny.

V ploše extravilánu byla vektorizace prováděna s vyšší mírou přesnosti a to tak, aby zachycovala míru detailu potřebnou pro odvození rastrové mapy s velikostí buňky 2 m. Tato










hodnota byla zvolena s ohledem na digitální modely terénu běžně dostupné v České republice. Pro specifické aplikace může být potřebná podrobnost vyšší a je pak nutné pořídit data výškopisu na zakázku pro danou úlohu. Pro běžné úlohy matematického hydrologického a erozního modelování je prostorové rozlišení 2 m dostatečné a běžně je využíváno výškových dat s podrobností menší 5 – 20 m.

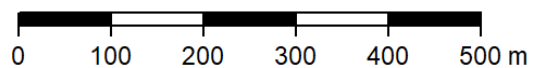
Dílčí plochy využití území byly agregovány do jednotlivých ploch (polygonů) vždy tak, že daný polygon obsahuje plochu, která je homogenní z pohledu jejích odtokových charakteristik a hranice polygonu určuje linii, podél které dochází ke skokové změně těchto vlastností. V ploše lesních porostů nebyly rozlišovány jednotlivé kultury a stádia vývoje lesa, neboť z pohledu erozního modelování jsou lesní porosty obecně výrazně menším zdrojem povrchového odtoku.

Specifikem intravilánových ploch je přítomnost budov. Samotné budovy tvoří v intravilánu většinou položku z hlediska počtu prvků, což bylo nad rámec možností ruční vektorizace. Plochy zahrad byly tedy digitalizovány bez přítomnosti polygonů budov, které byly následně dodány z objektu ZABAGED® **BudovaBlokBudov**. Tato operace je ilustrována na obrázcích Obr. 8-1 a Obr. 8-2.

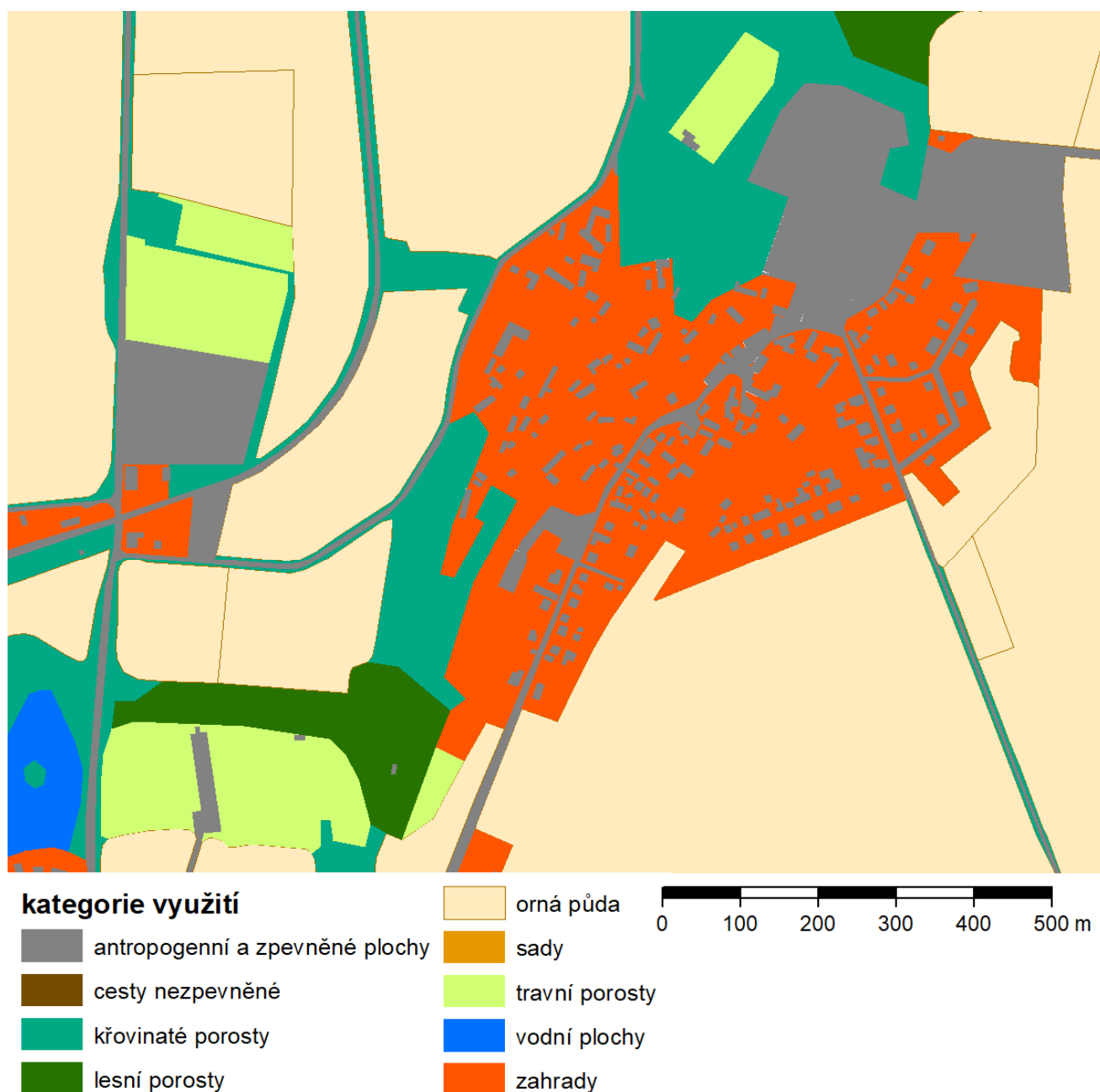


kategorie využití

- | | | | |
|---|--------------------------------|---|----------------|
|  | antropogenní a zpevněné plochy |  | orná půda |
|  | cesty nezpevněné |  | sady |
|  | křovinaté porosty |  | travní porosty |
|  | lesní porosty |  | vodní plochy |
| | |  | zahrady |

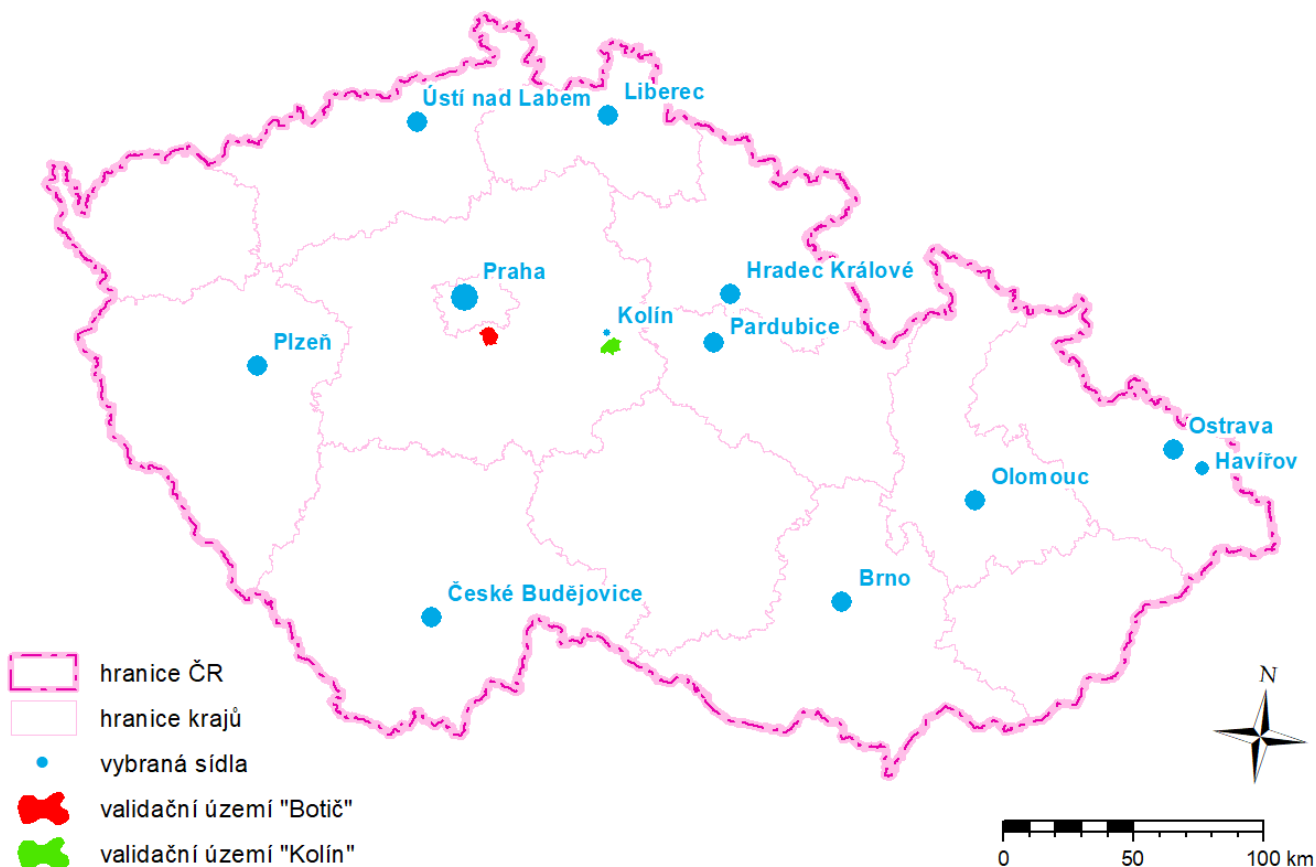


Obr. 8-1: Ukázka validačního datasetu před doplněním budov (území Kolín, Nebovidy)



Obr. 8-2: Ukázka validačního datasetu po doplnění budov (území Kolín, Nebovidy)

Území pro validační datasety byla zvolena tak, aby se neprolínala s územími, na kterých probíhala kalibrace nastavení v průběhu vyvíjení nástroje. Na těchto vybraných územích byla vytvořena vektorová reprezentace dílčích ploch využití území v přesnosti odpovídající cílové přesnosti výstupů automatizovaného nástroje. Byly vytvořeny datasety (geografické vrstvy) využití území pro dvě území s celkovou rozlohou přibližně 70 km², poloha vybraných území v kontextu ČR je zobrazena na Obr. 8-3. Podrobný popis zvolených území je uveden v následujících kapitolách.

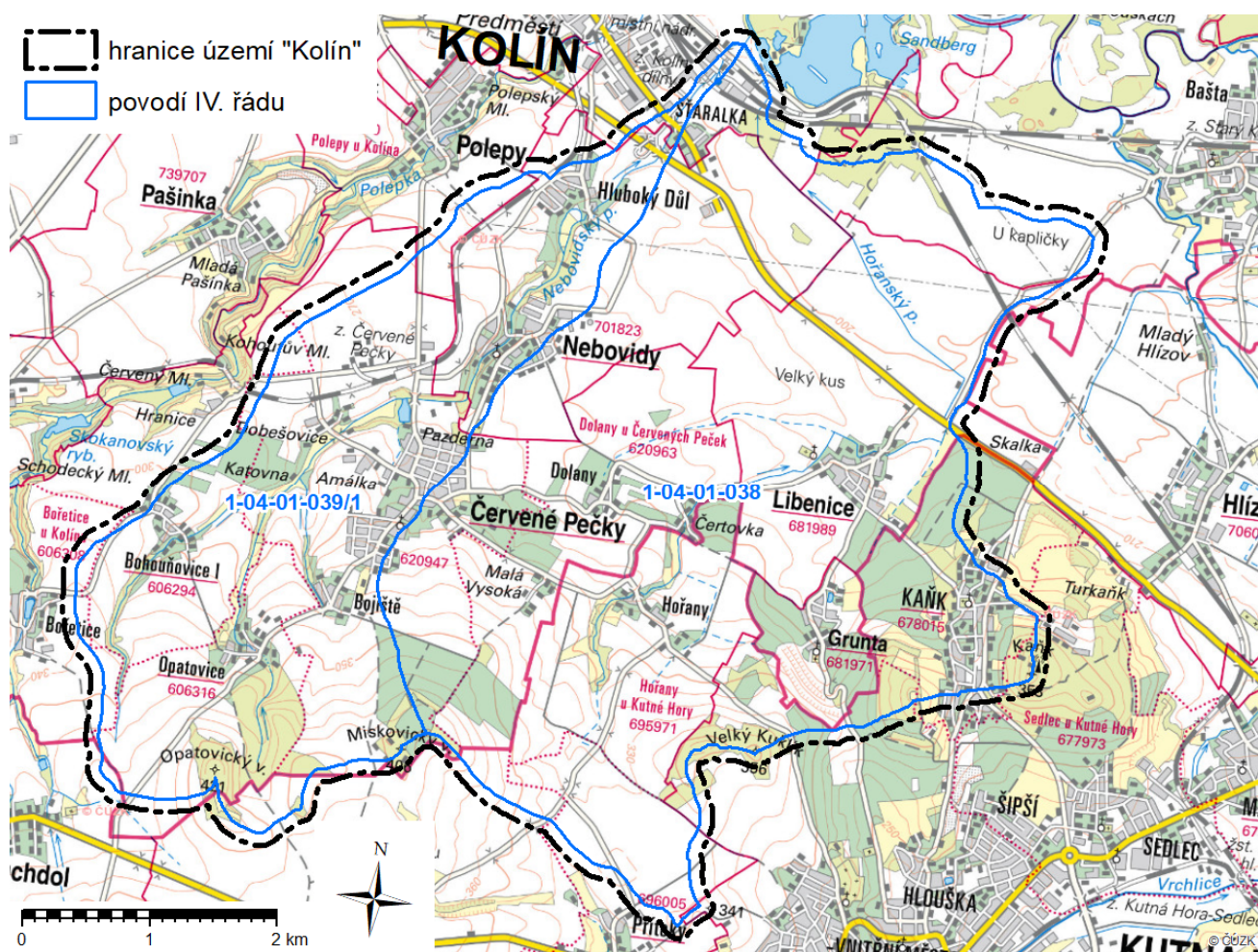


Obr. 8-3: Umístění validačních území v rámci ČR

8.1 Území „Kolín“

Území, dále nazývané „Kolín“, se rozkládá na jihovýchodně od hranice města Kolín a je tvořeno povodími IV. řádu dvou levostranných přítoků Labe: 1-04-01-039/1 (Nebovidský potok) a 1-04-01-038 (Hořanský potok). Největšími sídly v území jsou Nebovidy, Červené Pečky, Libenice, Grunta a Kaňk. Celková rozloha území je 33,07 km².

Území Kolín je využíváno k zemědělské výrobě se zastoupením ovocnářství. Přítomnost sadů byla důležitá pro validaci nastavení parametrů automatizovaného nástroje spojených s oddělením ploch sadů a zahrad. Severní částí území prochází silnice první třídy I/38 směrem na Kutnou Horu, která je pokračováním silničního obchvatu Kolína. Územím probíhají dvě železniční tratě různých úrovní: Kolín-Kutná Hora-Čáslav a Kolín- Sázava, bylo tak umožněno posoudit shodu výsledků automatického nástroje i pro plochy spojené s vedením železničních tratí.



Obr. 8-4: Situace validačního území Kolín

Zastoupení orné půdy je v zájmovém území přes 65%, výrazné je taky zastoupení ploch ovocných sadů s necelými 7%. Podobně, mezi 6 a 7%, jsou zastoupeny i lesní porosty, zahrady a křovinaté porosty. Rozlohy všech kategorií využití a jejich procentuální zastoupení je uvedeno v Tab. 8-2.

8.2 Území „Botic“

Validační území dále nazývané „Botic“ se nachází přibližně 2 km za jihovýchodní hranicí Prahy a je tvořeno z podstatné části své rozlohy dvěma povodími IV. Řádu 1-12-01-014 (Botic) a jeho pravostranným přítokem 1-12-01-017 (Dobřejevický potok). Největšími sídly, která se zcela nebo částečně nacházejí v tomto území jsou Jesenice u Prahy, Horní Jirčany, Dobřejovice, Radějovice, Modletice, Herink a Popovičky. Celková rozloha území je 35,81 km².

Díky blízkosti městské aglomerace je toto území charakteristické přítomností dynamicky rostoucích suburbánních sídel a dalšími jevy spojenými s blízkostí regionálního centra. Východo-západním směrem je území protnuto Velkým pražským okruhem, který se na východním okraji napojuje na dálnici D1. V místě napojení těchto významných komunikací se










pak nalézají rozsáhlý areál skladových hal, který částečně také zasahuje do tohoto zájmového území. Na tomto území tedy bylo validováno zejména nastavení parametrů týkajících se plošného rozsahu silničních staveb a dále platnost automaticky generovaného datasetu využití ploch v okolí rozvíjejících se sídel, která přímo vychází z aktuality vstupních datasetů.

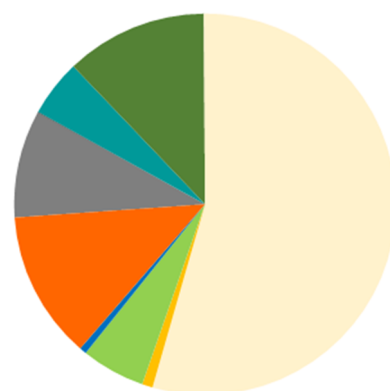


Obr. 8-5: Situace validačního území Botič










Orná půda je stále dominantním způsobem využití území s lehce nadpolovičním zastoupením. Díky přítomnosti sídel jsou druhým nejsilněji zastoupeným využitím ploch zahrady s 12,5% plochy území následované lesními porosty s 12%, které jsou soustředěny převážně v ploše parku průhonického zámku při severním okraji území a lesními celky východně od obce Horní Jirčany. Přehled výměr a zastoupení všech kategorií využití území je uvedeno v Tab. 8-1.

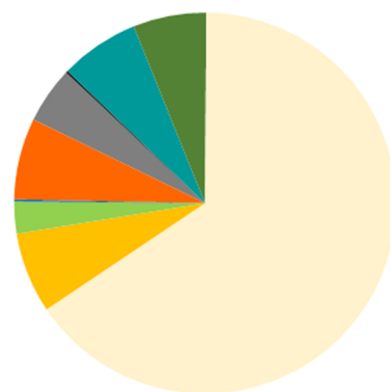
Tab. 8-1: Zastoupení kategorií využití ploch ve validačním datasetu - území Botič

druh využití území	plocha [ha]		
antropogenní a zpevněné plochy	326,9	9,1%	
cesty	1,4	0,04%	
křovinaté porosty	172,8	4,8%	
lesní porosty	430,6	12,0%	
orná půda	1 953,4	54,5%	
sady	32,0	0,9%	
travní porost	194,0	5,4%	
vodní plochy	21,3	0,6%	
zahrady	449,3	12,5%	
celkem	3 581,7	100%	



Tab. 8-2: Zastoupení kategorií využití ploch ve validačním datasetu - Kolín

druh využití území	plocha [ha]		
antropogenní a zpevněné plochy	159,4	4,8%	
cesty	4,8	0,1%	
křovinaté porosty	222,2	6,7%	
lesní porosty	205,3	6,2%	
orná půda	2 165,4	65,5%	
sady	226,4	6,8%	
travní porost	89,5	2,7%	
vodní plochy	5,9	0,2%	
zahrady	228,6	6,9%	
celkem	3 307,4	100%	

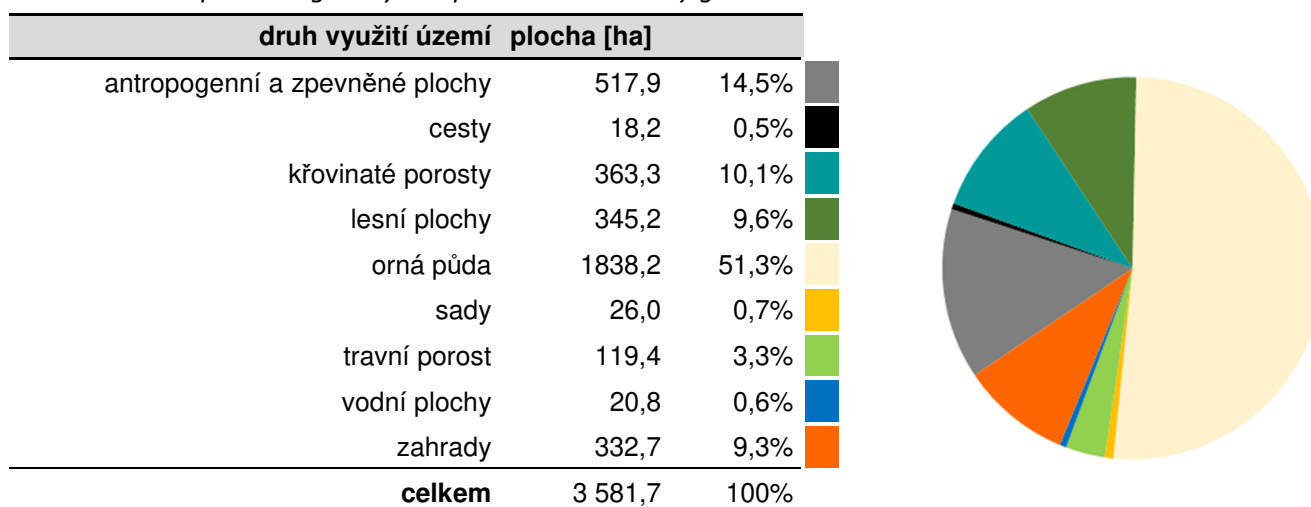


9 Výsledky

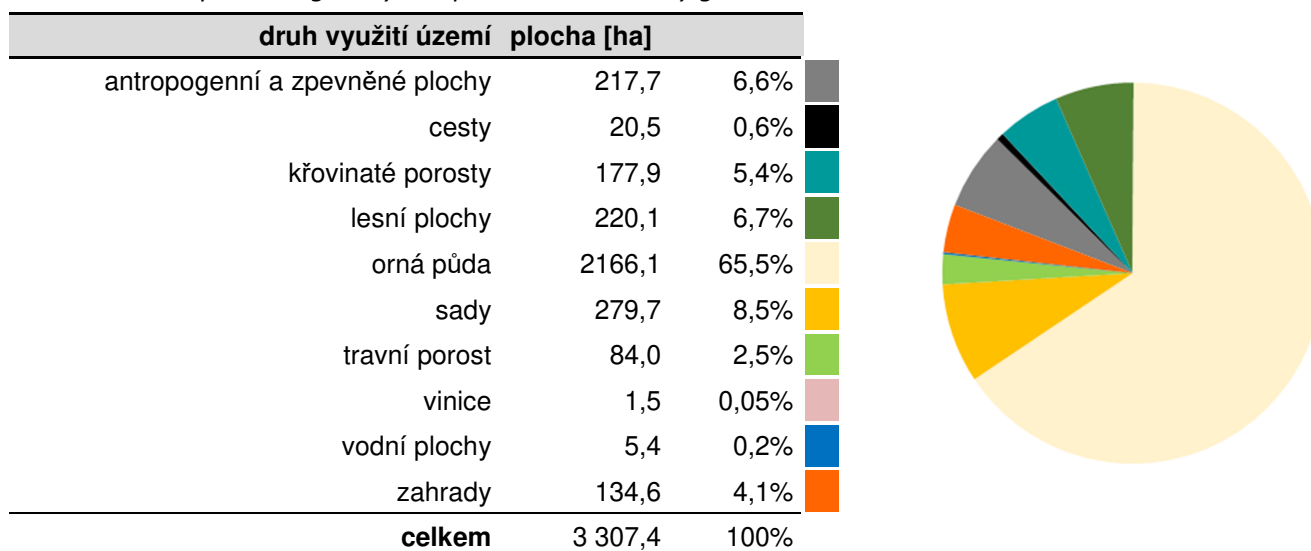
9.1 Automaticky vytvořená mapa využití ploch

Výstupem z popsaného nástroje je, jak bylo popsáno v kapitole 7.1, souvislá a bezešvá geografická vrstva využití ploch. Tato vrstva je, pro obě validační území samostatně, zobrazena v Příloha 1 resp. Příloha 2. Tab. 9-1 a Tab. 9-2 shrnují zastoupení jednotlivých kategorií využití v automaticky generovaném datasetu, pro snadné porovnání jsou připojeny i odpovídající hodnoty z validačního datasetu představeného v kapitole 8.

Tab. 9-1: Zastoupení kategorií využití ploch v automaticky generovaném datasetu – území Botič

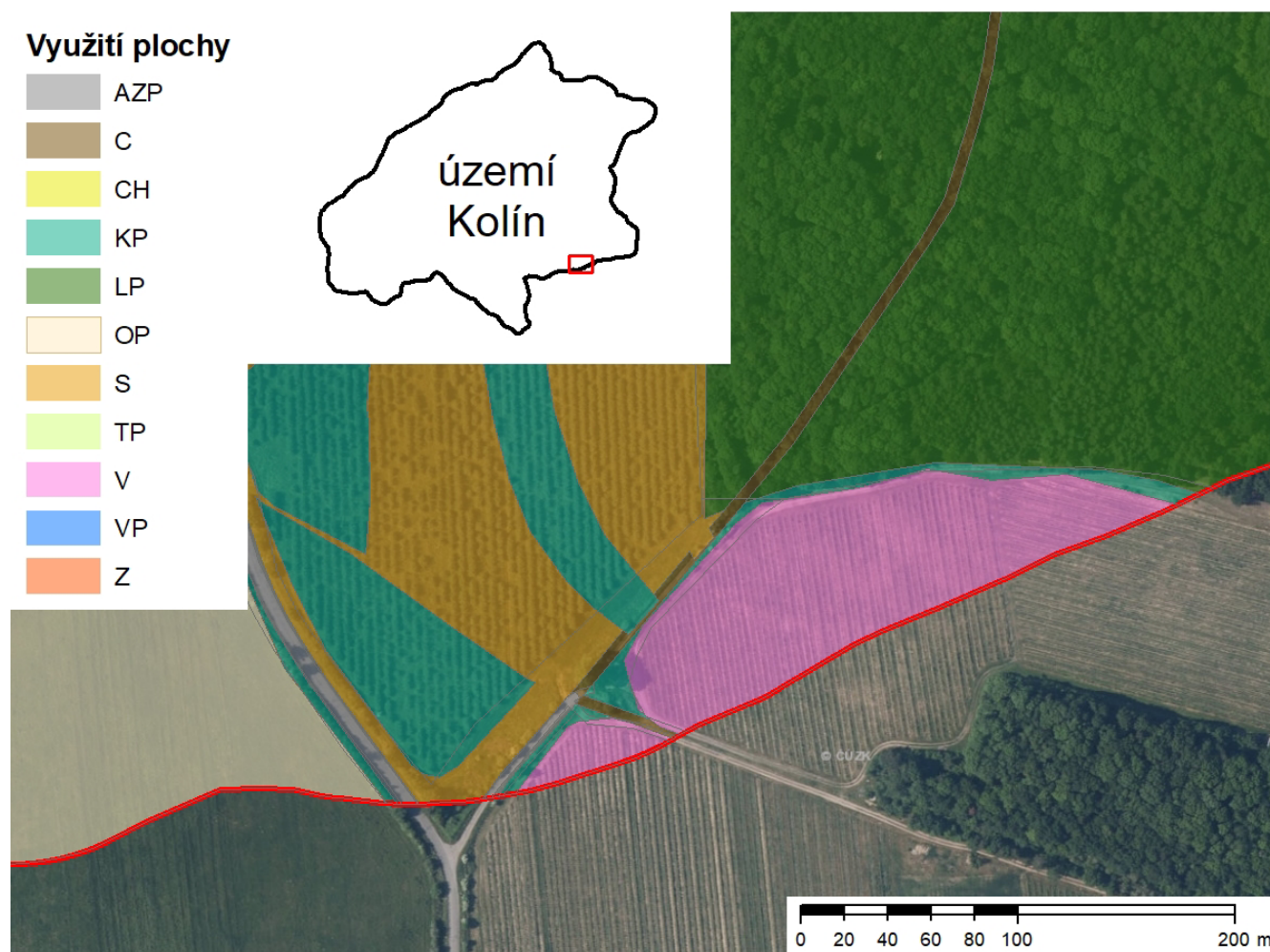


Tab. 9-2: Zastoupení kategorií využití ploch v automaticky generovaném datasetu – území Kolín



Během manuální vektorizace nebyly rozpoznány plochy vinic při jiho-východní hranici území Kolín (viz Obr. 9-1). Tím se dále ve výsledcích validace objevuje chyba, která je způsobena špatnou kvalitou validačního datasetu. Vzhledem k tomu, že se jedná o chybu

poměrně malou – 1,5 ha, což činí 0,05% celkové rozlohy území Kolín – je kategorie Vinice vynechána z dalších analýz správnosti odvození mapy využití území.



Obr. 9-1: Výstup nástroje zachycující vinice v území Kolín, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK

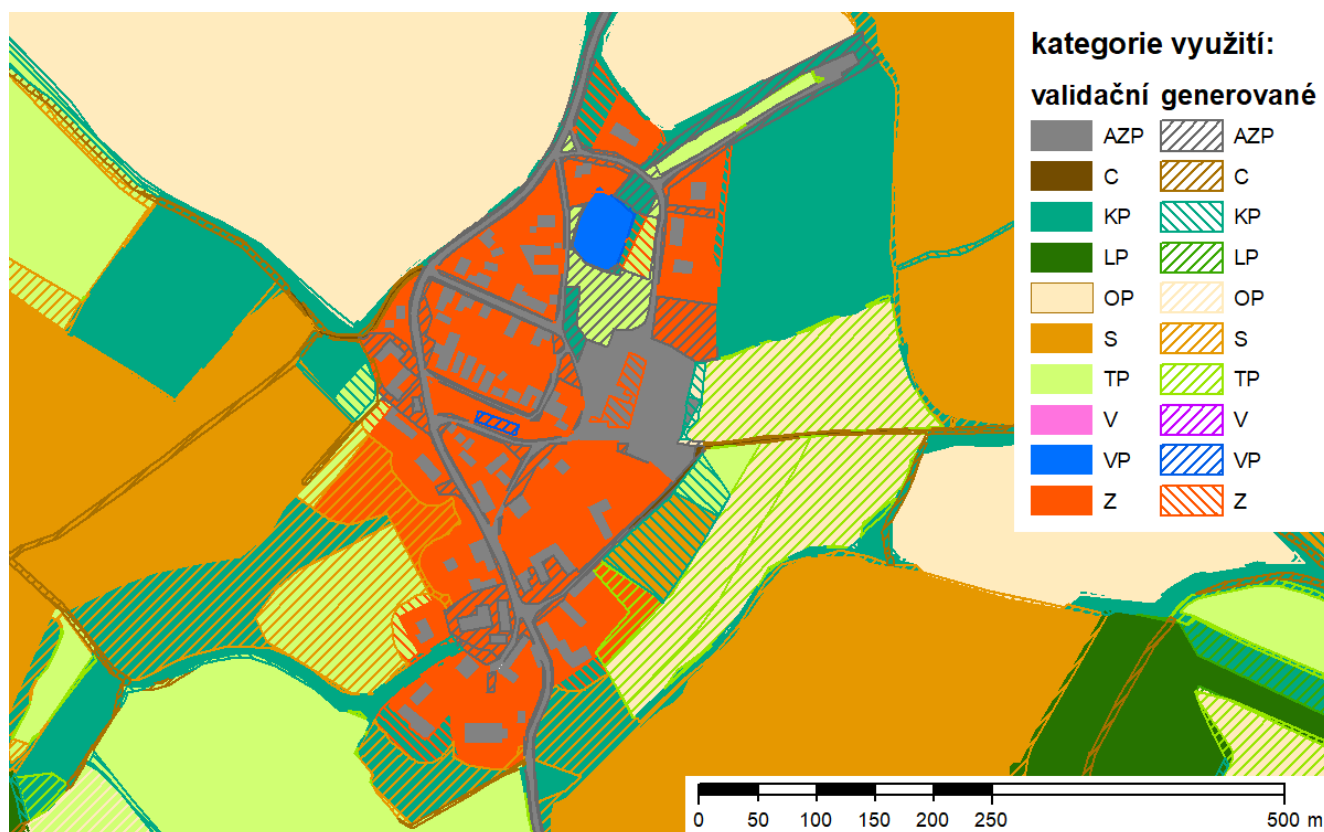
9.2 Validace Land-use processing

Celkové zastoupení jednotlivých kategorií využití na porovnávaných datasetech jsou pro území Botič a Kolín uvedena v Tab. 9-1, respektive Tab. 9-2. Pro podrobné analýzy validnosti výstupů automatizovaného nástroje jsou dále obě tato území uvažována dohromady a jednotlivé ukazatele jsou tak vztaženy k celkové ploše obou těchto území.

Validace byla provedena analýzou vzájemného prolnutí datasetů využití území vzniklých manuální digitalizací a automaticky vygenerovaných představeným nástrojem. Výsledkem je nový vektorový dataset obsahující hranice ploch a určení kategorie využití pro všechny dílčí kombinace ploch z obou vstupních datasetů. Tento dataset byl dále zpracován tak, aby polygony se shodnými hodnotami validační i generované kategorie využití byly agregovány, ale pouze v případě jejich plošného styku. Jednotlivé polygony jsou tedy oddělené

pokud nedochází k jejich polohovému průniku. Na této vrstvě byla dále porovnávána shoda určení kategorií.

Ukázka výsledku prolnutí porovnávaných datasetů je na Obr. 9-2. Plnou barvou je znázorněno zatřídění ploch validačního datasetu, šrafovou pak zatřídění ploch automatickým nástrojem. Mapy pro celá validační území jsou součástí Příloha 3 (území Botič) a Příloha 4 (území Kolín).



Obr. 9-2 – Ukázka prolnutí výstupu nástroje s validačním datasetem

Pokud nebudeme uvažovat kategorii Vinice, (viz kapitola 9.1) je ve validačním i automaticky vygenerovaném datasetu přítomno 9 kategorií využití ploch. Vzájemnou kombinací těchto kategorií dostáváme 81 unikátních kombinací, z nichž 9 jsou kombinace shodných kategorií (tedy shodné zatřídění) a zbývajících 72 kombinací odpovídá odlišně kategorizovaným plochám. Tab. 9-3 uvádí celkové výměry jednotlivých kombinací zatřídění v hektarech, Tab. 9-4 pak uvádí procentuální zastoupení dané kombinace vztahované k celkové rozloze validačních území. Na diagonále se nacházejí shodně zatříděné plochy v porovnávaných datasetech, mimo diagonálu pak jednotlivé odlišně zatříděné kategorie.

Tab. 9-3: Celková rozloha jednotlivých kombinací zatřídění v hektarech

		validační dataset									
		AZP	C	KP	LP	OP	S	TP	VP	Z	celkem
výstup nástroje	AZP	428	0,3	33	9	3	10	20	0,1	232	736
	C	3	2	13	14	2	1	2	0,03	2	39
	KP	35	2	212	29	107	14	97	1	44	541
	LP	2	0,2	45	492	2	0	18	1	4	565
	OP	3	1	31	4	3 929	4	28	0	6	4 004
	S	1	1	40	12	2	223	4	0,03	23	306
	TP	8	0,004	10	5	72	3	100	0,1	5	203
	VP	0,5	0	0	1	0	0	0,42	23	1	26
	Z	7	0,03	11	70	0,3	3	13	2	361	467
	celkem	486	6	395	636	4 117	258	283	27	678	6 888

Tab. 9-4: Podíl jednotlivých kombinací zatřídění ploch vůči celkové rozloze validačních území

		validační dataset									
		AZP	C	KP	LP	OP	S	TP	VP	Z	celkem
výstup nástroje	AZP	6,22%	0,00%	0,48%	0,13%	0,04%	0,15%	0,29%	0,00%	3,37%	10,7%
	C	0,04%	0,03%	0,18%	0,20%	0,03%	0,02%	0,03%	0,00%	0,03%	0,6%
	KP	0,50%	0,03%	3,08%	0,42%	1,56%	0,20%	1,41%	0,02%	0,64%	7,9%
	LP	0,03%	0,00%	0,66%	7,14%	0,03%	0,01%	0,27%	0,01%	0,06%	8,2%
	OP	0,04%	0,01%	0,44%	0,06%	57,04%	0,06%	0,41%	0,00%	0,08%	58,1%
	S	0,01%	0,01%	0,58%	0,17%	0,03%	3,23%	0,06%	0,00%	0,33%	4,4%
	TP	0,12%	0,00%	0,15%	0,08%	1,04%	0,04%	1,45%	0,00%	0,08%	3,0%
	VP	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,34%	0,01%	0,4%
	Z	0,10%	0,00%	0,16%	1,02%	0,00%	0,04%	0,20%	0,02%	5,24%	6,8%
	celkem	7,1%	0,1%	5,7%	9,2%	59,8%	3,8%	4,1%	0,4%	9,8%	100,0%

Tab. 9-5: Podíl zatřídění ploch ve výstupu nástroje vůči ploše dané kategorie ve validačním datasetu

		validační dataset								
		AZP	C	KP	LP	OP	S	TP	VP	Z
výstup nástroje	AZP	88,1%	4,1%	8,3%	1,4%	0,1%	3,9%	7,1%	0,4%	34,3%
	C	0,5%	38,7%	3,2%	2,2%	0,1%	0,5%	0,6%	0,1%	0,3%
	KP	7,1%	28,4%	53,8%	4,6%	2,6%	5,4%	34,2%	5,2%	6,5%
	LP	0,5%	2,6%	11,5%	77,3%	0,1%	0,2%	6,5%	2,3%	0,6%
	OP	0,5%	14,0%	7,8%	0,6%	95,4%	1,6%	9,9%	0,0%	0,8%
	S	0,2%	11,7%	10,1%	1,9%	0,1%	86,1%	1,6%	0,1%	3,4%
	TP	1,6%	0,1%	2,6%	0,8%	1,7%	1,2%	35,3%	0,2%	0,8%
	VP	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	85,8%	0,1%
	Z	1,4%	0,5%	2,8%	11,1%	0,0%	1,1%	4,8%	5,9%	53,3%
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

V Tab. 9-5 je uvedeno procentuální zastoupení jednotlivých kombinací zatřídění vztahované k celkové výměře konkrétní kategorie využití území tak, jak byla definována ve

validačním datasetu. Na diagonále jsou tedy poměry rozlohy ploch zatříděných shodně s validačním datasetem a mimo diagonálu tabulky pak je procentuální zastoupení výsledného zatřídění pro plochy, které jsou automatickým nástrojem zatříděny do jiných kategorií než ve validačním datasetu. Tab. 9-6 shrnuje zastoupení shodně a odlišně zatříděných ploch v jednotlivých validačních územích i pro obě území celkem. Celkové zastoupení shodně kategorizovaných ploch je 84% z celkové plochy validačních území, zbylých 16% plochy bylo automatizovaným nástrojem zařazeno do jiné kategorie než ve validačním datasetu.

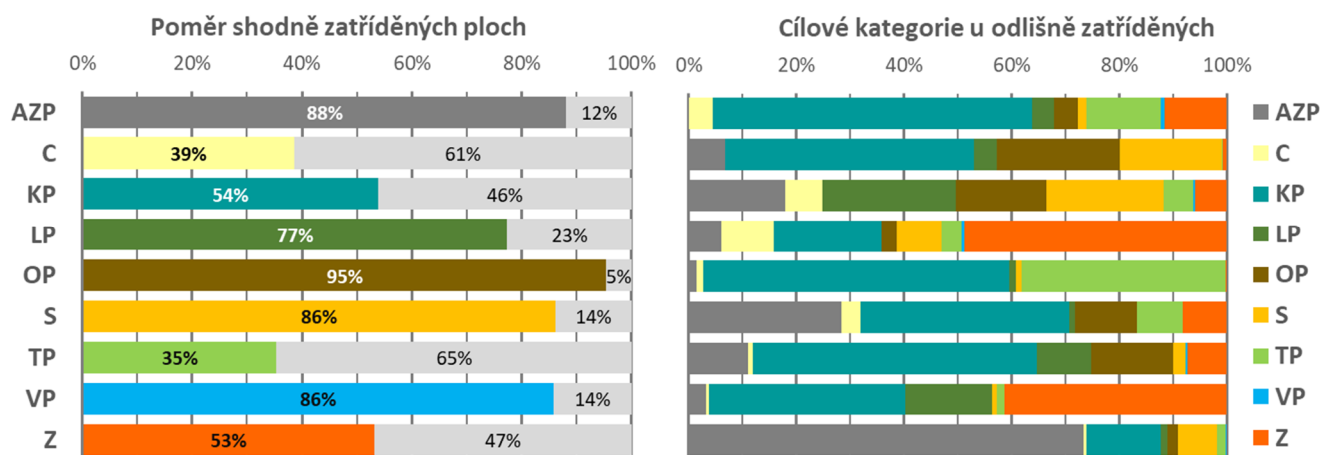
Tab. 9-6: Celkové zastoupení rozlohy shodně a odlišně zatříděných ploch

	území Botič		území Kolín		validační území celkem	
	shodně	odlišně	shodně	odlišně	shodně	odlišně
AZP	89%	11%	86%	14%	88%	12%
C	6%	94%	48%	52%	39%	61%
KP	65%	35%	45%	55%	54%	46%
LP	73%	27%	87%	13%	77%	23%
OP	93%	7%	98%	2%	95%	5%
S	43%	57%	92%	8%	86%	14%
TP	28%	72%	51%	49%	35%	65%
VP	89%	11%	0%	100%	86%	14%
Z	53%	47%	76%	24%	53%	47%
	celkem				84%	16%

Tab. 9-7 pak uvádí pro jednotlivé odlišně zatříděné kombinace hodnoty jejich zastoupení vztahované k celkové rozloze všech odlišně zatříděných ploch pro danou kategorii využití validačního datasetu. Celkový přehled shodně zatříděných ploch zobrazuje Graf 9-1 a cílové kategorie u odlišně zatříděných ploch zobrazuje Graf 9-2.

Tab. 9-7: Podíl cílových kategorií u odlišně zatříděných ploch vůči celkové rozloze odlišně zatříděných v dané kategorii validačního datasetu

		validační dataset								
		AZP	C	KP	LP	OP	S	TP	VP	Z
výstup nástroje	AZP	-----	6,7%	17,9%	6,1%	1,5%	28,3%	11,0%	3,1%	73,3%
	C	4,4%	-----	6,9%	9,6%	1,2%	3,6%	1,0%	0,7%	0,6%
	KP	59,5%	46,3%	-----	20,1%	56,9%	38,7%	52,8%	36,5%	13,8%
	LP	4,0%	4,2%	24,8%	-----	1,2%	1,1%	10,0%	16,2%	1,3%
	OP	4,3%	22,8%	16,8%	2,8%	-----	11,5%	15,2%	-	1,8%
	S	1,7%	19,1%	21,8%	8,3%	1,1%	-----	2,4%	0,8%	7,3%
	TP	13,7%	0,1%	5,6%	3,6%	38,0%	8,6%	-----	1,3%	1,7%
	VP	0,8%	-	0,3%	0,6%	-	-	0,2%	-----	0,2%
	Z	11,5%	0,7%	6,0%	48,8%	0,2%	8,2%	7,4%	41,4%	-----



Graf 9-1, Graf 9-2: Poměr shodně zatříděných ploch a poměr rozdělení odlišně zatříděných ploch do jednotlivých kategorií

Důvody pro nesprávné zatřídění v jednotlivých kategoriích využití jsou dále analyzovány podrobně, aby byla nalezena příčina nesprávného zatřídění a mohla být zvážena významnost těchto chyb ve výstupech nástroje. Pro každou z kategorií ve validačním datasetu jsou vybrány kategorie automatického zatřídění s nejvýznamnějším zastoupením a pro ně jsou dále zkoumány charakteristiky jednotlivých ploch a hledány důvody, proč došlo k jejich nesprávnému zařazení.

Tab. 9-8 a Tab. 9-9 uvádějí průměr a medián rozlohy prvků, které byly automatizovaným nástrojem zařazeny do odlišné kategorie než jak byla definována při manuální vektorizaci. V obou tabulkách jsou šedivě vybarveny kombinace shodného zatřídění a kombinace, ve kterých nebyl přítomen žádný prvek. V následujících kapitolách jsou prvky v jednotlivých kombinacích zatřídění zkoumány z pohledu jejich velikosti. Hlavním prostředkem jsou histogramy rozlohy prvků v logaritmickém měřítku poskytující informaci o řádu plošné výměry nesprávně zatříděných prvků.

Tab. 9-8: Průměrná výměra prvku pro jednotlivé kombinace odlišně zatříděných ploch v hektarech

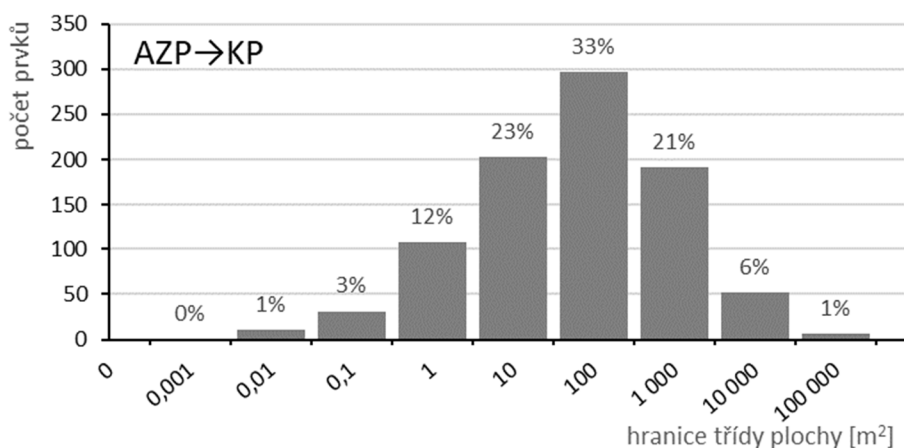
validační dataset		AZP	C	KP	LP	OP	S	TP	VP	Z
výstup nástroje	AZP		122	408	703	136	5 074	1 425	57	4 762
	C	273		437	1 428	71	246	254	50	211
	KP	384	215		1 104	455	1 955	2 503	439	1 077
	LP	255	134	4 526		123	250	1 991	389	377
	OP	80	153	163	152		805	2 011		174
	S	147	234	2 922	2 502	173		1 091	103	2 060
	TP	1 813	9	343	534	10 689	2 376		515	749
	VP	218		108	194			146		208
	Z	138	71	837	7 641	31	943	1 226	325	

Tab. 9-9: Medián výměry prvku pro jednotlivé kombinace odlišně zatříděných ploch v hektarech

validační dataset		AZP	C	KP	LP	OP	S	TP	VP	Z
výstup nástroje	AZP		9,3	41,1	57,9	9,1	76,9	51,8	6,3	138,6
	C	14,7		112,0	420,4	14,9	35,3	76,4	4,5	67,6
	KP	19,8	12,3		198,6	18,4	153,0	93,6	10,8	121,0
	LP	33,3	13,4	484,8		20,0	40,0	44,0	49,8	48,9
	OP	17,7	35,9	34,1	46,6		54,2	40,8		18,1
	S	17,6	25,0	475,3	395,6	29,9		40,4	112,8	575,8
	TP	32,7	2,4	31,4	73,0	75,9	135,0		515,2	74,0
	VP	78,6		32,6	37,1			8,7		89,9
	Z	15,3	46,4	95,5	102,8	7,2	199,1	49,8	9,6	

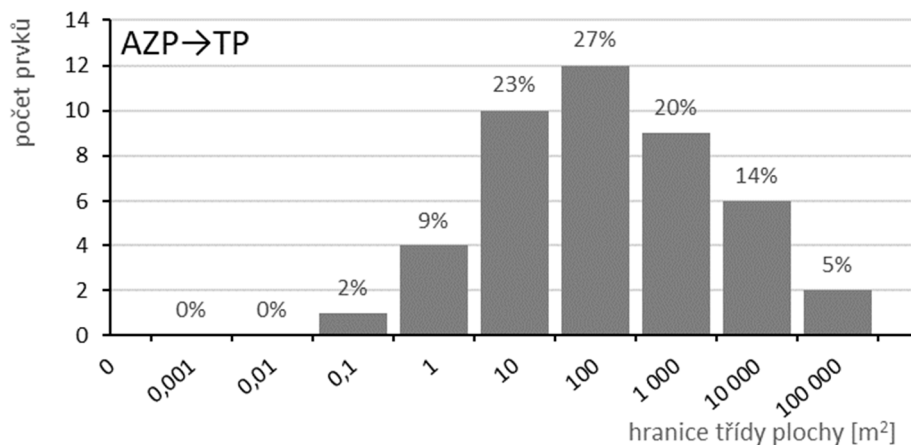
9.2.1 Antropogenní a zpevněné plochy

Zatřídění antropogenních do křovinatých porostů tvoří téměř 60% všech nesprávně zatříděných ploch v kategorii AZP, tedy 7% z celé kategorie AZP. Graf 9-3 zobrazuje distribuci plošné výměry prvků. Z grafu je vidět, že většina prvků (77%) má rozlohu mezi 1 m² a 1000 m². a nejvýznamněji jsou zastoupeny prvky mezi 10 a 100 m² (33%), viz Graf 9-3. Prvky s rozlohou nad 1000 m² jsou zastoupeny 7%.

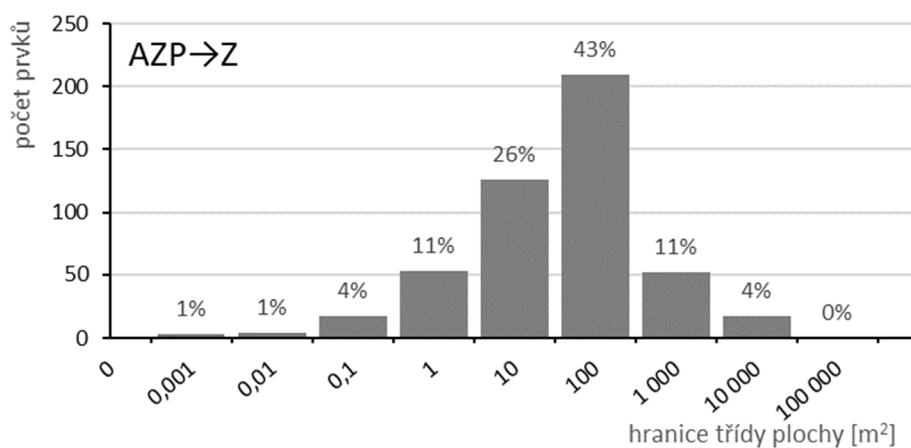


Graf 9-3: Velikostní rozdělení ploch kategorie AZP nesprávně zatříděných do kategorie KP

Zatřídění antropogenních ploch do travních porostů a zahrad tvoří 14% respektive 12% všech nesprávně zatříděných ploch v kategorii AZP, což odpovídá 1,6% resp. 1,4% plochy kategorie AZP. Graf 9-4 a Graf 9-5 zobrazují distribuci plošné výměry prvků z těchto dvou kombinací zatřídění. Pro travní porosty má 70% prvků rozlohu mezi 1 m² a 1000 m², ale jsou zde významně zastoupeny i prvky nad 1000 m² (18%).



Graf 9-4: Velikostní rozdělení ploch kategorie AZP nesprávně zatříděných do kategorie TP



Graf 9-5: Velikostní rozdělení ploch kategorie AZP nesprávně zatříděných do kategorie Z

Pouze 14% ploch, které byly automaticky kategorizovány jako Zahrady, přesahuje svou rozlohou 100 m². Naprostá většina ploch v této kombinaci kategorií tedy zahrnuje úzké podlouhlé prvky mající původ v nepřesnosti manuální vektorizace validačního datasetu, nebo nepřesnosti polohopisu ZABAGED®. Z větších ploch se obecně jedná o plochy, které byly při manuální digitalizaci klasifikovány jako plochy s převládajícím zastoupením zpevněných povrchů a tedy kategorie „Antropogenní a zpevněné plochy“, v ZABAGED® pak byly tyto plochy součástí objektu **OvocnySadZahrada** případně **OkrasnaZahradaPark**, viz Obr. 9-3.



Obr. 9-3: Příklad ploch kategorie AZP zařazených do kategorie Z (zvýrazněny černě)

9.2.2 Cesty

Velmi výrazný nesoulad manuální a automatizované kategorizace pro plochy kategorie Cesta (61% plochy zatříděno chybně) plyne zejména z chyb a omezené přesnosti při manuální vektorizaci validačních datasetů. Plochy nezpevněných cest jsou na leteckých snímcích identifikovány poměrně snadno, ale je komplikovaná otázka stálosti jejich vedení. Obslužné nezpevněné cesty v zemědělské krajině často vznikají účelově v konkrétní sezóně a jejich přítomnost a vedení trasy se tak mohou často měnit, zejména pokud nejsou navázány na jiné prvky v krajině (např. vodní toky, meze, atp.). Málo intenzivně využívané cesty na travních porostech pak na leteckých snímcích nemusí být patrné a charakter jejich povrchu také odpovídá okolním plochám. Přítomnost liniových prvků cest, které při vhodné kombinaci s tvarem terénu, mohou výrazně ovlivnit směřování povrchového odtoku, je tak ve výsledném datasetu žádoucí.

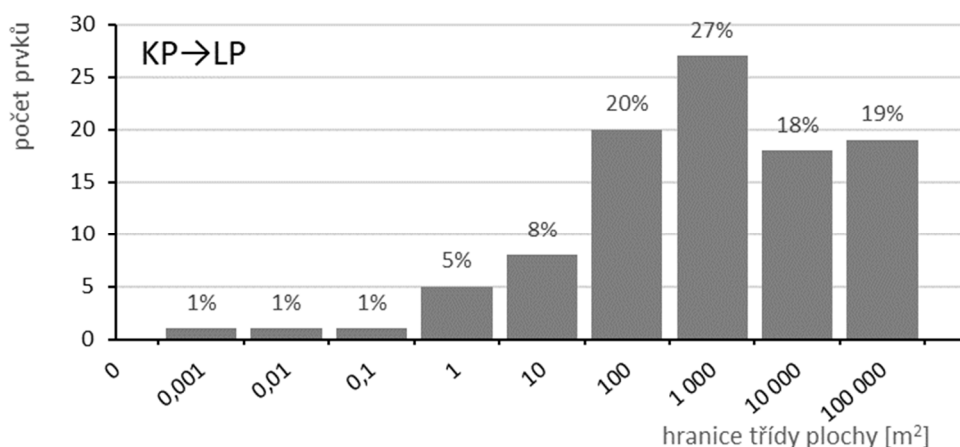


Obr. 9-4: Příklad ploch chybně zařazených ploch kategorie C (zvýrazněny černě)

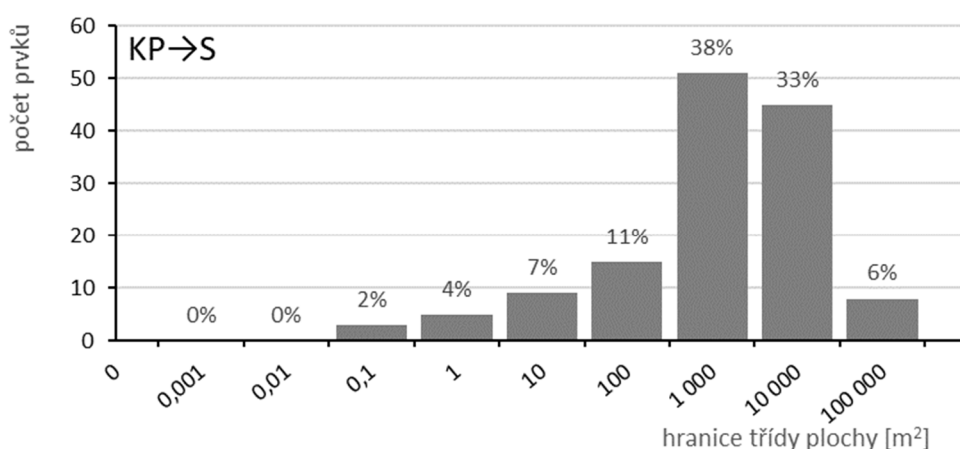
9.2.3 Křovinaté porosty

Plochy kategorie validačního datasetu Křovinaté porosty byly nesprávně zatříděny automatizovaným nástrojem ve 46% rozlohy této kategorie. Cílové kategorie zatřídění jsou přibližně rovnoměrně rozloženy mezi Antropogenní a zpevněné plochy, Křovinaté porosty, Ornou půdu a Sady, kde každá z těchto kategorií představuje přibližně 20% nesprávného zařazení. V případě lesních porostů je více než polovina prvků (64%) plošně větších než 100 m² a 37% je větších než 1000 m².

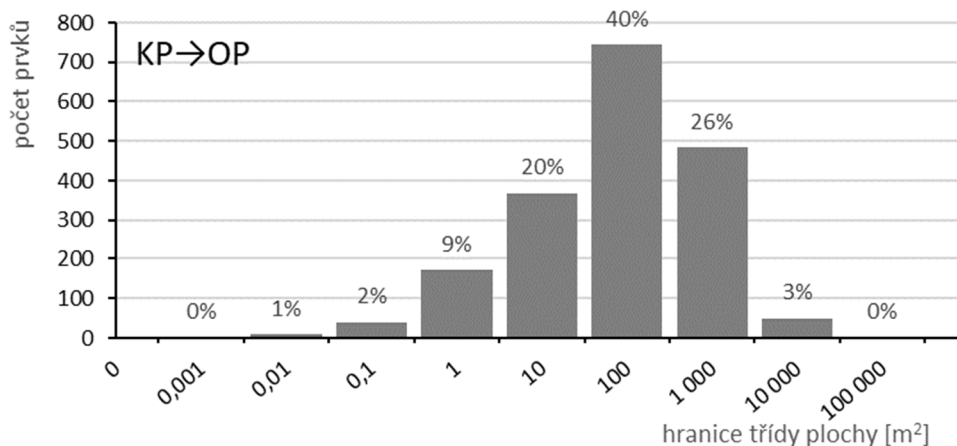
Prvky, které byly nesprávně zatříděny do kategorie Sady, jsou v 71% případů ve velikostním rozmezí 100 m² až 1 ha, většina zbylých ploch je menších než 100 m² a pouze 6% ploch má rozlohu větší než 1 hektar. U záměny za ornou půdu je naprostá většina prvků (97%) menších než 1000 m² a v rozmezí od 1 m² do 1000 m² plochy se nachází 85% prvků (Graf 9-8).



Graf 9-6: Velikostní rozdělení ploch kategorie KP nesprávně zatříděných do kategorie LP



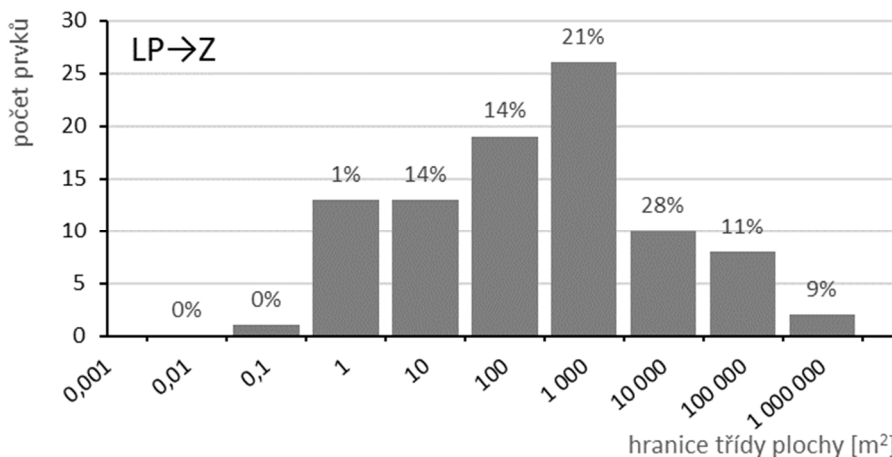
Graf 9-7: Velikostní rozdělení ploch kategorie KP nesprávně zatříděných do kategorie S



Graf 9-8: Velikostní rozdělení ploch kategorie KP nesprávně zařazených do kategorie OP

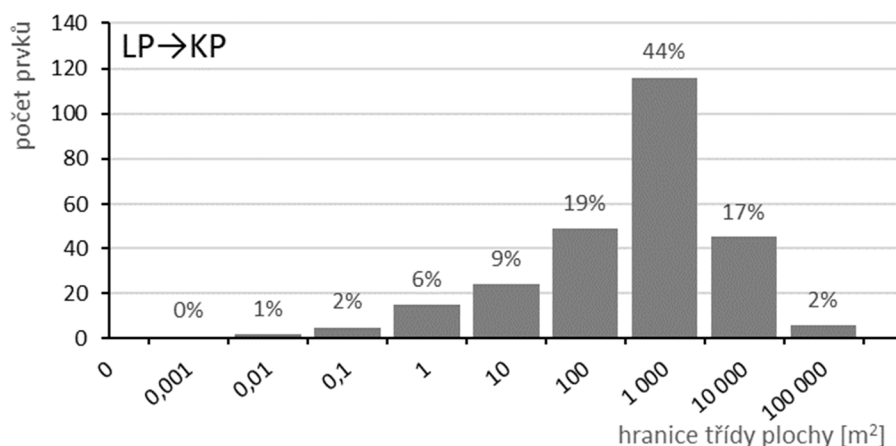
9.2.4 Lesní porosty

Kategorie Lesní porosty byla shodně automaticky zařazena v 77% plochy. Téměř polovinu (49%) plochy nesprávného zařazení tvoří kategorie Zahrady. V této kategorii má 78% prvků výměru menší než 1000 m², ale nachází se zde i dva prvky (2% rozlohy) s výměrou větší než 10 ha.



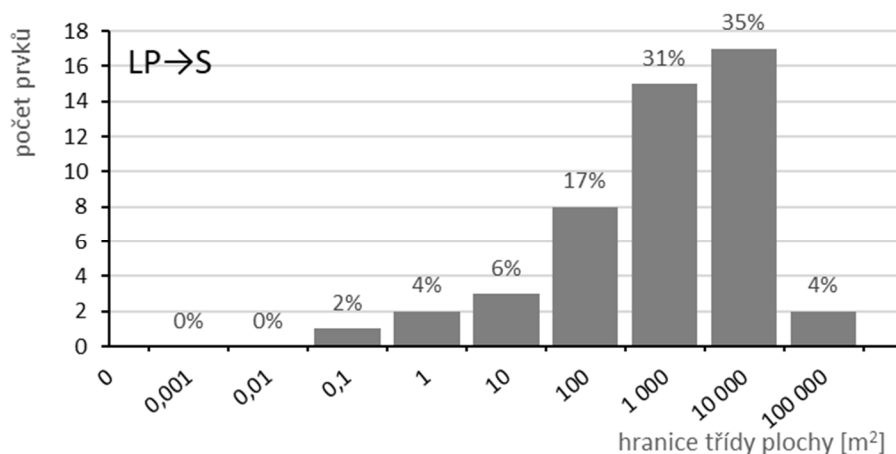
Graf 9-9: Velikostní rozdělení ploch kategorie LP nesprávně zařazených do kategorie Z

20% odlišně zařazených ploch z kategorie Lesních porostů bylo automatizovaně určeno jako Křovinaté porosty. V této kombinaci zařazení je 80% plochy soustředěno do prvků s výměrou menší než 1000 m² s výrazným zastoupením (44%) prvků větších než 100 m².



Graf 9-10: Velikostní rozdělení ploch kategorie LP nesprávně zatříděných do kategorie KP

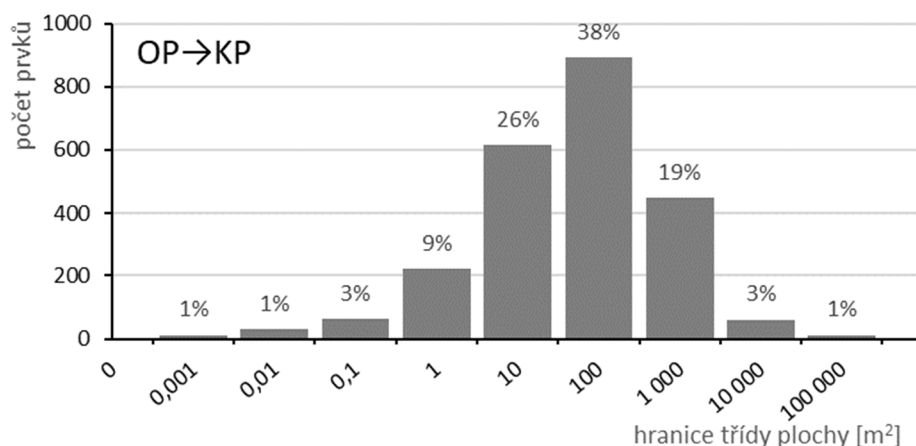
Automatické zatřídění do kategorie Sady tvoří pouze 8% ze všech nesprávně zařazených ploch validační kategorie Lesních porostů. 67% prvků spadá do rozmezí ploch mezi 100 m² a 1 ha.



Graf 9-11: Velikostní rozdělení ploch kategorie LP nesprávně zatříděných do kategorie S

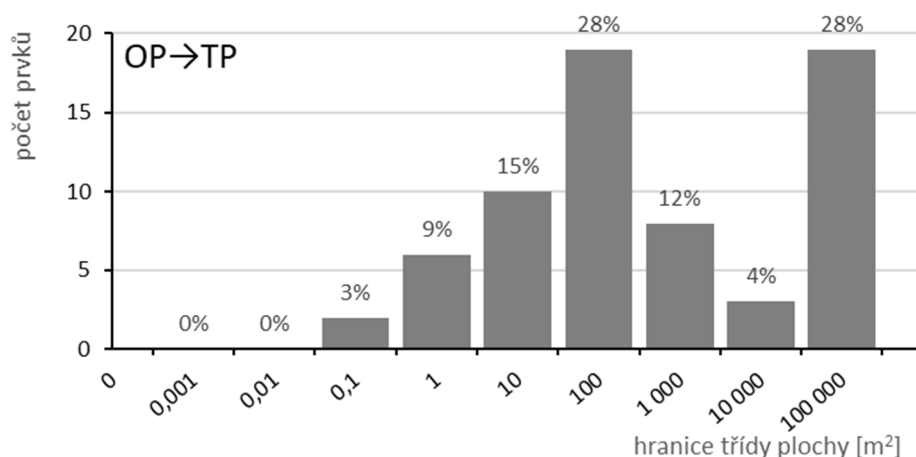
9.2.5 Orná půda

95% rozlohy orné půdy dle definice ve validačním datasetu bylo kategorizováno shodně i ve výstupu automatizovaného nástroje. Ze zbylých, odlišně zatříděných ploch, tvoří většinu (57%) zařazení do kategorie křovinatých porostů. Graf 9-12 ukazuje, že pouze 4% těchto prvků má rozlohu větší než 1000 m² a menších než 100 m² je 78% prvků.



Graf 9-12: Velikostní rozdělení ploch kategorie OP nesprávně zaříděných do kategorie KP

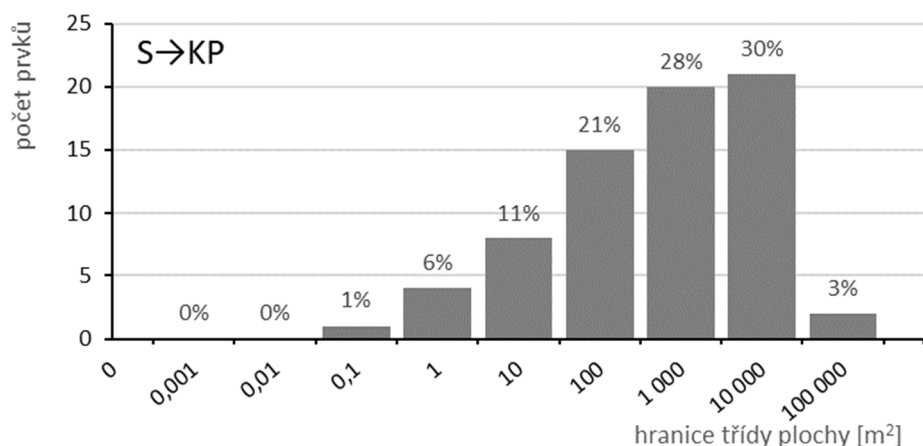
Zatřídění do kategorie Travních porostů představuje 38% rozlohy nesprávně zaříděných ploch orné půdy (1% celkové rozlohy validačních území) a velikostní distribuce prvků v této kombinaci zařídění (Graf 9-13) ukazuje, že i když je 67% prvků do velikosti 1000 m², vyskytuje se zde i nezanedbatelné zastoupení prvků větších než 1 ha a to 28%.



Graf 9-13: Velikostní rozdělení ploch kategorie OP nesprávně zaříděných do kategorie TP

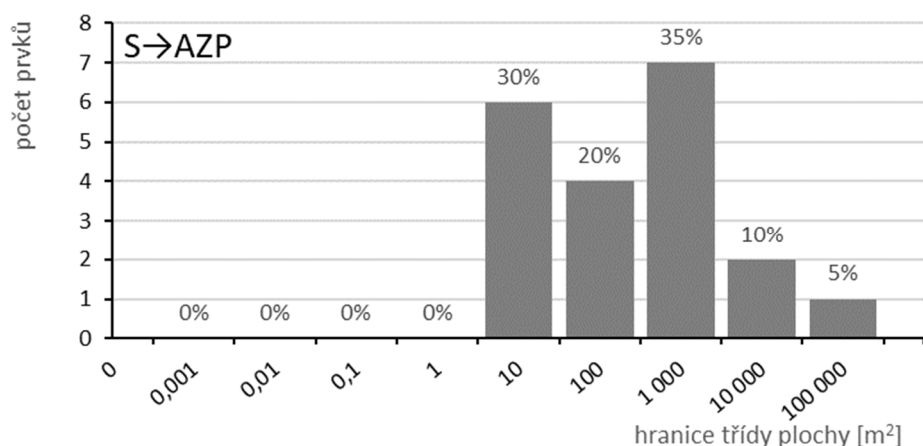
9.2.6 Sady

Ze 14% plochy kategorie Sady, která byla automatizovaně zaříděna odlišně, tvoří 39% cílová kategorie automatické klasifikace Křovinaté porosty. Z ploch v této kategorii je 97% prvků menších než 1 ha a 67% menších než 1000 m².



Graf 9-14: Velikostní rozdělení ploch kategorie S nesprávně zařazených do kategorie KP

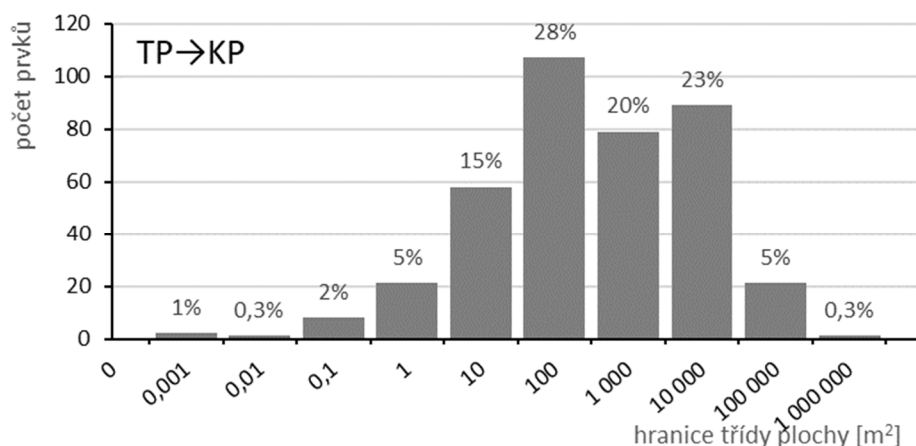
Dalších 28% nesprávně zařazených ploch kategorie Sady, což odpovídá 0,15% celkové rozlohy validačních území, bylo zařazeno do kategorie Antropogenních a zpevněných ploch. Z Graf 9-15 je patrné, že většina těchto prvků (85%) je menších než 1000 m² a větší rozlohu mají pouze celkem 3 prvky z této kombinace zařazení.



Graf 9-15: Velikostní rozdělení ploch kategorie S nesprávně zařazených do kategorie AZP

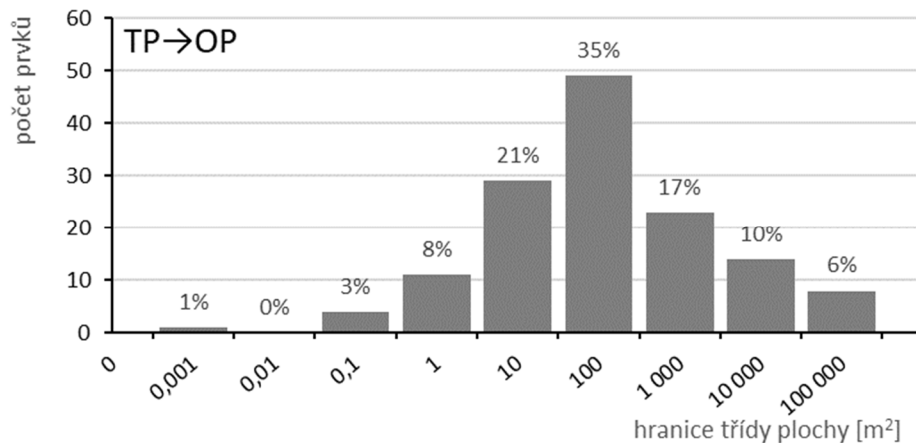
9.2.7 Travní porosty

Kategorie travních porostů má v celkové úspěšnosti zařazení nejmenší shodu mezi validačním a automaticky generovaným datasetem – pouze 35%. Z odlišně zařazených ploch jich přes polovinu (53%) bylo zařazeno do kategorie Křovinaté porosty, 15% do kategorie Orná půda a 11% a 10% do Antropogenních ploch respektive Lesních porostů. U travních porostů (Graf 9-16) pouze 5% prvků svou výměrou přesahuje 1 ha.

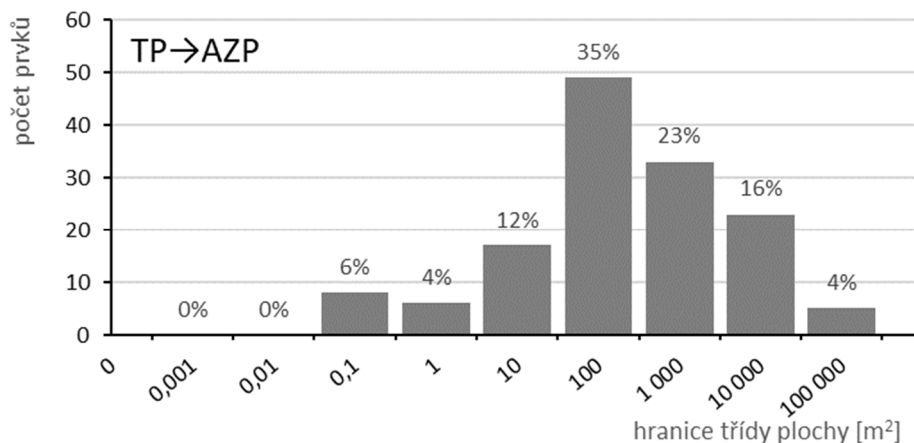


Graf 9-16: Velikostní rozdělení ploch kategorie TP nesprávně zařazených do kategorie KP

Záměna za ornou půdu se vyskytuje ze 73% u prvků s výměrou 1 – 1000 m². V rozmezí 10 až 100 m² se nachází 35% prvků validační kategorie Travní porosty zařazených automaticky do kategorie Orná půda. V tomto velikostním rozmezí je stejné procentuální zastoupení i u prvků automatizovaně zařazených do kategorie Antropogenní a zpevněné plochy. Z Graf 9-18 je ale u cílové kategorie AZP patrné větší poměrné zastoupení ploch s větší výměrou.



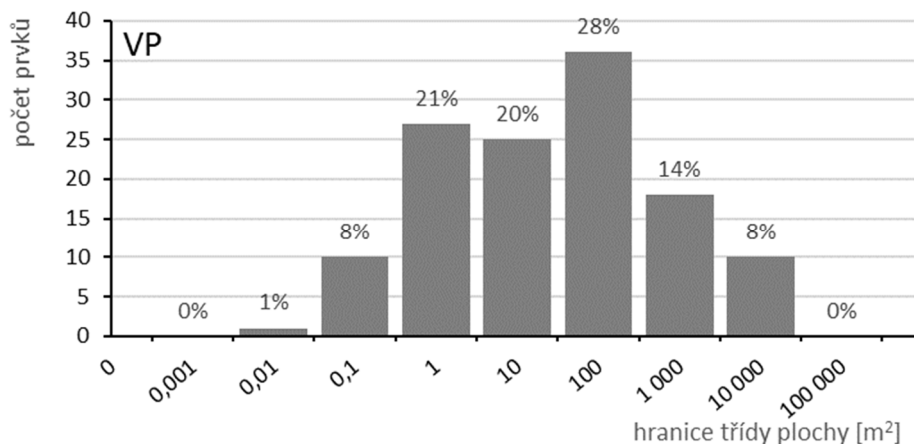
Graf 9-17: Velikostní rozdělení ploch kategorie TP nesprávně zařazených do kategorie OP



Graf 9-18: Velikostní rozdělení ploch kategorie TP nesprávně zařazených do kategorie AZP

9.2.8 Vodní plochy

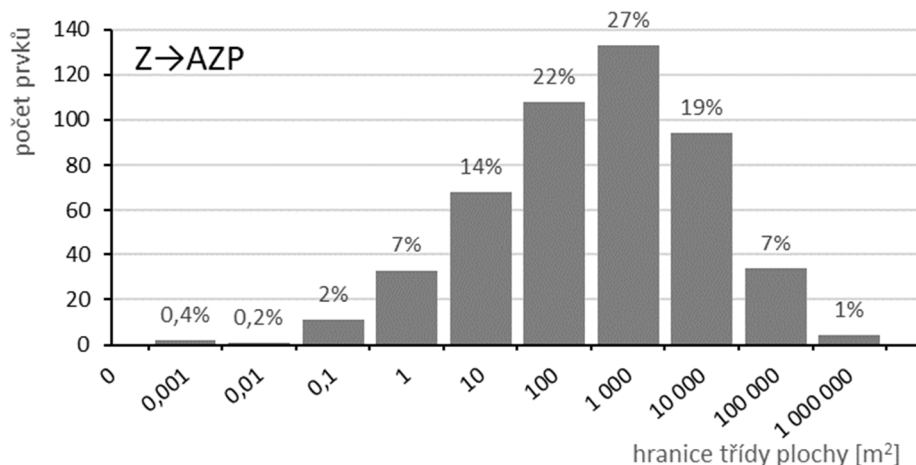
Vodní plochy byly správně zařazené v 86% plochy, odlišné zařazení než ve validačním datasetu jde na vrub hlavně kategoriím Zahrady (41% odlišně zařazených), Křovinaté porosty (37%) a Lesní porosty (16%). Graf 9-19 zobrazuje distribuci výměr odlišně zařazených prvků pro všechny cílové kategorie. 78% nesprávně zařazených prvků je menších než 100 m².



Graf 9-19: Velikostní rozdělení ploch nesprávně zařazených kategorie VP

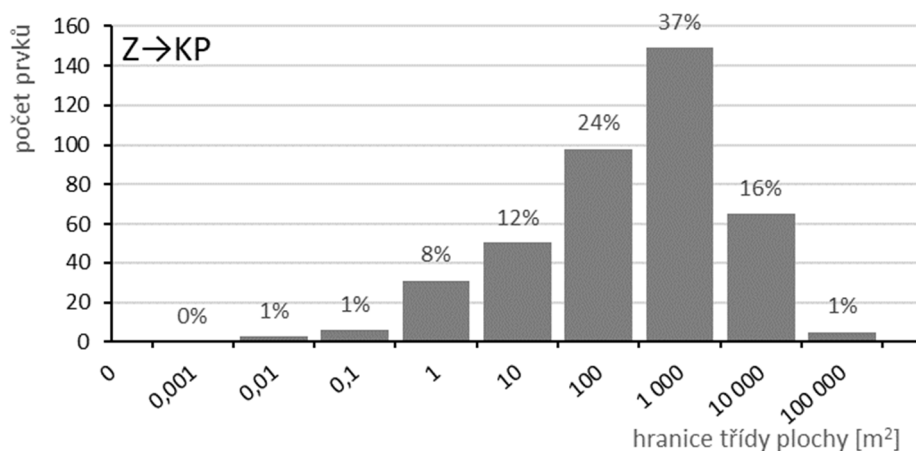
9.2.9 Zahrady

Shoda automatického zařazení do kategorie Zahrady je poměrně slabá, shodně bylo zařazené pouze 53% rozlohy ploch. 73% rozlohy z odlišně zařazených ploch bylo automaticky klasifikováno jako Antropogenní a zpevněné plochy. Z Graf 9-20 je patrné, že většina (73%) těchto ploch je menších než 1000 m² a 19% má rozlohu mezi 1000 m² a 1 ha.

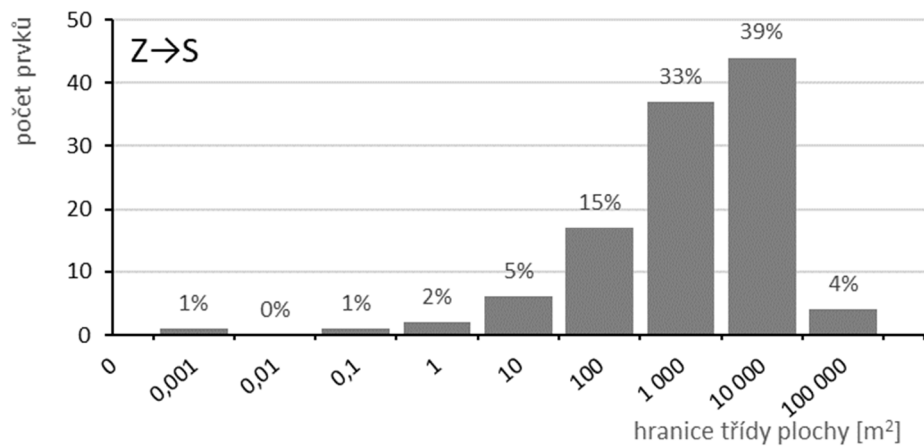


Graf 9-20: Velikostní rozdělení ploch kategorie Z nesprávně zařazených do kategorie AZP

Do kategorie Křovinaté porosty bylo zaříděno necelých 14% z ploch nesprávně zaříděných a z nich je 83% prvků menších než 1000 m² a 99% prvků je menších než 1 ha. Do kategorie Sady bylo automaticky zaříděno pouze 7% rozlohy nesprávně klasifikovaných prvků, mezi nimi je vyšší zastoupení prvků s vyšší výměrou – v rozmezí plochy 1000 m² až 1 ha se nachází 39% prvků a větší výměru než 1 ha mají 4% prvků.



Graf 9-21: Velikostní rozdělení ploch kategorie Z nesprávně zařazených do kategorie KP



Graf 9-22: Velikostní rozdělení ploch kategorie Z nesprávně zatříděných do kategorie S

10 Diskuze

10.1 Nástroje pro vytvoření vstupních vrstev erozních modelů

V předchozí kapitole byly představeny vypočtené charakteristiky shody mezi výstupem automatizovaného nástroje představeného v kapitole 7.1 a validačního vektorového datasetu, o kterém pojednává kapitola 8. Je třeba připomenout, že validační dataset byl vytvářen s důrazem na přesnost geometrické definice a podrobného dělení ploch podle jejich charakteru v extravilánu, tedy otevřené krajině. Intravilánové plochy tak byly spíše agregovány do celků majících podobné zastoupení zpevněných a nezpevněných ploch a zaříděny podle jejich převažujícího zastoupení.

Manuální vektorizace podle leteckého snímku má ale svá úskalí i v extravilánu, a to zejména pro plochy se vzrostlou vegetací křovinatého a lesního charakteru. Kromě lesních porostů a souvislých porostů nelesní vegetace do této problematické skupiny patří i zanedbané sadové porosty, výrazně zarostlé plochy zahrad a plochy travních porostů s rozptýleným porostem stromů a keřů. Na leteckých snímcích je v některých případech obtížné odlišit zmíněné kategorie a to hlavně v případech, kdy jeden typ porostu postupně přechází v jiný, nebo pokud se v rámci jedné souvislé plochy porostu střídají dílčí plochy s různým, ale blízkým charakterem vegetace. Sady se zatravněným meziřadím a sady se zanedbanou údržbou jsou na leteckých snímcích vizuálně také velmi blízko lesním nebo křovinatým porostům.

Dále jsou diskutovány výsledky validace pro různé kategorie využití a je hodnocena kvalita automatizovaného zařídění ploch. Pro jednotlivé kombinace nesouladu s validačním datasetem jsou hledány a analyzovány příčiny jejich výskytu.

10.1.1 Orná půda

Pozitivní je vysoká shoda zařídění pro ornou půdu (95%), která je pro erozní a hydrologické modelování jednou z nejdůležitějších. Zbýlých 5% plochy orné půdy ve validačním datasetu je rozděleno převážně do kategorií travních porostů a křovinných porostů. Důvodem pro vysoký výskyt prvků s plochou větší než 10 ha je hlavně špatné zařídění při manuální vektorizaci způsobené špatnou rozlišitelností travního porostu a obilovin v určitých fázích vývoje na leteckých snímcích. Dalším důvodem jsou pak pozemky, u kterých nastala změna kultury z orné půdy na travní porost v období novějším, než bylo pořízení leteckých snímků. Tato změna je zanesena v LPIS a tím je promítnuta do výstupní definice ploch podle způsobu využití.

Stejně jako pro zařazení do kategorie křovinatých porostů i pro travní porosty platí, že menší plochy jsou způsobeny ve většině případů rozdíly v geometrické přesnosti porovnávaných datasetů a mají podobu protáhlých polygonů při hranicích pozemků orné půdy.



Obr. 10-1: Ukázka zatřídění ploch do kategorie TP v rozporu s validačním datasetem (zvýrazněny černě) na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK

U odlišného zatřídění do křovinatých porostů s větší výměrou se jedná téměř vždy o pozemky, které nejsou zavedeny v LPIS, což je možné ze dvou důvodů: uživatel tento pozemek nezavedl do systému LPIS, protože nehodlá čerpat dotace a nechce využívat doplňkových služeb iLPIS, nebo byl tento pozemek již vyňat z půdního fondu, protože se jedná o rozvojové plochy obcí, které jsou v různém stupni výstavby, která ale není ještě zanesena v ZABAGED. Tím, že v LPIS nejsou tyto pozemky zaneseny a v ZABAGED® jsou součástí objektu **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy**, jsou tyto plochy automaticky zatříděny do kategorie křovinatých porostů. Ve zkoumaných validačních územích bylo nalezeno 64 ha ploch, které lze z leteckého snímku spolehlivě identifikovat jako obdělávanou ornou půdu, ale které zároveň nejsou zaneseny v LPIS, což tvoří více než polovinu v této kombinaci zatřídění (OP do KP, 107 ha, viz Tab. 9-3) a 1,6% celkové výměry orné půdy ve validačních datasetech.

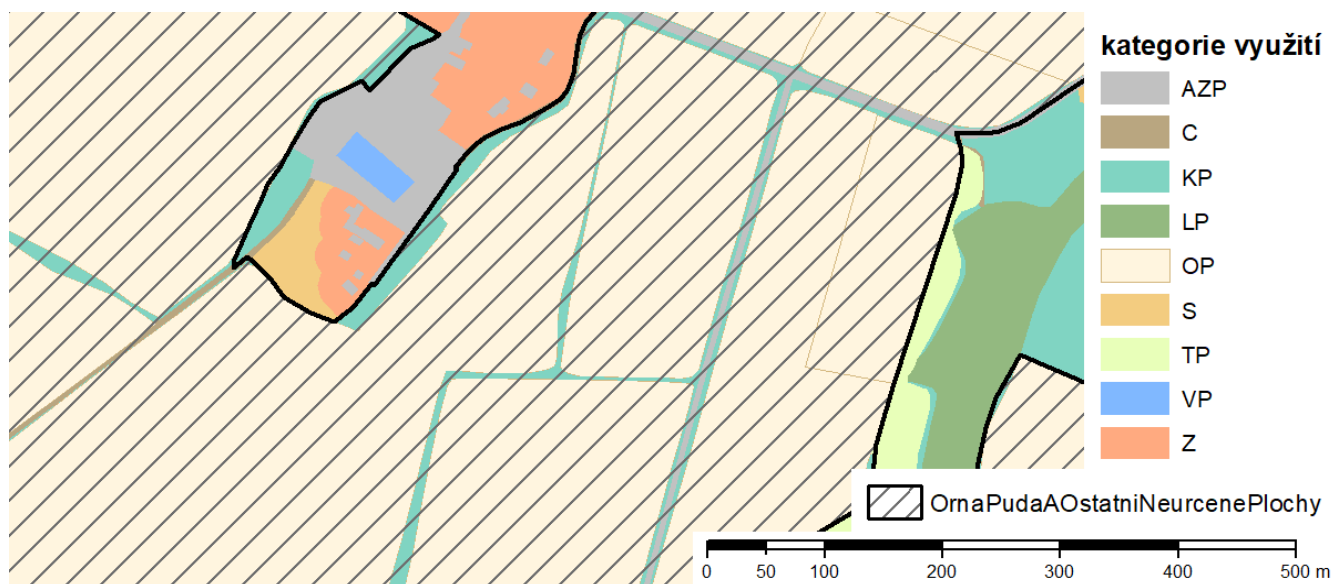
Jak dlouhé období takovéto plochy čekají na zastavění se může lišit, ale pokud je tato doba delší než jedna vegetační sezóna, tak plocha začne zarůstat ruderální vegetací, která v delším časovém horizontu nabývá charakteru křovinatých porostů. Po obecně krátkém období samotné stavby, jsou pak plochy přeměněny v plochu zahrad s odpovídajícím vegetačním pokryvem. V obou případech má takováto plocha svými vlastnostmi blíže kategorii Křovinaté porosty než kategorii Orná půda a provedené zatřídění tedy není zcela nesprávné.

V případě, že pozemek není veden v LPIS, ale je ve skutečnosti využíván jako orná půda, je případná chyba ve vlastnostech poměrně zásadní, ale nelze ji žádným automatizovaným způsobem eliminovat. Možným řešením pro menší zájmová území je doplnění definice LPIS stažené z portálu pLPIS „terénním průzkumem od stolu“ za využití leteckých snímků.



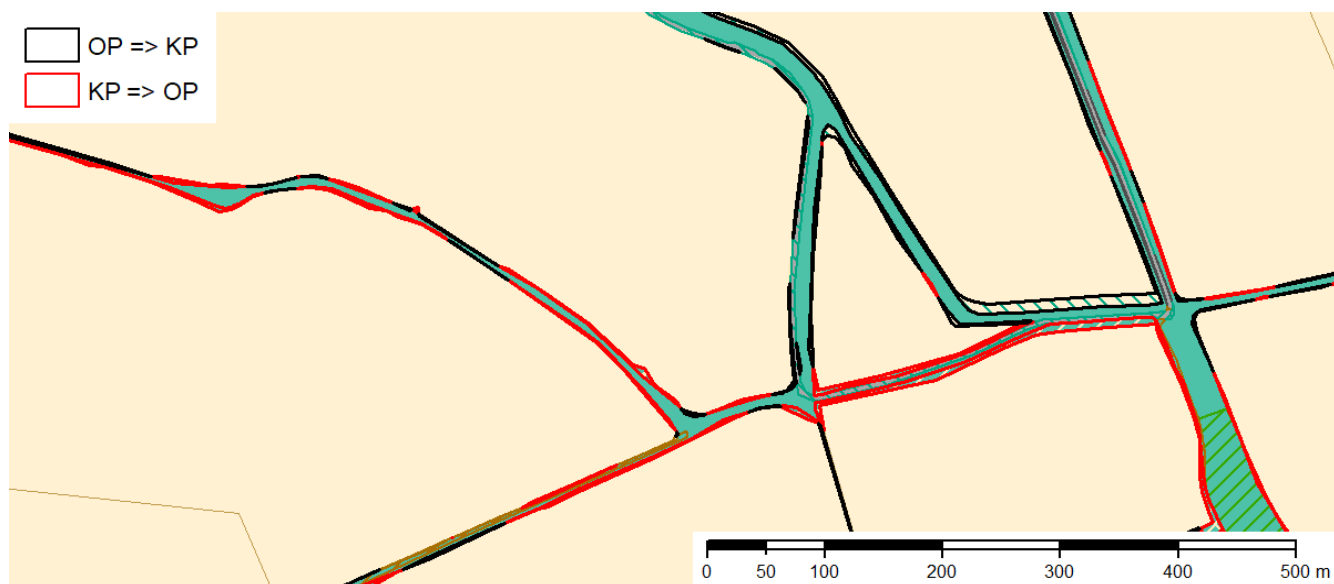
Obr. 10-2: Ukázka ploch orné půdy nesprávně zatříděných jako Křovinatý porost (zvýrazněny červeně), v levé části pozemek nevedený v LPIS, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK

Z pohledu erozního modelování jsou velmi důležité prvky přerušující odtokové dráhy, ať tyto prvky od sebe oddělují jednotlivé půdní bloky, nebo se nacházejí v ploše půdního bloku. Tyto prvky jsou ve výstupu nástroje velmi dobře zachyceny díky jejich „nepřítomnosti“ v LPIS. Přesný geometrický záznam půdních bloků LPIS, který zachycuje i plochy neobdělávané plochy nacházející se uvnitř půdních bloků, tak umožňuje tyto prvky velmi přesně definovat, i když v definici ZABAGED® je daná plocha tvořena souvislým polygonem objektu **OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy**. Tato situace je ilustrována na Obr. 10-3: v ZABAGED® je jediný polygon „orné půdy“, který ale v sobě zahrnuje i trasy silnic, cest a vegetační prvky mezi různými půdními bloky. Díky doplnění informací z LPIS jsou ve výstupní definici využité plochy zahrnuty všechny uvedené prvky.



Obr. 10-3: Ukázka výstupu nástroje překrytá objektem OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy

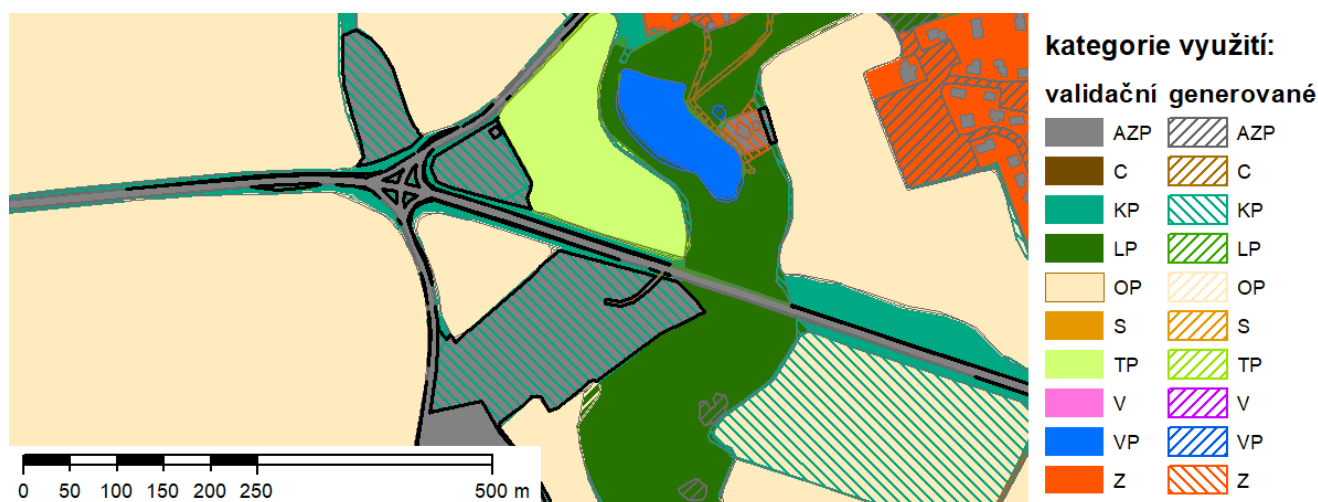
Na dalším obrázku (Obr. 10-4) jsou zvýrazněny plochy u nichž došlo k nesouladu s validačním datasetem v plochách orné půdy. Černě jsou vyznačeny plochy orné půdy z validačního datasetu, které byly automatickým nástrojem zatříděny do křovinatých porostů, Červeně jsou vyznačeny prvky křovinatých porostů validačního datasetu, které byly automatizovaně zatříděny do orné půdy. Z obrázku je patrný převládající tvar těchto ploch tedy úzké pruhy v šířce maximálně jednotek metrů podél rozhraní těchto dvou kategorií. Dále je vidět že prvky nesprávného zatřídění oběma směry se střídají a dokládají tak různou polohu a šířku těchto liniových prvků v porovnávaných datasetech. Zároveň ale nelze identifikovat systematickou chybu v posunu nebo šířce prvků, která by ukazovala na špatné georeferencování validačního datasetu (resp. zdrojového leteckého snímku). Výsledek automatické kategorizace je tak velmi uspokojivý, neboť tyto, z pohledu povrchového odtoku, velmi důležité krajinné elementy spolehlivě zachycuje a případná chyba v jejich umístění je nevýznamná a náhodná.



Obr. 10-4: Ukázka nesouladů mezi plochami orná půda a křovinaté porosty

10.1.2 Antropogenní plochy v intravilánu

Pro antropogenní a zpevněné plochy je shoda automatického zařídění také poměrně dobrá - 88%. Rozdílné zařídění je způsobeno zejména rozdílným přístupem k plochám intravilánové vegetace. Při manuální vektorizaci byly menší plochy intravilánové vegetace začleněny do kategorie AZP, ale v ZABAGED® tyto jsou tyto plochy často (ale ne vždy) vedeny v některém z vegetačních objektů, a to jak intravilánových (**OvocnySadZahrada**, **OkrasnaZahradaPark**), tak i objektů, které jsou převážně součástí volné krajiny (**LesniPudaSKrovinatymPorostem**, **LesniPudaSeStromy**). V případě nesprávného zařazení do kategorie Travních porostů, kde se vyskytuje velké zastoupení plošně rozsáhlejších prvků nad 1 ha (18%), se ukazuje, že se jedná o prvky, které mají původ v objektu ArealUceloveZastavby a konkrétně se jedná prvky s určením „chov hospodářských zvířat“, které jsou chybně zařazovány do travních porostů, i když při vizuálním zhodnocení převládá zpevněný charakter povrchů. U nesprávně určených ploch křovinatých porostů s rozlohou nad 1000 m² obecně platí, že se jedná o plochy průmyslového charakteru, které ale nejsou zaneseny v příslušných objektech mapového díla ZABAGED® a tím dochází k jejich automatizovanému zařídění do ostatních, tedy křovinatých ploch, viz Obr. 10-5.

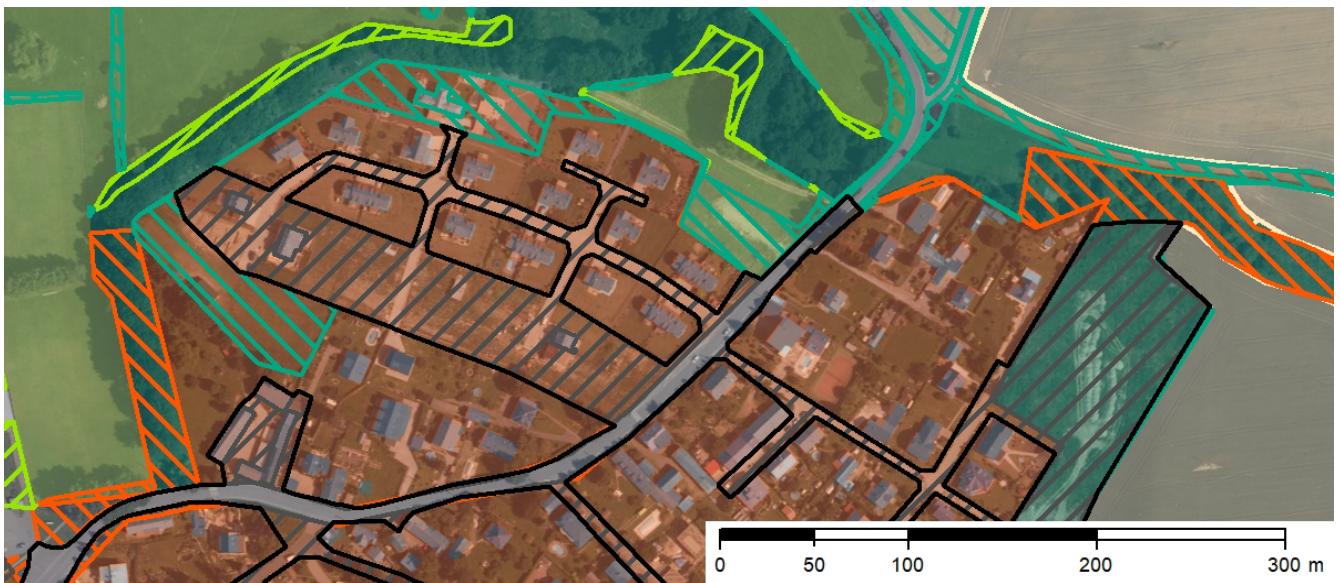


Obr. 10-5: Příklad ploch kategorie AZP zařazených do kategorie KP (zvýrazněny černě)

Pokud se zaměříme na odlišné zařazení z opačného pohledu, tedy plochy, které jsou ve výstupu nástroje zařazeny do kategorie AZP, ale ve validačním datasetu jsou zařazeny jiných kategorií, lze z prvního řádku Tab. 9-7 určit, že se nejčastěji jedná o plochy kategorií Zahrada, Sad a křovinaté porosty. Záměna zahrad a zpevněných ploch v intravilánu je téměř ze tří čtvrtin způsobena objektem **OstatníPlochaVSidelech**, do které je zařazena většina parcel, s probíhající residenční výstavbou v různých fázích, ale díky neaktuálnosti a rychlosti stavby, i dokončených domů, příklad na Obr. 10-6. Nastávají ale i situace, kdy jsou do ostatních ploch v sídlech zařazeny i plochy se vzrostlou parkovou až lesní vegetací, viz například Obr. 10-6. S ohledem na charakter ostatních ploch zařazených do objektu **OstatníPlochaVSidelech**, což jsou převážně plochy ulic a dvorů s nepropustným povrchem, je z pohledu erozního modelování nešťastné, že jsou zde zařazeny i plochy, které jsou v odpovídajícím stavu pouze krátkodobě a jinak jsou jejich vlastnosti výrazně odlišné.

Vzhledem k přímému převzetí geometrické definice budov při vytváření validačního datasetu (popsáno v kapitole 8) nejsou prvky budov ve výsledcích validace obsaženy, respektive jsou součástí shodně zařazených ploch.

Častou příčinou neshody mezi validačním a validovaným datasetem je plošný růst sídel, který je zachycen v různých fázích jak ve vstupních datech automatického nástroje, tak ve zdrojovém leteckém snímku použitém při manuální digitalizaci validačního datasetu. Pro chybné zařazení do křovinatých a lesních porostů je opět důvod obtížné rozlišení těchto kategorií na leteckých snímcích a časový vývoj vegetace.



Obr. 10-6: Prvky objektu *OstatniPlochaVSidelech* (zvýrazněny černě) v intravilánu, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK

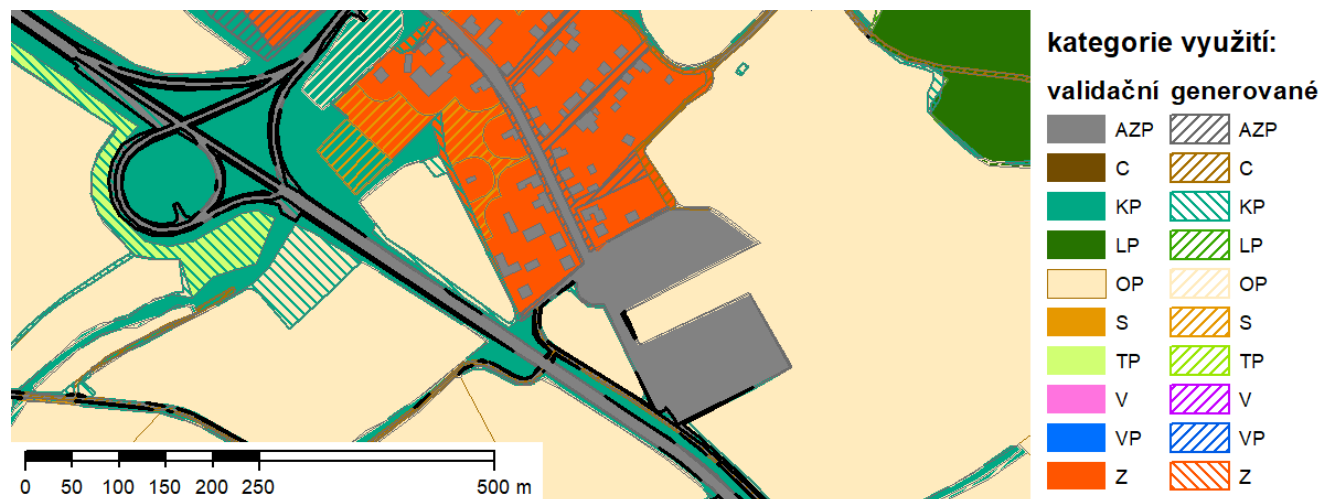
10.1.3 Liniová dopravní infrastruktura

Jednoduchý algoritmus pro odvození ploch liniových staveb se ukazuje jako poměrně efektivní a přesný. Plocha, která je „k dispozici“ pro liniovou stavbu je většinou vymezena zbylými plochami objektu ***OrnaPudaAOstatniNeurcitePlochy*** po odečtení pozemků LPIS. Pokud je zpevněná plocha komunikace vytvořená ekvidistantou podél liniového objektu ZABAGED širší než dostupná plocha, je touto plochou omezena a nezasahuje do okolních zemědělsky využívaných pozemků. Pokud je užší, zůstávají podél dané liniové stavby pásy doprovodné zeleně. Algoritmus samozřejmě nereflkuje rozšíření u křižovatek, připojovací pruhy, stoupací pruhy a další výjimky z „běžné“ šířky komunikace. Obr. 10-9 zachycuje mimoúrovňové křížení obchvatu Kolína a dokládá dobrou shodu definice ploch pro několik různých kategorií pozemních komunikací.

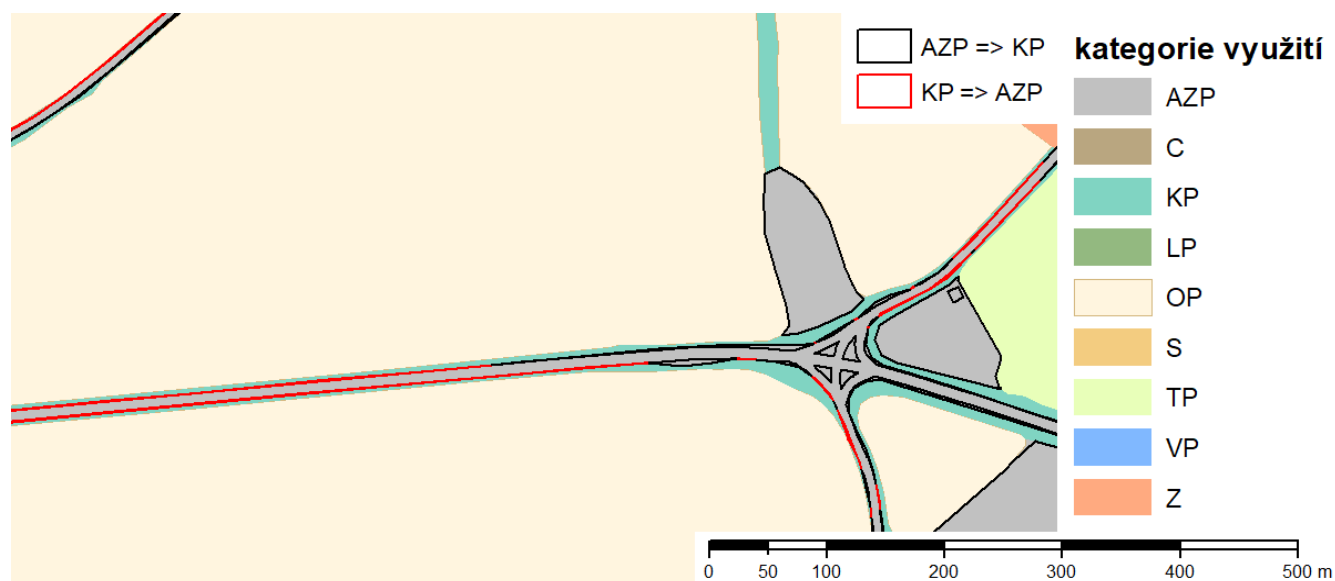
Při prozkoumání konkrétních prvků zjišťujeme, že se v naprosté většině případů jedná o tenké protáhlé polygony, které se nacházejí podél liniové dopravní infrastruktury a jsou tedy způsobeny mírně odlišným vedením liniových prvků v porovnávaných datasetech. Pokud porovnáme záměnu kategoriím je patrné, že se opět jedná zejména o rozdíly mezi manuální vektorizací a geometrickou definicí v objektech ZABAGED®. Při podrobné analýze výskytu odchylek jedním (záměna AZP za KP) a druhým (záměna KP za AZP) směrem není patrná systematická chyba v posunu ani v šíři prvků a jsou zastoupeny přibližně ve stejném počtu/rozloze. Ukázky výsledku a chyb v zatřídění jsou na Obr. 10-7 a Obr. 10-8, pro celkový přehled o výskytu chyb je možné nahlédnout do Příloha 3 a Příloha 4.

Podlouhlé polygony při hranicích intravilánových kategorií mají zjevně stejný důvod, tedy mírně odlišné vedení hranic při ruční vektorizaci validačního datasetu a datasetů vstupujících do automatizovaného nástroje, viz Obr. 10-7.

Do kategorie Antropogenní a zpevněné plochy jsou nástrojem zařazeny i plochy cest, u nichž je atributem definováno, že jsou zpevněné.



Obr. 10-7: Příklad ploch kategorie AZP zařazených do kategorie KP (zvýrazněny černě)



Obr. 10-8: Ukázka chyb automatické kategorizace ploch silničních komunikací



Obr. 10-9 – Ukázka automatizovaně vytvořené definice zpevněných ploch pozemních komunikací a doprovodné zeleně (Kolín), na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK

Nezpevněné cesty, které mají ve výstupu nástroje svou vlastní kategorii Cesta, jsou ve výstupu z automatizovaného nástroje přítomny ve výrazně vyšším zastoupení než ve validačním datasetu. Tento výsledek odpovídá situaci ve vstupním objektu ZABAGED® **Cesta**, který se sice dá úspěšně rozdělit na zpevněné a nezpevněné na základě atributu, ale rozmezí vlastností u nezpevněných cest je velmi široké od málo intenzivně využívaných cest v plochách travních porostů, které svými vlastnostmi odpovídají okolnímu porostu, až po polní cesty bez jakéhokoliv půdního krytu, které mohou být výrazným zdrojem sedimentu. I když je tedy nemožné sjednotit kategorii „Cesta“ z pohledu vlastností povrchu, je přítomnost cest ve výsledku klasifikace žádaná, neboť zachycuje liniové prvky, které mohou výrazně ovlivnit směr povrchového odtoku v závislosti na kombinaci s morfologií terénu.

Pro polní a luční cesty často nastává situace, kdy je mezera mezi pozemky LPIS příliš úzká a/ nebo je objekt ZABAGED Cesta zakreslen chybně. Ve výsledku tak plocha cesty nabývá zvláštních tvarů a může se i ztrácet a znovu objevovat. Tato situace je také částečně způsobena tím, že nezpevněné cesty jsou často časově proměnlivé, přesouvají se dle potřeby a změny podmínek, případně zcela zanikají a vznikají nové, viz Obr. 10-10.



Obr. 10-10: Ukázka chybné definice ploch cest díky nesouladu mezi geometrickou definicí LPIS a ZABAGED (pozemky LPIS bílou šrafovou)

Kvůli možnosti přizpůsobení nastavení nástroje podmínkám konkrétního zájmovému území bylo uživateli umožněno zvolit v nastavení nástroje (viz kapitola 7.1.2), jakým způsobem budou prvky cest implementovány do výstupu.

10.1.4 Zahrady a sady

Oddělení sadů a zahrad vedených v objektu ZABAGED® OvocnySadZahrada se ukázalo jako poměrně efektivní. Míra shody pro kategorii Sady ve validačním datasetu (86%) je vzhledem k výchozím podmínkám velmi dobrá. Výrazně horší výsledek pro kategorii zahrady (shoda 53%) je způsoben hlavně nesoulady kategorizace uvnitř sídel a jejich špatným zařazením do kategorie Antropogenní a zpevněné plochy (73% špatně zařazených) a kategorie křovinaté porosty (14% špatně zařazených). Důvody těchto nesouladů jsou diskutovány v kapitole 10.1.2.

Pouze 8% procent ploch, automaticky kategorizovaných jako zahrady, byla ve validačním datasetu součástí kategorie Sady a 7% ploch, automaticky zařazených jako Sady bylo ve validačním datasetu přítomno v kategorii využití Zahrady. Vedení hranice mezi nově vzniklými plochami sadů a zahrad zřejmě nerespektuje skutečnou situaci, což je nutný důsledek způsobu oddělení těchto kategorií ze zdrojových datasetů, tak jak je popsán v kapitole 7.1. Ve zdrojovém objektu **OvocnySadZahrada** není přítomno žádné vodítko pro

určení geometrie rozhraní těchto dvou kategorií využití ploch. Vyvinutý způsob oddělení implementovaný do automatického nástroje nemá možnost zohlednit reálné hranice vlastnických nebo uživatelských vztahů na pozemcích a vychází tedy pouze z prostorových vztahů k jiným objektům použitým při automatickém odvozování mapy využití ploch. Ač je výsledný průběh hranice nepřirozený, je bilance ploch nesprávně zatříděných jedním (záměna sadů za zahrady) a druhým (záměna zahrad za sady) směrem v celkovém pohledu vyrovnaný a rozdíl ve vzdálenosti mezi generovanou a reálnou hranicí těchto ploch se pohybuje maximálně v jednotkách desítek metrů. Hlavní cíl, tedy oddělení velkoplošných intenzivních sadových ploch v extravilánu, je ve výstupu automatizovaného nástroje splněn.

Na Obr. 10-11 až Obr. 10-14 jsou uvedeny další příklady oddělení sadů a zahrad. Při porovnání s podkladovým leteckým snímkem je patrné, že plochy kategorizované nástrojem jako zahrady většinou obsahují doprovodné objekty obytných staveb jako kůlny, garáže, parkovací stání, bazény a další imobilní zařízení, které by mohlo být poškozeno/ zničeno bleskovými povodněmi a transportovaným sedimentem. Zbylé plochy sadů vyloučené z intravilánu pak v naprosté většině případů mají skutečně charakter sadových, lesních a lučních kultur.



Obr. 10-11 – Ukázka oddělení sadů a zahrad



Obr. 10-12: Ukázka oddělení sadů a zahrad, zobrazeny pouze odlišně zatříděné kategorie, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK



Obr. 10-13: Ukázka oddělení sadů a zahrad, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK



c



Obr. 10-14: Ukázka oddělení sadů a zahrad, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK

Případné chyby větších rozsahu jsou většinou způsobeny nedostatky v objektech ZABAGED®: chybějícími budovami v objektu **BudovaBlokBudov** a naopak přítomností prvků objektu **OvocnySadZahrada** v plochách, kde již reálně žádné sady nejsou. Příklad této situace je Obr. 10-9, kde v místech bývalého sadu je v současné době půdní blok orné půdy vedený v LPIS, který je ale plošně menší než byl rozsah původního sadového porostu. Ve výstupu se tak objevuje tento pozemek orné půdy obklopený ze všech stran pruhem plochy zatříděné jako Sad. Pro odstranění této chyby bylo uživateli nástroje před jeho spuštěním umožněno nastavit, aby byly do kategorie Sady zařazeny pouze plochy, které jsou v této kategorii vedeny ve vstupním datasetu LPIS a zbývající plochy z objektu **OvocnySadZahrada** byly zařazeny do kategorie křovinaté porosty.

Protože se podobná situace může objevit i u dalších kategorií, zejména speciálních porostů jako jsou vinice a chmelnice, bylo zmíněné nastavení umožněno i pro tyto kategorie. Aby mohl uživatel použít tento přístup „co není vedeno LPIS, neexistuje“ používat obecně, je toto nastavení umožněno i pro kategorii travních porostů, u které ale případné důsledky výše uvedeného jevu nemají výrazný dopad na kvalitativní charakteristiky výstupního datasetu, neboť travní porosty a křovinaté porost nejsou svými vlastnostmi tak výrazně odlišné.

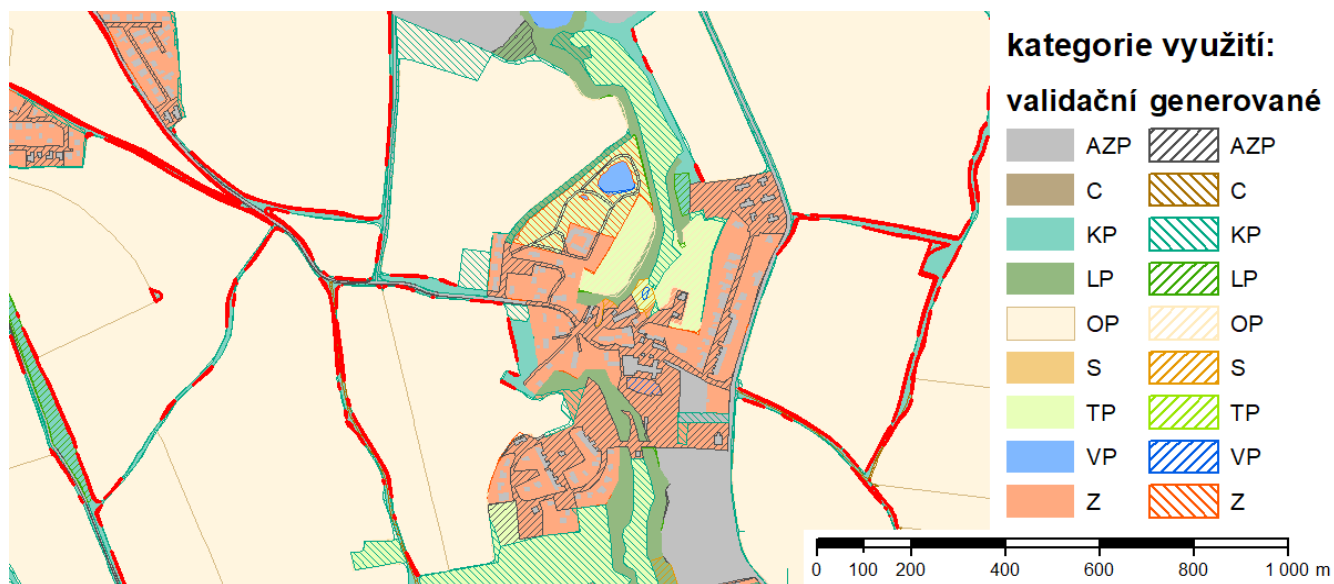
10.1.5 Lesní, travní a křovinaté porosty

Kategorie travních, křovinatých a lesních porostů se ukázaly jako kategorie s nejvyšší chybovostí. Rozdíly v zařazení jsou ale často způsobeny zejména obtížným odlišením blízkých kultur na leteckých snímcích při vytváření validačního datasetu. Louka/pastvina s velkým zastoupením soliterních stromů může vypadat více jako lesní porost než vymýcený kus lesa s ponechanými jednotlivými vzrostlými stromy. Rozhodnutí mezi lesním a křovinatým porostem při manuální vektorizaci validačního datasetu vycházelo částečně i z rozlohy a tvaru dané plochy. Kompaktní velké celky stromového porostu byly zařazeny vcelku jako lesní porost i když obsahovaly dílčí plochy mladších nebo řidších porostů. Naopak v případě rozptýlené vegetace a doprovodné vegetace komunikací a vodních toků, byly tyto plochy zařazeny jako křovinaté i když mohou být tvořeny vzrostlými dospělými stromy.

Poměrně dobré shody dosáhla automatická klasifikace využití ploch pro lesní porosty (77%). Téměř polovina (49%, viz Tab. 9-7) odlišně zařazených ploch byla zařazena do kategorie zahrad. Zde je jasnou příčinou Průhonický park, který zasahuje do území Botič v jeho severní části. Tento lesopark byl manuálně zařazen jako lesní porost, ale díky tomu, že je v ZABAGED veden v objektu **OkrasnyParkZahrada**, je automatickým nástrojem zařazen do plochy zahrad. S plochou 69 ha tak tvoří naprostou většinu rozlohy špatně zařazených ploch v této kombinaci kategorií, jejíž celková výměra je 70 ha. U zbylé části se opět jedná o drobné polygony způsobené polohovou nepřesností a záměnou kategorií při manuální digitalizaci.

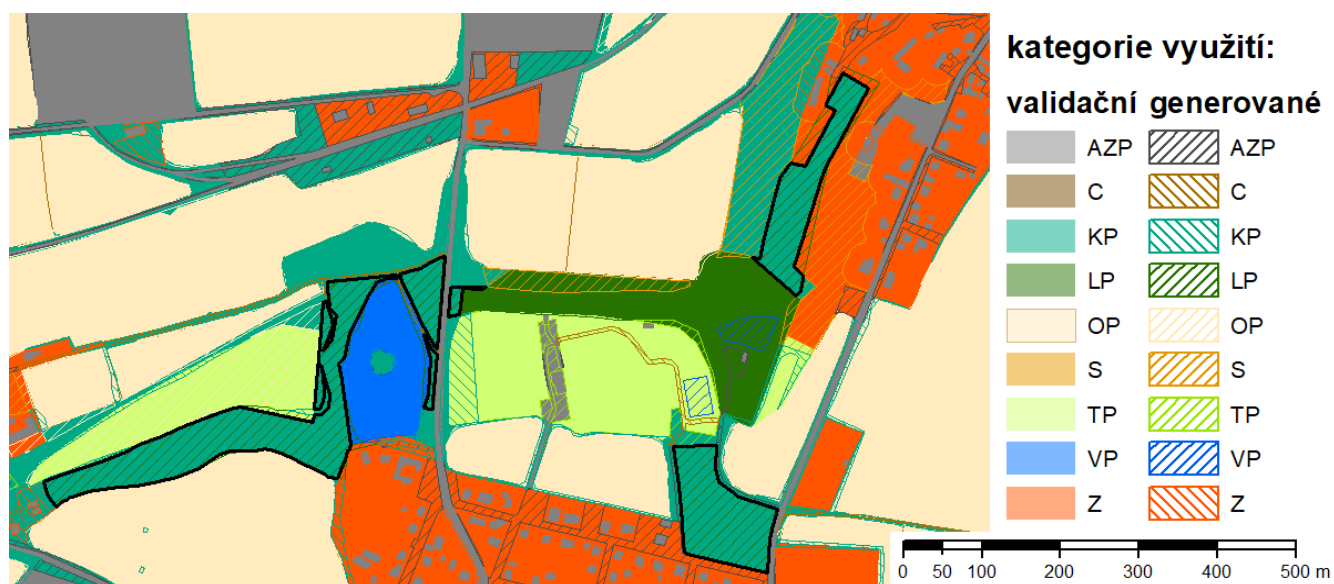
Křovinaté porosty byly zařazeny shodně s validačním datasetem v 54% plochy, zbylých 182 ha plochy bylo automatizovaně zařazeno hlavně do kategorií Lesní porosty (25% plochy nesprávně zařazených), Sady (22%), Antropogenní a zpevněné plochy (18%) a Orná půda (17%). Pro kategorii AZP platí stejné odůvodnění jako v případě neshody mezi zahradami a AZP a to, že hlavní příčinou je velmi volná definice objektu ZABAGED@ **OstatniPlochaVSidlech**, která často obsahuje i plochy s výrazně převažujícím zastoupením vegetace (viz například Obr. 10-6).

V případě automatického zařídění do kategorie Orná půda se v naprosté většině jedná o prvky s velmi malou rozlohou, což odpovídá různé přesnosti geometrického zákresu půdních bloků v LPIS a definice vzniklé manuální digitalizací, viz Obr. 10-15.



Obr. 10-15: Příklad ploch kategorie KP automatizovaně zařazených do OP – zvýrazněny červeně

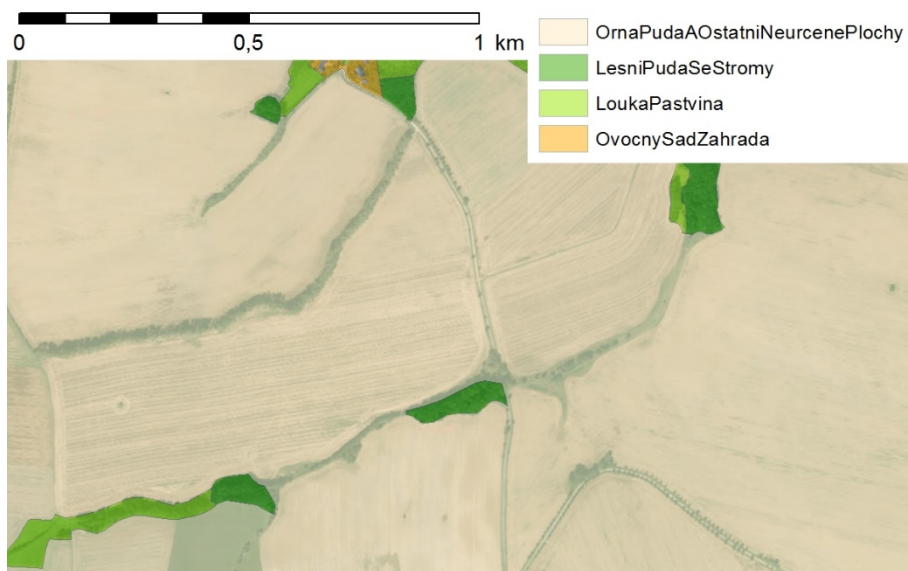
Plochy křovinatých porostů zaříděné automatizovaným nástrojem do lesních porostů jsou v naprosté většině případů maloplošné lesní porosty, které byly při digitalizaci validačního datasetu subjektivně zařazeny do křovinatých porostů, kvůli jejich malé velikosti a často protáhlému tvaru, Obr. 10-17.



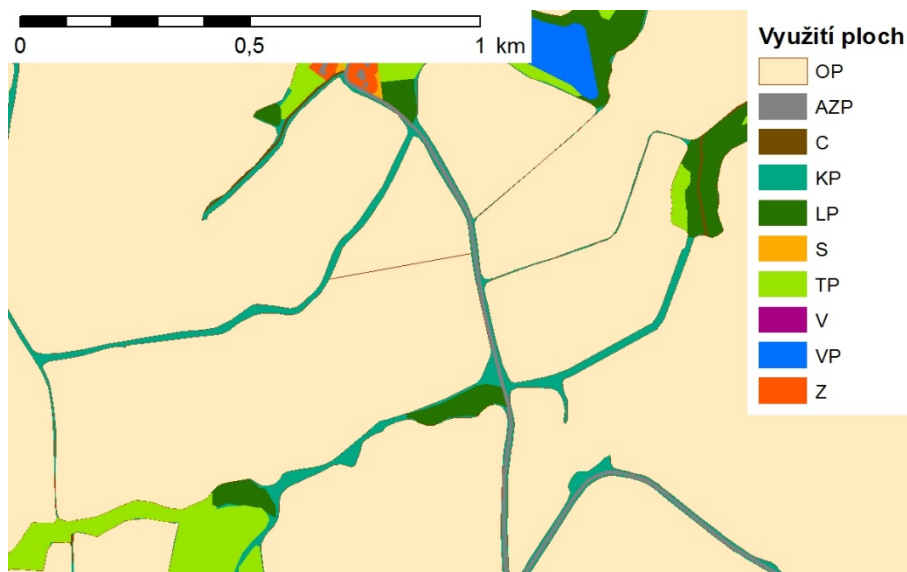
Obr. 10-16: Příklad ploch kategorie KP automatizovaně zařazených do LP – zvýrazněny černě

U travních porostů je shoda automaticky generovaného a validačního datasetu nejmenší ze všech kategorií využití, pouhých 35%. Více než polovina (53%, viz Tab. 9-7) chybně zatříděných ploch je určena jako křovinaté porosty, což má stejné vysvětlení jako zatřídění orné půdy do křovinatých porostů – jedná se o plochy přítomné v objektu **TrvalyTravniPorost**, ale nepřítomné v LPIS, které byly při vytváření validačního datasetu kategorizovány jako travní porosty. V tomto případě se jedná o důsledek nastavení při spouštění nástroje, konkrétně o volbu „travní porosty mimo LPIS zařadit do křovinatých porostů“. Toto nastavení velmi dobře reflektuje situaci v územích s vyšší nadmořskou výškou a sklonitostí, kde jsou trvalé travní porost většinou přítomny v LPIS. Toto nastavení se během kalibrace ukázalo jako vhodnější, protože vedlo k lepším výsledkům. V příměstské krajině validačního území Botič se však tento předpoklad ukázal jako neplatný a 85% (82 ha z celkem 97 ha, tedy) z chybně kategorizovaných ploch travních porostů se nachází v tomto území.

Chybné zatřídění do orné půdy (15% z chybně zatříděných) je způsobeno částečně chybou zatřídění ve validačním datasetu, díky nemožnosti vizuálně odlišit travní porost od některých zemědělských plodin v raných fázích vývoje a částečně časovým rozdílem mezi definicí v LPIS, která je o několik let aktuálnější než letecký snímek použitý při vytváření validačního datasetu.



Obr. 10-17: Letecký snímek území překrytý vybranými objekty ZABAGED



Obr. 10-18: Výsledná definice využití území při použití nástroje

10.1.6 Vodní plochy

V kategorii vodních ploch bylo dosaženo shody 86%, což je výsledek poměrně dobrý. Při prozkoumání zejména těch ploch, které byly automaticky zatříděny do vodních ploch, ale ve validačním datasetu byly součástí jiné kategorie, nalezneme mnoho malých vodních ploch, které nebyly identifikovány při vytváření validačního datasetu. Při kombinaci malé rozlohy vodní plochy a dobře zapojené okolní vegetaci je velmi obtížné takovou vodní plochu vizuálně identifikovat, protože většina její hladiny je skrytá korunami. Nicméně ukazuje se (viz Obr. 10-19), že je v objektu ZABAGED® **VodníPlocha** přítomno i mnoho vodních nádrží, které již z různých důvodů neexistují.



Obr. 10-19: Neexistující vodní plochy přítomné v ZABAGED®

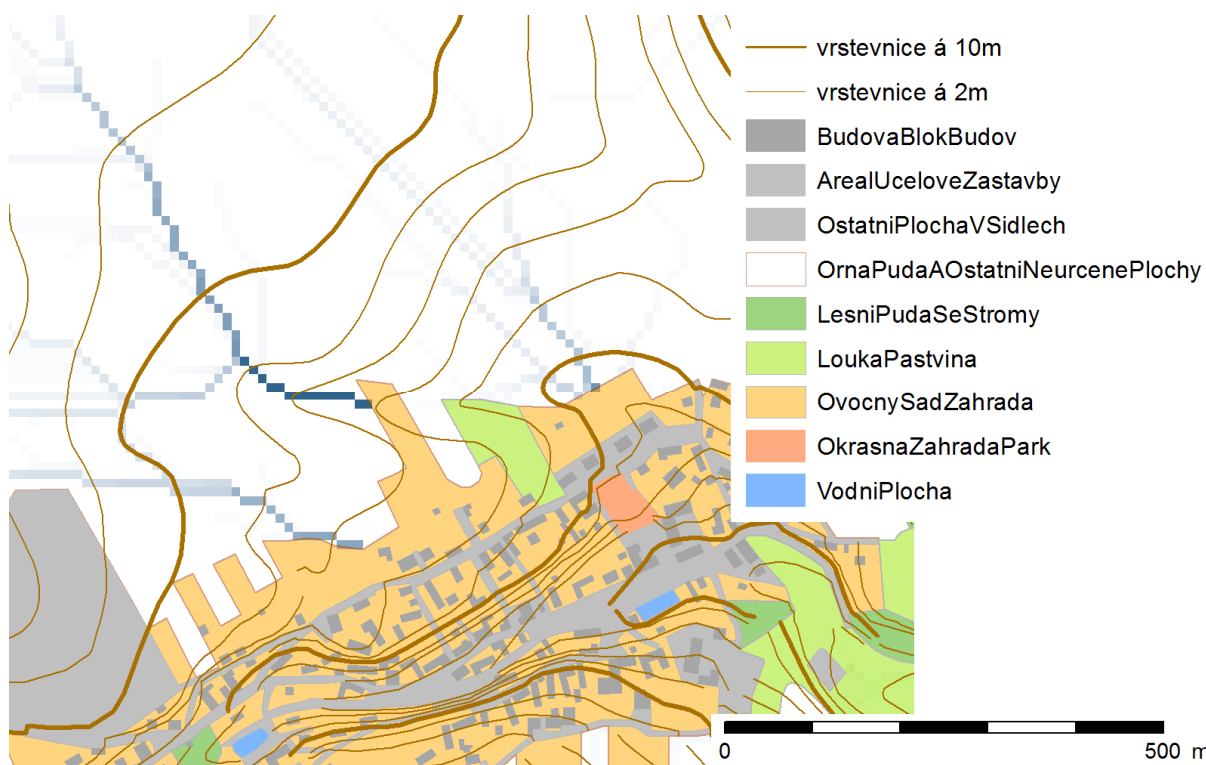
10.2 Praktické aplikace automaticky generované vrstvy využití ploch

Výstupy představeného nástroje mají hlavní účel pro vytváření definice ploch podle způsobu jejich užívání zejména v extravilánu jako podklad pro sestavení erozních modelů, protože naprostá většina sedimentu transportovaného povrchovým odtokem při erozních událostech má svůj původ na plochách orné půdy. Vzájemné prostorové vztahy způsobu využívání a morfologie terénu pak předurčují směr pohybu povrchového odtoku a unášeného sedimentu.

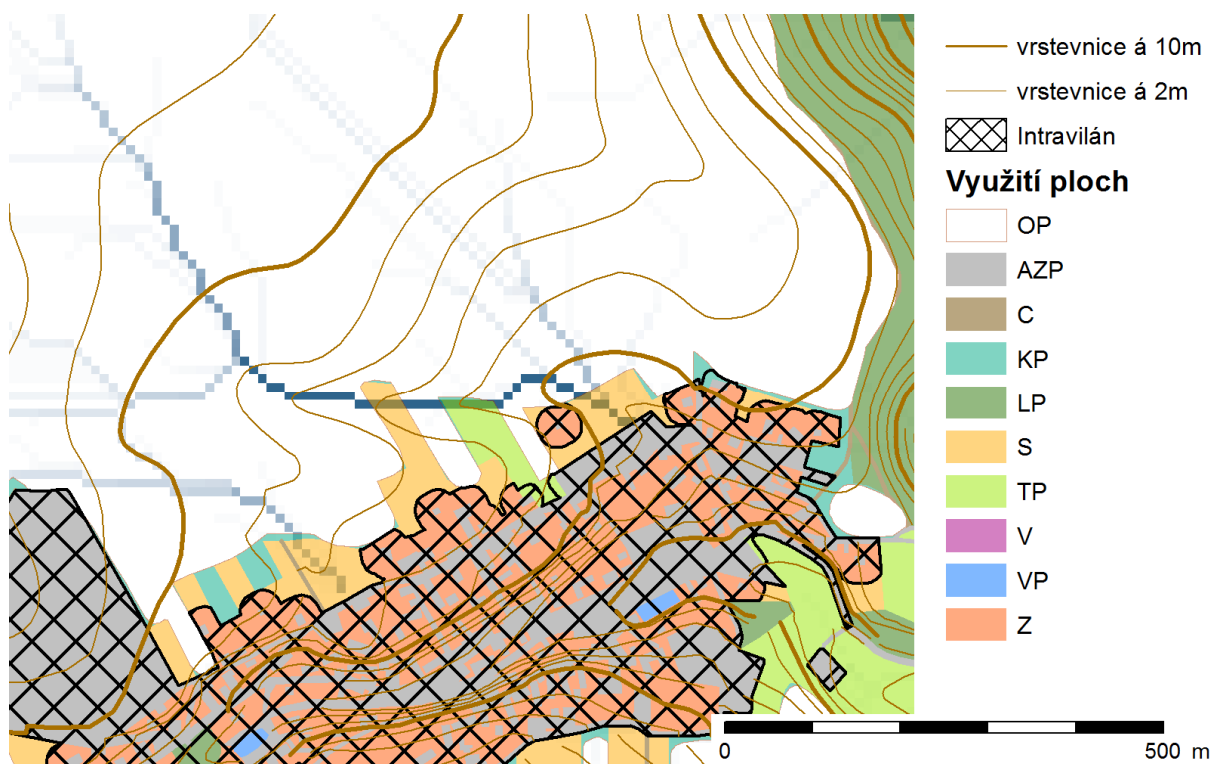
Kromě on-site efektů, způsobujících poškození ploch orné půdy, je hlavní hrozbou následného pohybu vodního proudu jeho interakce se sídelními objekty a infrastrukturou. Kde dojde ke vstupu povrchového odtoku do intravilánu, se tak stává důležitou otázkou pro kvantifikaci rizik a řešení opatření pro jejich snížení. Toto místo se logicky nachází na průsečíku dráhy povrchového odtoku a hranice intravilánu – zastavěného území sídla. Tato problematika byla součástí řešení projektu VG 20122015092 – „Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu“. Během řešení projektu byla využita právě volitelná výstupní vrstva představeného nástroje pro přípravu mapy využití ploch.

Na Obr. 10-20 je uvedena ukázka akumulace povrchového odtoku v případě definice intravilánových ploch pouze za použití neupravených objektů ZABAGED®. Vzhledem k tomu že většina intravilánových ploch je zahrnuta v objektu **OvocnySadZahrada** byl tento považován za součást intravilánu. Je patrné, že po obvodu obce jsou tradiční maloplošné hospodářské plochy vybíhající směrem do zemědělské krajiny, povětšinou tvořené extenzivními plochami sadů a užitkových zahrad, jejichž zranitelnost intenzivním povrchovým odtokem je velmi nízká.

Na Obr. 10-21 je vyobrazena stejná situace pro dataset využití ploch a definici intravilánu získané z automatického nástroje. Je zřejmá změna lokalizace bodu, kde koncentrovaný povrchový odtok vstupuje do zastavěného území a zároveň výrazný nárůst celkové přispívající plochy k tomuto bodu. Dochází tak k lepší lokalizaci potenciálně ohroženého místa a lepšímu odhadu úrovně ohrožení v tomto místě.



Obr. 10-20: Koncentrace povrchového odtoku pokud je objekt OvocnySadZahrada uvažován jako plocha přerušující odtok (obec Chlístovice)



Obr. 10-21: Koncentrace povrchového odtoku při oddělení sadů a zahrad a uvažování sadů jako ploch, které povrchový odtok nepřerušují (obec Chlístovice)

11 Závěr

Představený automatizovaný geoprocessingový nástroj pro vytvoření definice ploch podle způsobu jejich užívání přináší výhodu pro distribuované erozní modelování hlavně v úspoře času nutného na přípravu vstupních dat. Ukázaly se hlavní rozdíly mezi jednotlivými přístupy ve vytváření vrstvy využití území. Automatizovaný algoritmus zahrnující pouze geometrické a logické operace se vstupními vektorovými daty není schopen zachytit faktickou spojitost/rozdílnost sousedních ploch a případně je agregovat/rozdělit. Začlenění takovýchto rozhodovacích mechanismů do počítačového algoritmu by bylo velmi složité a neobešlo by se bez pokročilých obrazových analýz na hranici computer vision. Nicméně v daných omezeních však výstupy představeného nástroje velmi uspokojivě vystihují prostorové členění krajiny na jednotlivé definované kategorie.

Celková úroveň shody pro všechny kategorie využití ploch činí 84% respektive 91% pro zemědělské kategorie. Pro ornou půdu, tedy plochy s největším rizikem ztráty půdy, je shoda v polohovém určení 95% a jsou velmi dobře definovány prvky ovlivňující odtok, které nejsou přítomné ani v jednom ze vstupních datových zdrojů. Kromě pozemních komunikací tvoří liniové proluky mezi půdními bloky LPIS i další krajinné prvky, které jsou v ZABAGED® vedeny jako „ostatní neurčené plochy“ v jednom objektu společně s ornou půdou. Vegetační pásy, remízy, meze, příkopy a další podobné prvky, které mohou výrazně ovlivňovat povrchový odtok, se díky „nepřítomnosti“ v definici pozemků LPIS dostávají do výsledné vrstvy využití území (srovnej Obr. 10-17 a Obr. 10-18) a jejich vliv tak může být zahrnut ve výsledcích matematických modelů.

Nejistoty při manuální digitalizaci validačního datasetu se nutně projeví jako chyby při srovnání s jiným datasetem využití ploch, které je prováděno za účelem ověření správnosti definice. Bohužel jiný datový zdroj pro získání velkoplošné definice využití území v odpovídající přesnosti není dostupný a tak byla varianta manuálně digitalizovaného validačního datasetu zvolena jako nejlepší možná.

Na validačním území Botič se ukázala důležitost prozkoumání vstupního datasetu LPIS a kontrola zastoupení pozemků, která může napomoci k volbě nejvhodnější kombinace nastavení spuštění nástroje. Volbou vhodných nastavení lze výslednou shodu automaticky generované mapy využití ploch s reálnou situací v území výrazně zlepšit nebo naopak zhoršit. Díky krátkému času potřebnému pro spuštění nástroje, je poměrně snadné opakovaným spouštěním s různým nastavením nalézt optimální nastavení pro konkrétní území. Byla snaha do vstupních nastavení zahrnout co nejvíce možností výběru, které se obvykle vyskytují při

přípravě dat pro sestavení erozního modelu a tím poskytnout možnost přizpůsobit výstup potřebám konkrétní modelovací úlohy a specifikům řešeného území.

Celkově je na výsledku validace znát rozdíl v čase, který porovnávané datasety zachycují. Vstupní datasety použité pro automatizované odvození využití území jsou o několik let novější než situace zachycená na manuálně vektorizovaném datasetu. V příměstském povodí Botič, probíhá stavební rozvoj sídel, který má značný dopad na shodu v definici ploch porovnávaných datasetů. To však nelze považovat za chybu v nástroji, jen to zdůrazňuje nutnost použití aktuálních datových vstupů a potřebu použít jednotlivé vstupy ze stejného časového období.

Automatizovaně vytvořená vrstva je značně přesnější v detailním prostorovém určení průběhu hranic, zejména pozemků orné půdy. Dále pak tento nástroj dává značně podrobnější definici ploch v okolí komunikací, než jaké by bylo možné dosáhnout manuální digitalizací pro běžné úlohy erozního modelování. Výstupy z nástroje lze považovat za přesnější i z pohledu samotné geometrické přesnosti zákresu hranic ploch, protože datasety, které do nástroje vstupují, jsou dlouhodobě aktualizovány a doplňovány. Způsob, jakým je databáze LPIS plněna daty a udržována aktuální, distribuuje množství práce mezi velké množství uživatelů, kde každý z nich má zodpovědnost pouze za území, které je mu známé. Tento přístup má samozřejmě slabiny s ohledem na kvalitu zpracování a metodickou jednotnost jednotlivých uživatelů. Rizika nekvalitní digitalizace jsou ale do jisté míry eliminována správcem LPIS, který provádí kontrolu zákresu dílů půdních bloků navrženou uživateli. Geometrická přesnost pro zemědělské pozemky je tak výrazně vyšší, ale i tak lze v LPIS nalézt chyby a nedostatky ve faktické a geometrické definici. Pozemky orné půdy, které nejsou vedeny v LPIS výrazně ovlivňují výsledek.

Při podrobné analýze výstupů z nástroje se ukázaly další možné chyby a nesoulady datasetů použitých při vytváření zdrojové vrstvy. Zejména se jedná o nesoulady určení kultur v databázi LPIS a ZABAGED. Dále se ukázal význam co nejhodnějšího časové určení zdrojových datasetů. Případný časový posun se projevuje hlavně v liniových stavbách dopravní infrastruktury a rozrůstání intravilánu. Při použití výrazně odlišně datovaných zdrojů tak může být odvozená vrstva využití ploch nevhodná až nepoužitelná.

Značná část nesouladů v extrivilánových kategoriích je způsobena záměnou kategorií blízkých ve svých vlastnostech tedy dvojicích Lesní porosty-Křovinaté porosty, Křovinaté porosty-Travní porosty, Sady-Křovinaté porosty apod. a výrazně méně jsou zastoupeny nesoulady mezi kategoriemi s výrazně odlišnými vlastnostmi např. Sady-Travní porosty. Dopad záměny v blízkých kategoriích nemá tak výrazné dopady na výsledky erozního

modelování jako záměny ve více odlišných kategoriích, kterých se však vyskytuje výrazně méně.

Aktuálnost LPIS umožňuje částečně kompenzovat nesoulad ZABAGED® s realitou způsobený časovým vývojem. Vyšší prostorová přesnost LPIS výrazně zvyšuje shodu vytvořené definice s realitou v extravilánu, tedy tu část krajinné matrice, která má významný vliv na tvorbu povrchového odtoku. Díky geodatabázi LPIS jsou do výsledné vrstvy zaneseny i prvky významné pro povrchový odtok jako jsou příkopy, meze a remízy, které jsou pod rozlišovací schopností mapového díla ZABAGED. Krajinné prvky, které se nevyskytují ani v jednom ze vstupních datových podkladů, jsou ve výstupu z nástroje velmi dobře a poměrně spolehlivě definovány. Celkově mají výstupy z představeného automatizovaného nástroje velmi dobrou shodu s realitou (s leteckým snímkem) a obsahují mnoho prvků, které neobsahuje ani jeden ze zdrojových datasetů.

Výsledný dataset využití území je vhodný pro odvozování vstupních vrstev charakteru ploch jak pro empirické, tak pro fyzikální modely. Pro pozemky orné půdy může obsahovat informaci o konkrétní pěstované plodině pro epizodní modely stejně jako určení osevního cyklu pro dlouhodobé empirické modely. Tím, že je výstupní dataset vytvořen jako polygonová vektorová definice, je snadné její další zpracování a doplňování informací specifických pro konkrétní model nebo řešenou úlohu. Zároveň je velmi snadná případná kombinace s dalšími vektorovými datasety, například definicí půdních vlastností, pro vytváření datasetů obsahujících souhrnné informace o řešeném území a umožňují finální konverzi do libovolného formátu pro použití v široké škále erozních modelů a měřítek.

12 Použitá literatura

- ArcČR, ARCDATA Praha, ZÚ, a ČSÚ. 2014. „ArcČR 500 - Digitální geografická databáze 1 : 500 000 (verze 3.2)". Praha.
- ARS. 1975. „Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources". *Agricultural Research Service ARS, US Department of Agriculture. S-40*, 298. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- Brázdil, Karel. 2016a. „Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G)". Praha.
- . 2016b. „Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)".
- Costa-Cabral, Mariza C., a Stephen J. Burges. 1994. „Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas". *Water Resources Research* 30 (6):1681–92.
- Couclelis, Helen. 1996. „Towards an operational typology of geographical entities with ill-defined boundaries". In *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, editoval P.A. Burrough a A.U. Frank, 45–56. Bristol: Taylor & Francis.
- Český úřad zeměměřický a katastrální. 2013a. „Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)". 2013. [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(doavnzeolmod2hyfgtvlega0\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=301](http://geoportal.cuzk.cz/(S(doavnzeolmod2hyfgtvlega0))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=301).
- . 2013b. „Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)". 2013. [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(doavnzeolmod2hyfgtvlega0\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](http://geoportal.cuzk.cz/(S(doavnzeolmod2hyfgtvlega0))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302).
- Devátý, Jan, a Peter Strauss. 2013. „BoBB, software to assess soil erosion risk – introduction of the tool and its use to evaluate appropriate crops and farming practices on endangered field plots". In *European Geoscience Union General Assembly 2013*. Wien.
- Flanagan, D C, a S J Livingston. 1995. „WEPP user summary".
- Gallant, John C. 2011. „Adaptive Smoothing for Noisy DEMs". *Geomorphometry*, 37–40.
- Gold, Christopher. 2005. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203357132>.
- Goodchild, Michael F., May Yuan, a Thomas J. Cova. 2007. „Towards a general theory of geographic representation in GIS". *International Journal of Geographical Information Science* 21 (3):239–60. <https://doi.org/10.1080/13658810600965271>.
- Grazzini, Jacopo, a Nektarios Chrysoulakis. 2005. „Extraction of Surface Properties from a

- High Accuracy DEM Using Multiscale Remote Sensing Techniques". In *Informatics for Environmental Protection - Networking Environmental Information*, 352–56. Brno: Masaryk University Brno.
- Grohmann, Carlos Henrique, Mike J. Smith, a Claudio Riccomini. 2011. „Multiscale analysis of topographic surface roughness in the Midland Valley, Scotland". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 49 (4):1200–1213. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2053546>.
- Hengl, Tomislav. 2009. *A Practical guide to Geostatistical Mapping. Scientific and Technical Research series*. [https://doi.org/10.1016/0277-9390\(86\)90082-8](https://doi.org/10.1016/0277-9390(86)90082-8).
- Isenburg, Martin, Yuanxin Liu, Jonathan Richard Shewchuk, Jack Snoeyink, a Tim Thirion. 2006. „Generating Raster DEM from Mass Points Via TIN Streaming". *Geographic Information Science---GIScience 2006* 4197:186–98.
- Janeček, Miloslav, Tomáš Dostál, Jana Kozlovsky-Dufková, Miroslav Dumbrovský, Josef Hůla, Václav Kadlec, Jana Konečná, et al. 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 2nd vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta životního prostředí.
- Jetten, Victor, Gerard Govers, a Rudi Hessel. 2003. „Erosion models: Quality of spatial predictions". *Hydrological Processes* 17 (5):887–900. <https://doi.org/10.1002/hyp.1168>.
- Kavka, Petr, a Jan Zajíček. 2013. „Soil Erosion Model Smoderp - 1D and 2D Modelling". In . <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BB2.V1/S11.037>.
- Kienzle, Stefan. 2004. „The Effect of DEM Raster Resolution on First Order, Second Order and Compound Terrain Derivatives". *Transactions in GIS* 8 (1):83–111. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2004.00169.x>.
- Ministerstvo zemědělství ČR. 2017a. „O aplikaci Registr půdy". 2017. <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/>.
- . 2017b. „Uživatelská dokumentace pLPIS - Veřejný Registr půdy Ministerstvo zemědělství České republiky". Praha.
- . 2017c. „Uživatelská příručka iLPIS". Praha.
- . 2017d. „Veřejný export dat LPIS". 2017. <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/uzivatelske-prirucky/prirucky-pro-verejny-lpis/export-dat-lpis.html>.
- Moore, I D, R B Grayson, a A R Ladson. 1991. „Digital terrain modelling: a review of hidrological, geomorphological, and biological applications". *Hydrological Processes* 5 (September 1990):3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>.
- O'Callaghan, John F., a David M. Mark. 1984. „The extraction of Drainage Networks from

- Digital Elevation Data". *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 28:323–44. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050107>.
- Oost, Kristof Van, Gerard Govers, a Phillipe Desmet. 2000. „Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage". *Landscape Ecology* 15 (6):577–89. <https://doi.org/10.1023/A:1008198215674>.
- Peuquet, Donna J. 1988. „Representations of Geographic Space: Toward a Conceptual Synthesis". *Annals of the Association of American Geographers* 78 (3):375–94. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1988.tb00214.x>.
- Pike, R.J. 2000. „Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis". *Progress in Physical Geography* 24 (1):1–20. <https://doi.org/10.1191/030913300674449511>.
- Pike, Richard J., Ian S. Evans, a Tomislav Hengl. 2009. „Geomorphometry: A brief guide". In *Geomorphometry: concepts, software, applications*, editoval Tomislav Hengl a Hannes I. Reuter, 33:3–30. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00001-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00001-9).
- Pinheiro, E. F.M., M. G. Pereira, a L. H.C. Anjos. 2004. „Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil". *Soil and Tillage Research* 77 (1):79–84. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.11.005>.
- Pressová, Jana. 2015. „Katalog objektů ZABAGED 2015".
- . 2016. „Katalog objektů ZABAGED 2016". Praha.
- Quattrochi, D.A., a M.F. Goodchild. 1997. *Scale in Remote Sensing and GIS*. CRC Press.
- Quinn, P, a O Planchon. 1991. „The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models". *Hydrological Processes* 5 (1):59–79. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050106>.
- Renard, K. G., G. A. Foster, D. K. Weesies, McCool, a D. C. Yoder. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture.
- Rompae, Anton J. J. Van, Gert Verstraeten, Kristof Van Oost, Gerard Govers, a Jean Poesen. 2001. „Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach". *Earth Surface Processes and Landforms* 26 (11):1221–36. <https://doi.org/10.1002/esp.275>.
- Seibert, Jan, a Brian L. McGlynn. 2007. „A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models". *Water Resources Research* 43 (4):1–8. <https://doi.org/10.1029/2006WR005128>.
- Shary, Peter A. 2006. „Unsolved tasks of geomorphometry". *International Symposium on Terrain Analysis and Digital Terrain Mapping*, č. 1827:1–9.
- Shary, Peter A., Larisa S. Sharaya, a Andrew V. Mitusov. 2002. „Fundamental quantitative

- methods of land surface analysis". *Geoderma* 107:1–32. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00136-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00136-7).
- Shortridge, Ashton M, a Keith C Clarke. 1999. „On Some Limitations of Square Raster Cell Structures for Digital Elevation Data Modeling". *Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources*, 1–13.
- Sørensen, R., U. Zinko, a Jan Seibert. 2006. „On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations". *Hydrology and Earth System Sciences* 10 (1):101–12. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>.
- Šíma, Jiří. 2016. „Základní báze geografických dat (ZABAGED®) – dílo jedné generace českých zeměměřičů". *Geodetický a kartografický obzor* 62 (4):73–84.
- Takken, I., L. Beuselinck, J. Nachtergaele, G. Govers, J. Poesen, a G. Degraer. 1999. „Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM)". *Catena* 37 (3–4):431–47. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00031-4).
- Tarboton, David G. 1997. „A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models". *Water Resources Research* 33 (2):309. <https://doi.org/10.1029/96WR03137>.
- Werner, Michael von. 1996. *Erosion-3D, User manual - Samples*.
- Wischmeier, W. H., a D. D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537*. United States Department of Agriculture. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>.
- Wu, Simon, Jonathan Li, a G. H. Huang. 2008. „Characterization and evaluation of elevation data uncertainty in water resources modeling with GIS". *Water Resources Management* 22 (8):959–72. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9204-x>.
- Zhou, Qiming, Petter Pilesjö, a Yumin Chen. 2011. „Estimating surface flow paths on a digital elevation model using a triangular facet network". *Water Resources Research* 47 (7):1–12. <https://doi.org/10.1029/2010WR009961>.

Použité zkratky

DPB	díl půdního bloku v evidenci LPIS
PB	půdní blok v evidenci LIS
GIS	geografický informační systém/ geografické informační systémy
iLPIS	neveřejná část LPIS – portál farmáře
LPIS	Centrální evidence zemědělské půdy podle užívacích vztahů (Land Parcel Identification System)
mUSLE	modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy
pLPIS	veřejná část LPIS – veřejný registr zemědělské půdy
USLE	univerzální rovnice ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation)
RUSLE	revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy
MUSLE	modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
EVP	ekologicky významný prvek
XML	„extendable markup language“, formát souboru pro strukturovaný záznam textových informací
MŠMT	Ministerstvo školství a tělovýchovy České republiky
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky
AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
ČSÚ	Český statistický
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
TIN	triangulated iredular network (nepravidelná trojúhelníková síť) – způsob reprezentace výškových dat
TFN	triangular facet network (síť trojúhelníkových plošek) – způsob výpočtu směrování odtoku na rastrové reprezentaci terénu
DEM	digital elevation model – digitální model výšek
DTM	digital terrrain moden – digitální model terénu
DSM	digital surface model – digitální model povrchu

Seznam tabulek

Tab. 5-1: způsoby měření nadmožské výšky terénu a jejich charakteristické vlastnosti	29
Tab. 6-1: Kategorie využití LPIS dle (Ministerstvo zemědělství ČR 2017b).....	42
Tab. 7-1: Definice výstupních kategorií využití ploch	51
Tab. 7-2: Rozřazení zdrojových objektů do cílových kategorií využití ploch	52
Tab. 7-3: Rozřazení kategorií objektu ArealUceloveZastavby	53
Tab. 7-4: Vzdálenost rozšíření pro jednotlivé typy liniových prvků.....	62
Tab. 8-1: Zastoupení kategorií využití ploch v území Kolín.....	80
Tab. 8-2: Zastoupení kategorií využití ploch v území Botič.....	80
Tab. 9-1: Zastoupení kategorií využití ploch – území Botič.....	81
Tab. 9-2: Zastoupení kategorií využití ploch – území Kolín	81
Tab. 9-3: Celková rozloha jednotlivých kombinací zatřídění v hektarech	84
Tab. 9-4: Podíl jednotlivých kombinací zatřídění ploch vůči celkové rozloze validačních území.....	84
Tab. 9-5: Podíl zatřídění ploch ve výstupu nástroje vůči ploše dané kategorie ve validačním datasetu	84
Tab. 9-6: Celkové zastoupení rozlohy shodně a odlišně zatříděných ploch	85
Tab. 9-7: Podíl cílových kategorií u odlišně zatříděných ploch vůči celkové rozloze odlišně zatříděných v dané kategorii validačního datasetu	85
Tab. 9-8: Průměrná výměra prvku pro jednotlivé kombinace odlišně zatříděných ploch v hektarech	86
Tab. 9-9: Medián výměry prvku pro jednotlivé kombinace odlišně zatříděných ploch v hektarech	87

Seznam obrázků

Obr. 6-1: Dokumentace nedostatků ZABAGED na podkladě leteckého snímku	39
Obr. 6-2: Porovnání geometrické přesnosti LPIS a ZABAGED.....	42
Obr. 6-3: Porovnání geometrického zákresu datasetu LPIS a mapového díla ZABAGED@	43
Obr. 7-1: Struktura balíčku nástrojů pro pre- a post-processing v úlohách erozního modelování	48
Obr. 7-2: Uživatelské grafické rozhraní nástroje pro vytváření datasetu využití území	55
Obr. 7-3: Výskyt pozemku LPIS na objektu ZABAGED ArealUceloveZastavby	59
Obr. 7-4: Výskyt pozemku LPIS na objektu ZABAGED VodniPlocha (legenda na Obr. 7-3)	60
Obr. 7-5: Ukázka vedení liniových objektů ZABAGED	61
Obr. 7-6: Schéma procesu pro vytvoření hranice zahrady.....	64
Obr. 7-7: Schéma procesu finalizace zahrad a sadů	64
Obr. 7-8: Přehled nejvýznamnějších kalibračních území	68
Obr. 7-9: Uživatelské rozhraní pro hromadné stažení datasetů LPIS	70
Obr. 7-10: Uživatelské rozhraní pro získání seznamu uživatelů zemědělských pozemků	71
Obr. 8-1: Ukázka validačního datasetu před doplněním budov (území Kolín, Nebovidy).....	75
Obr. 8-2: Ukázka validačního datasetu po doplnění budov (území Kolín, Nebovidy).....	76
Obr. 8-3: Umístění validačních území v rámci ČR	77
Obr. 8-4: Situace validačního území Kolín	78
Obr. 8-5: Situace validačního území Botič	79
Obr. 9-1: Výstup nástroje zachycující vinice v území Kolín, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK	82
Obr. 9-2 – Ukázka prolnutí výstupu nástroje s validačním datasetem	83
Obr. 9-3: Příklad ploch kategorie AZP zařazených do kategorie Z (zvýrazněny černě)	89
Obr. 9-4: Příklad ploch chybně zařazených ploch kategorie C (zvýrazněny černě).....	89
Obr. 10-1: Ukázka zatřídění ploch do kategorie TP v rozporu s validačním datasetem (zvýrazněny černě) na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK.....	100
Obr. 10-2: Ukázka ploch orné půdy nesprávně zatříděných jako Křovinatý porost (zvýrazněny červeně), v levé části pozemek nevedený v LPIS, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK	101
Obr. 10-3: Ukázka výstupu nástroje překrytá objektem OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy	102
Obr. 10-4: Ukázka nesouladů mezi plochami orná půda a křovinaté porosty.....	103
Obr. 10-5: Příklad ploch kategorie AZP zařazených do kategorie KP (zvýrazněny černě).....	104
Obr. 10-6: Prvky objektu OstatniPlochaVSidlech (zvýrazněny černě) v intravilánu, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK	105
Obr. 10-7: Příklad ploch kategorie AZP zařazených do kategorie KP (zvýrazněny černě).....	106
Obr. 10-8: Ukázka chyb automatické kategorizace ploch silničních komunikací	106
Obr. 10-9 – Ukázka automatizovaně vytvořené definice zpevněných ploch pozemních komunikací a doprovodné zeleně (Kolín), na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK	107
Obr. 10-10: Ukázka chybné definice ploch cest díky nesouladu mezi geometrickou definicí LPIS a ZABAGED (pozemky LPIS bílou šrafou)	108
Obr. 10-11 – Ukázka oddělení sadů a zahrad.....	109
Obr. 10-12: Ukázka oddělení sadů a zahrad, zobrazeny pouze odlišně zatříděné kategorie, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK.....	110

Obr. 10-13: Ukázka oddělení sadů a zahrad, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK.....	110
Obr. 10-14: Ukázka oddělení sadů a zahrad, na podkladu ortofoto snímku ©ČÚZK.....	111
Obr. 10-15: Příklad ploch kategorie KP automatizovaně zařazených do OP – zvýrazněny červeně	113
Obr. 10-16: Příklad ploch kategorie KP automatizovaně zařazených do LP – zvýrazněny černě	113
Obr. 10-17: Letecký snímek území překrytý vybranými objekty ZABAGED	114
Obr. 10-18: Výsledná definice využití území při použití nástroje.....	115
Obr. 10-19: Neexistující vodní plochy přítomné v ZABAGED@.....	115
Obr. 10-20: Koncentrace povrchového odtoku pokud je objekt OvocnySadZahrada uvažován jako plocha přerušující odtok (obec Chlístovice)	117
Obr. 10-21: Koncentrace povrchového odtoku při oddělení sadů a zahrad a uvažování sadů jako ploch, které povrchový odtok nepřerušují (obec Chlístovice).....	117

Seznam příloh

Příloha 1 - Automaticky generovaný dataset využití ploch – území Botič, M 1:10 000

Příloha 2 - Automaticky generovaný dataset využití ploch – území Kolín, M 1:10 000

Příloha 3 - Překryv validačního a automaticky generovaného datasetu využití ploch – území Botič, M 1:10 000

Příloha 4 - Překryv validačního a automaticky generovaného datasetu využití ploch – území Kolín, M 1:10 000