

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**SROVNÁNÍ RŮZNÝCH PŘÍSTUPŮ
K MODELOVÁNÍ VODNÍ RETENCE LESA**

Bakalářská práce

Heřman ŠNEVAJS

Vedoucí práce doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

Olomouc 2019

Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Práce srovnává vybrané přístupy k modelování vodní retence lesních porostů. Srovnávanými přístupy jsou:

1. standardní metodika CN křivek (včetně zpřesnění aktuální hodnoty počátečních ztrát),
2. metodika VÚMOP modifikující hydrologické skupiny půd dle vlastní klasifikace (včetně mapy infiltračních schopností půd),
3. metodika ÚHÚL podle dodaných dat CN křivek a podle vlastního výpočtu,
4. vlastní přístup využívající indexy z dálkového průzkumu země družice Sentinel-2.

Vypočtené hodnoty jsou vzájemně porovnány z hlediska přesnosti, dostupnosti dat a náročnosti postupu zpracování.

KLÍČOVÁ SLOVA

retence lesa; CN křivka; přímý odtok; vlhkost půdy

Počet stran práce: 76

Počet příloh: 18 (z toho 2 volné a 16 vázaných)

ANOTATION

This bachelor thesis compares selected approaches for modeling water retention in forests. The selected approaches are:

1. The Soil Conservation Service curve number methodology (including improved actual initial abstraction),
2. The Methodology of VUMOP modifying hydrologic soil classes according to own classification (including the map of the soil infiltration capacity),
3. The Methodology of UHUL used in provided data of CN and own calculations
4. Own approach using indeces derived from remote sensing of Sentinel-2 satellite.

The calculations are compared in term of accuracy, data availability and processing demands.

KEYWORDS

water retention of forests; CN; surface runoff; soil moisture

Number of pages: 76

Number of appendixes: 18

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Heřman Šnevajs

Hluboký dík patří mé rodině – v čele s rodiči a manželkou – s jejichž materiální, duševní i duchovní pomocí tato práce vznikla. Za vedení a směřování děkuji doc. RNDr. Vilému Pechancovi, Ph.D.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Heřman ŠNEVAJS**
Osobní číslo: **R16411**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **SROVNÁNÍ RŮZNÝCH PŘÍSTUPŮ K MODELOVÁNÍ
VODNÍ RETENCE LESA**
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je v zájmovém území (povodí Dřevnice) aplikovat několik přístupů k modelování vodní retence lesních porostů. Všechny přístupy budou pracovat s prostorovou heterogenitou území. Testované přístupy se liší především použitými geodaty a metodami jejich dalšího zpracování. Testovanými přístupy budou 1) geodata a metodiky UHUL, 2) geodata a metodiky VUMOP, 3) data a metody DPZ podle projektu GMES/Copernicus. Snahou bude rovněž adaptovat i prostorově orientované hydro-pedologické nástroje. Dosažené výsledky budou vzájemně porovnány a bude identifikována nejpřesnější a nejvhodnější metoda, kterou je možno aplikovat na kterémkoliv místě ČR a to na základě vyhodnocení dostupnosti dat, jejich měřítka a režimu aktualizace, dostupnost znalostí základny.

Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

Water-retention potential of Europe's forests. A European overview to support natural water-retention measures.

<https://www.eea.europa.eu/publications/water-retention-potential-of-forests/>

Pechanec, V. (2006): Nástroje podpory rozhodování v GIS.

Teepe, R., Dilling, H., Beese, F. (2003): Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density.

<https://doi.org/10.1002/jpln.200390001>

Metodiky a dokumenty UHUL <http://www.uhul.cz>

Metodiky a dokumenty VUMOP, v. v.i <http://www.vumop.cz>

program GMES/Copernicus <https://land.copernicus.eu/>
indexované databáze

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **11. května 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2019**

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOINFORMATIKY
17. listopadu 30, 771 46 Olomouc

prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 15. května 2018

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 CÍLE PRÁCE	12
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	13
2.1 Metody	13
2.2 Použitá data	14
2.3 Postup zpracování	16
2.4 Použité programy	16
2.5 Zájmové území	17
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	21
3.1 Pojmy	21
3.2 Retence lesa	25
3.3 Měření retence	27
3.3.1 Infiltrometry	27
3.3.2 Datový přístup	29
3.3.3 Dálkové snímání	29
3.4 Standardní metoda CN křivek	32
3.5 Zpřesnění metodiky ve světě	34
3.5.1 Aktuální hodnota CN	34
3.5.2 Aktuální hodnota počátečních ztrát	35
3.5.3 Koeficient počátečních ztrát	35
3.6 Modifikace v ČR	36
3.6.1 Modifikace VÚMOP	36
3.6.2 Modifikace ÚHÚL	37
3.7 Téma vodní retence v ČR	39
3.7.1 Vodní retence na Univerzitě Palackého v Olomouci	40
4 STANDARDNÍ METODA CN KŘIVEK	42
4.1 Teorie	42
4.1.1 Standardní metoda CN křivek	42
4.1.2 Zpřesnění počátečních ztrát	42
4.2 Data	42
4.3 Postup	42
4.3.1 Standardní metoda CN křivek	42
4.3.2 Zpřesnění aktuální hodnoty počátečních ztrát	44
4.4 Výsledek	45
5 METODIKA VÝZKUMNÉHO ÚSTAVU MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, V.V.I.	55
5.1 Teorie	55
5.2 Data	55
5.3 Postup	56
5.3.1 Alternativní klasifikace hlavních půdních jednotek	56
5.3.2 Mapa hydrologických skupin půd	56

5.4	Výstup	56
6	METODIKA ÚSTAVU PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ	59
6.1	Teorie.....	59
6.2	Data.....	59
6.3	Postup	59
6.4	Výstup	60
7	DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ	63
7.1	Teorie.....	63
7.2	Data.....	64
7.3	Postup	64
7.3.1	NDMI.....	65
7.3.2	Wetness index	65
7.3.3	NMDI.....	66
7.4	Výstup	66
8	VÝSLEDKY	71
9	DISKUZE	75
10	ZÁVĚR.....	76
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
	PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
AMC	Antecedent Moisture Condition (předchozí vláhové podmínky)
BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
CLC	Corine Land Cover
CN	Curve Number (číslo odtokové křivky)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	Česká technická norma
DPZ	Dálkový průzkum země
EEA	European Environment Agency
EM	Elektromagnetický
ESA	European Space Agency
ESRI	Environmental System Research Institute
GIS	Geografický informační systém
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
HPJ	Hlavní půdní jednotka
HSP	Hydrologická skupina půd
ISP	Infiltrační skupina půd
MSI	Multi Spectral Instrument
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NMDI	Normalized Multi-band Drought Index
OPRL	Oblastní plán rozvoje lesů
SAR	Synthetic Aperture Radar
SCS	Soil Conservation Service
SLT	Soubor lesních typů
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
ZABAGED	Základní báze geografických dat

ÚVOD

„Kde se nedostává vody, tam se nedostává života“ (Rejšek a Vácha, 2018).

Téma dostatku vody je aktuálním tématem, které se osobně dotýká čím dál tím více lidí. Skloňuje se ve všech pádech, množí se předpovědi prezentující vodu jako surovinu budoucnosti. Ať už kvůli jejímu nadbytku v oceánech mající za příčinu zvedání hladiny nebo pro její nedostatek v obživu zajišťujícím průmyslu či elementární fyziologickou potřebu. Oba extrémy mohou ústít ve vážné ohrožení společnosti. Přesněji řečeno, nejde o vodu samotnou – ta nikam nezmizí, ale o její vhodné rozmístění nebo chceme-li retenci.

Latinské *teneo*, ze kterého je slovo retence odvozeno znamená *držím*. Smyslem retence tedy není nechat vodu zmizet, ale aby ji půda byla schopna zadržet. Jedině tak může být do krajiny uvolňována postupně, aby jí nebylo ani příliš moc ani málo.

Je-li retence schopnost zadržení v místě potřeby, pak v případě České republiky tento jev umocňuje fakt, že na její území žádný veletok nepřitéká, a proto je zcela odkázána na zadržení vody ve formě srážek. Už i laická veřejnost se čím dál častěji z médií dovídá o mnoha místech republiky, kde jsou vyčerpány podzemní zásoby vody, že na čím dál více místech vede sucho k neúrodě, nedostatku krmiva pro dobytek, zhoršení zdravotního stavu lesů, a dokonce k omezení vodních zdrojů pro postižené obyvatele. Všechny tyto fakty volají po podrobnějším studiu vodní retence a metod jejího výpočtu.

V opozici k pomalu zničujícím účinkům sucha stojí neméně nebezpečná okamžitá hrozba povodní. Osobní zkušenost s touto přírodní katastrofou má v živé paměti většina obyvatel republiky. Ze skutečnosti, že základ povodní se nachází v horských oblastech vycházel Švihla a kol. (2006), když za rozhodující faktor účinků povodní určili úlohu lesů. Jako hlavní regulátor odtoku vody určil retenční vodní kapacitu lesních půd.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je aplikovat různé přístupy k modelování vodní retence lesních porostů v zájmovém území (povodí Dřevnice). Výstupem práce je srovnání testovaných přístupů pro výpočet vodní retence lesa. Přístupy se liší v použitých vstupních datech a v metodách dalšího zpracování. Testovanými přístupy jsou: 1) Standardní metoda CN křivek podle platné metodiky pro aplikaci normy Protierozní ochrana zemědělské půdy ČSN 754500, 1996; 2) geodata a metodiky ÚHUL; 3) geodata a metodika VÚMOP; 4) data a metody DPZ. Přístupy jsou jednotlivě testovány pro povodí Dřevnice a vypočtený přímý odtok je pro různé metody porovnán. Je určena nejpřesnější a nejvhodnější metoda z hlediska dostupnosti dat, jejich měřítka, režimu aktualizace, náročnosti procesu a dostupnosti znalostí základny.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

2.1 Metody

Při tvorbě bakalářské práce, byly uplatněny následující metody:

Metoda sběru informací a dat

Tématem bakalářské práce je odborné téma mající přesah do oblasti hydrologie a částečně i lesnictví, což nejsou nové vědní disciplíny a disponují proto již ustálenými termíny. K porozumění používaných pojmů ve srovnávaných metodikách bylo čerpáno zejména z diplomových prací vyhledaných přes systém Thesis (thesis.cz), případně internetových slovníků. Při tvorbě vlastního přístupu s využitím DPZ byla literatura omezena na zahraniční, která byla vyhledávána převážně prostřednictvím serveru ResearchGate (researchgate.net).

Z nastudování metodik vyplynula potřeba informací o území, které vstupují do procesu. Na základě přehledu o dostupných vrstvách a ze zkušenosti vedoucího práce byla volně poskytovaná data vyhledána. Zbytek dat, která nejsou volně ke stažení byl poskytnut vedoucím práce pro účely vypracování bakalářské práce.

Metody GIS

Množství geoinformatických metod bylo využito při zpracování a úpravách originálních dat do podoby, která byla data použitelná pro metodiky. I samotný proces metodik je založen na GIS metodách. Proces zpracování vyžadoval přiřazování atributů záznamům na základě kombinace různých vlastností. Konkrétně byly v programu ArcGIS Pro byly hojně využívány nástroje Intersect, Spatial Join a Raster Calculator a další. Při aplikování GIS přístupů bylo čerpáno z dokumentace k programu ArcGIS Pro, Komunitního Esri fóra GeoNET a knihy Geografické informační systémy (Longley a kol., 2016). Jak tvrdí Pechanec (2006), metody GIS jsou pro provádění analýz v krajině velmi efektivní pro svou rychlost a přesnost. Oceňuje na nich především přínos při tvorbě nových datových vrstev a možnosti modelování variant.

Kartografické metody

Teoretické znalosti pro tvorbu mapových výstupů byly čerpány z knihy Metody tematické kartografie (Voženilek a kol., 2011). Nejčastější vyjadřovací metodou, která se v práci objevuje, je areálová metoda.

Metoda komparace

Práce je založena na porovnání výstupů metodik, které shrnuje následující tabulka:

Tabulka 2.1 Seznam srovnávaných metod

Název metody	Autor	Rok vzniku
Standardní metoda CN křivek	Janeček a kol.	2002, rev. 2012
Metodika ÚHÚL	Macků J.	2001
Metodika VÚMOP	Novák P.	2012, rev. 2018
Vlastní přístup s využitím DPZ		

Standardní metoda CN křivek je veřejná. Další dvě metodiky byly poskytnuty vedoucím práce, který má s ústavu, jež je zaštiťují dlouholetou spoluprací. Vlastním přístupem se rozumí nastudování možnosti využití družicových dat pro určování vodní retence půdy a současně také shrnutí dosud provedeného využití dálkového průzkumu země k určení nebo zpřesnění čísel odtokových křivek pro les. Podrobněji je o metodách pojednáno v následující kapitole.

S využitím mapových výstupů je porovnáno prostorové rozložení CN hodnot. Grafem jsou porovnány celkové hodnoty objemu odtoku z povodí pro různé metodiky. Srovnání neprobíhá pouze na úrovni hodnot, ale metodiky jsou porovnány také na základě dostupnosti použitých dat a náročnosti procesu zpracování.

2.2 Použitá data

Volně dostupné vrstvy byly v aktuální podobě staženy z oficiálních zdrojů. Vrstvy, které autor poskytuje pouze k prohlížení nebo nejsou vůbec zveřejněny, byly pro účely bakalářské práce poskytnuty vedoucím práce, který se výzkumem v zájmovém území zabývá dlouhodobě.

Souhrn všech vrstev použitých ve zmíněných metodikách a základních informacích o nich udává následující seznam (Tabulka 2.2):

Tabulka 2.2 Seznam použitých datových zdrojů

Vrstva	Zdroj	Garant / autor	Měřítko	Klasifikace	Formát	Aktuální k	Poskytování
Land use	OpenStreetMaps	OSM přispěvatelé	1:2 116	Každému polygonu udělena tzv. feature	vektor	2017	Volně ke stažení
Hydrologické skupiny půd	Mapa hydrologických skupin půd	VÚMOP	1:5 000	4 skupiny A, B, C, D podle rychlosti infiltrace	vektor	2014	Zpoplatněno (20 Kč za 100 ha)
Hlavní půdní jednotky	Mapa hlavních půdních jednotek	VÚMOP	1:5 000	Klasifikační soustava bonitace – 78 HPJ	vektor	2014	Zpoplatněno (hodinová sazba)
Infiltrační schopnosti půd	Mapa infiltračních schopností půd	VÚMOP	1 x 1 km	Mapové půdní skupiny podle HPJ	raster	2017	Neveřejné
Land cover	Corine Land Cover (20b2)	EEA – Copernicus programme	1: 100 000	Land Cover Classification systém (44 tříd)	vektor	2018	Volně ke stažení
Věková třída lesních porostů	Lesní hospodářské osnovy – Porostní mapa	ÚHÚL	1:10 000	Věkové třídy – 1. věková třída – 1 až 20 let, 2. VT – 21 až 40 let	vektor	2017	Zpoplatněno (hodinová sazba)
Typologické jednotky pro soubor lesních typů	Oblastní plán rozvoje lesů – Lesnicko-typologická mapa	ÚHÚL	1:10 000	Typologický klasifikační systém ÚHÚL	vektor	2017	Zpoplatněno (hodinová sazba)
CN lesy	CN lesy	ÚHÚL	1:10 000	CN křivky	vektor	2017	Neveřejné
Spektrální odrazivosti	Snímek Sentinel 2	European Space Agency	10-60 m / pixel	12 spektrálních pásem	raster	18.4.2019	Volně dostupné
Ortofoto	World Imagery	Digital Globe	1 m / pixel		raster	2012	Volně k prohlížení
Povodí Dřevnice	Hydrologické členění – povodí IV. řádu	DIBAVOD	1:10 000		vektor		Volně ke stažení

2.3 Postup zpracování

Obecný postup aplikovaný na všechny srovnávané přístupy znázorňuje následující schéma:



Obrázek 2.1 Obecný přístup ke srovnávaným metodikám

Zpracování každé metodiky vždy začínalo nastudováním jejího textu a pochopením jejího přístupu k retenci vody. V případě DPZ metody se pod pojmem teorie myslí rešerše dosavadních DPZ přístupů k vodní retenci v krajině, zejména v lese.

Z pochopení metodiky vzešel seznam potřebných dat, aby po jejich shromáždění mohlo následovat zpracování. Pro první tři postupy, s již jasně definovanou metodikou lze postup zpracování konkretizovat následujícím schématem:



Obrázek 2.2 Schéma postupu pro metodiky

Výchozí vrstvy vstupují do procesu zpracování podle metodiky. Při zpracování se využívají analytické operace jako slučování, kombinace vrstev, převody atributů podle tabulek. Výstupem těchto operací je pro každou metodiku jediná vrstva s čísly odtokových křivek. Každé číslo odtokové křivky může být pro navrženou dešťovou srážku na základě později uvedených matematických vztahů (vztah 3.3 a 3.4) převedeno na výšku, potažmo objem odtoku. Hodnota návrhové srážky může být zvolena jakákoliv. Na základě již provedených výzkumů v oblasti vodní retence půdy byly převzaty úhrny dešťů 4 mm a 15 mm za 24 hodin reprezentující lehký a silný déšť. Pro zřetelnější odlišení postupů a z důvodu stále častějších silnějších výkyvů počasí byla přidána i extrémní návrhová srážka 50 mm. Součty objemů odtoku za celé vrstvy jsou mezi sebou porovnány.

2.4 Použité programy

Všecké geoinformatické analýzy probíhaly v prostředí ArcGIS Pro verze 2.2.4. a později 2.3. Vývojářem toho softwaru je kalifornská firma Esri Inc. Tento program dominuje v odvětví GIS analýz a udává nové trendy v oblasti geoinformatiky. Jeho zásadní nevýhodou je vysoká pořizovací cena, která má za důsledek jeho malé rozšíření v soukromém sektoru. V tomto programu byly také vytvořeny všechny mapové výstupy.

Ke zpracování dat z družice Sentinel byl použit program SNAP ve verzi 6.0. Jedná se o zdarma šířený open source program vyvíjený Evropskou kosmickou agenturou – provozovatelem družic Sentinel, ze kterých pochází zpracovávaný DPZ snímek. SNAP umožnil zobrazit družicové snímky, mozaikování, převzorkování, kombinování pásem pro výpočet indexů i export do široce podporovaných formátů.

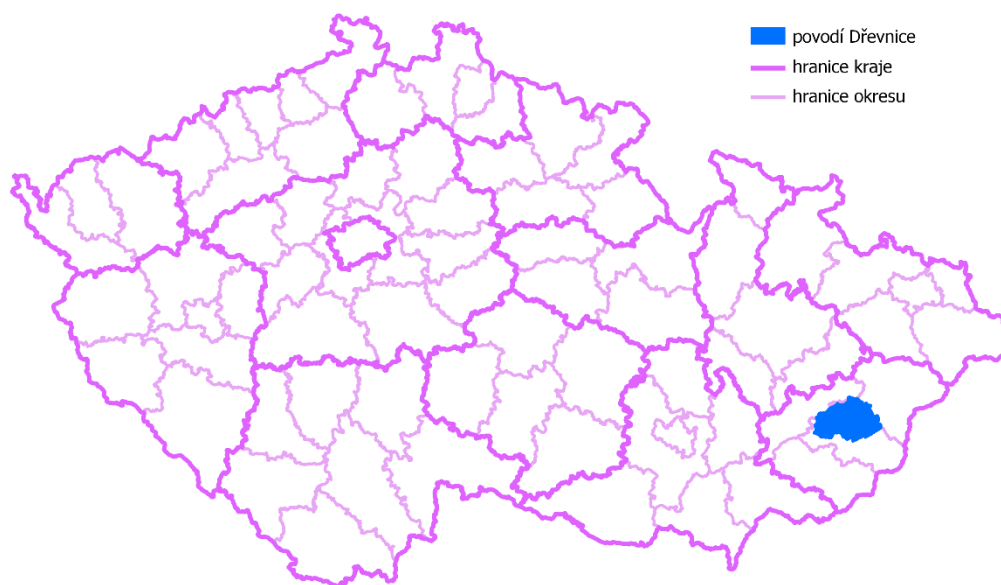
Statistické analýzy, výpočty, tvorba grafů a tabulek probíhala v programu Excel. Text, schémata a výsledná grafická úprava vznikaly v programu Word. Oba programy pochází z balíčku Microsoft Office 365 ProPlus.

2.5 Zájmové území

Řešené území vyplývá ze samotného zadání bakalářské práce a je pro výsledky práce klíčové. Jako modelové území sloužilo povodí řeky Dřevnice (obrázek 2.3). Tento levostranný přítok Moravy pramení v Hostýnsko-vsetínské hornatině v katastru obce Držková ve výšce 567 m n. m. Protéká v jižním a západním směru Zlínským krajem a po 42 km ústí do řeky Moravy v Otrokovicích v nadmořské výšce 181 m n. m. Povodí řeky zaujímá rozlohu 435 km². Z hlediska využití povrchu se skládá převážně z lesů (48 %), polí (23 %), luk (15 %), obytných ploch (11 %) a industriálních ploch (1 %) (OSM, 2017). Z větších přítoků do Dřevnice ústí Trnávka, Lutoninka a ve městě Zlín do Dřevnice vtéká Fryštácký potok.

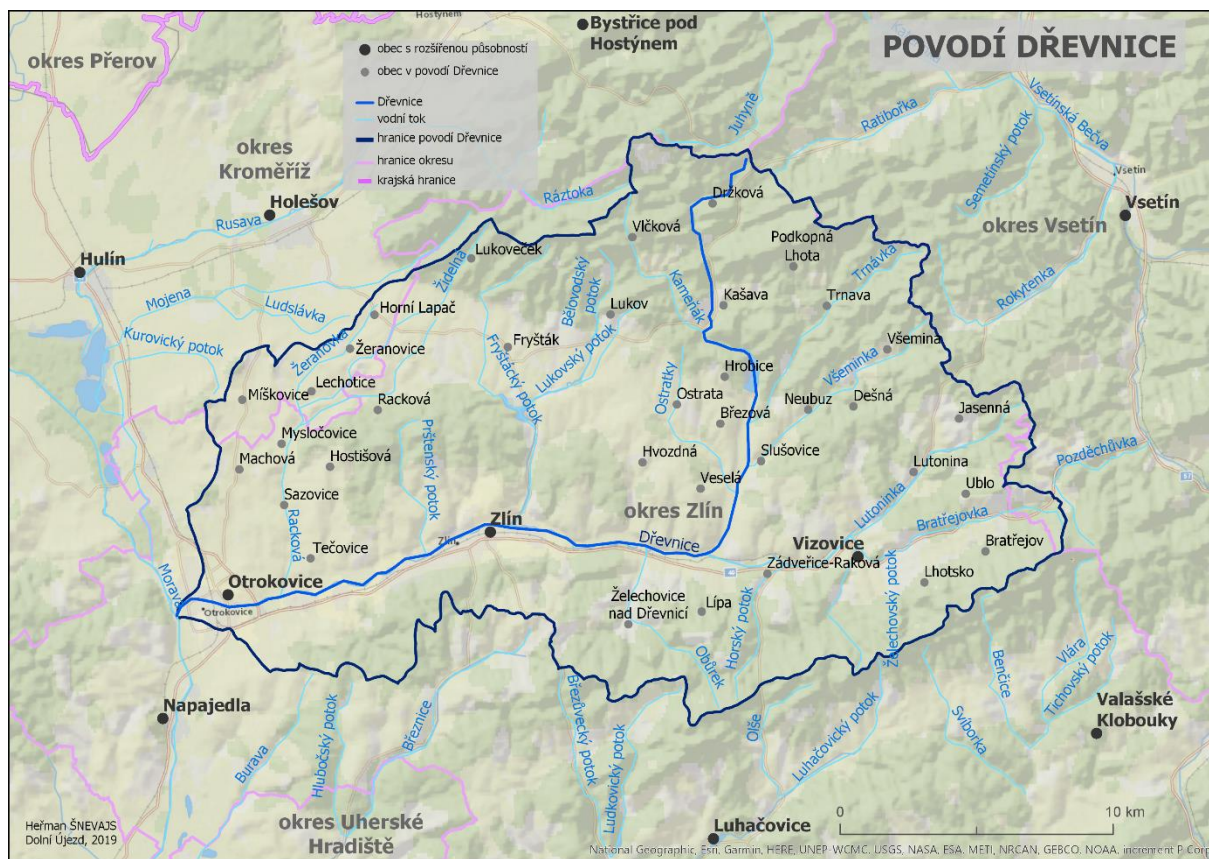
Významným vodním dílem vybudovaným na toku řeky je vodní nádrž Slušovice nad stejnojmenným městem. Vodní dílo bylo vystavěno v 70. letech 20. století za účelem zásobování Zlínska pitnou vodou. Vodní nádrž se nachází v místě, kde řeka opouští hornatý zalesněný terén Hostýnských vrchů a vtéká do širokých údolí. Její další důležitou funkcí je tak protipovodňová ochrana. V roce 1989 byla navíc na vodní dílo naistalována turbína vyrábějící elektrickou energii. Druhá vodní nádrž spadající do povodí Dřevnice se nachází na Fryštáckém potoce pod městem Fryšták. Dle hlásného profilu ve městě Zlín, do kterého spadá 72 % rozlohy celého povodí, činí v tomto místě průměrný roční průtok 2,06 m³s⁻¹.

Umístění zájmového území v kontextu České republiky podává následující obrázek:



Obrázek 2.3 Umístění povodí Dřevnice v rámci ČR.

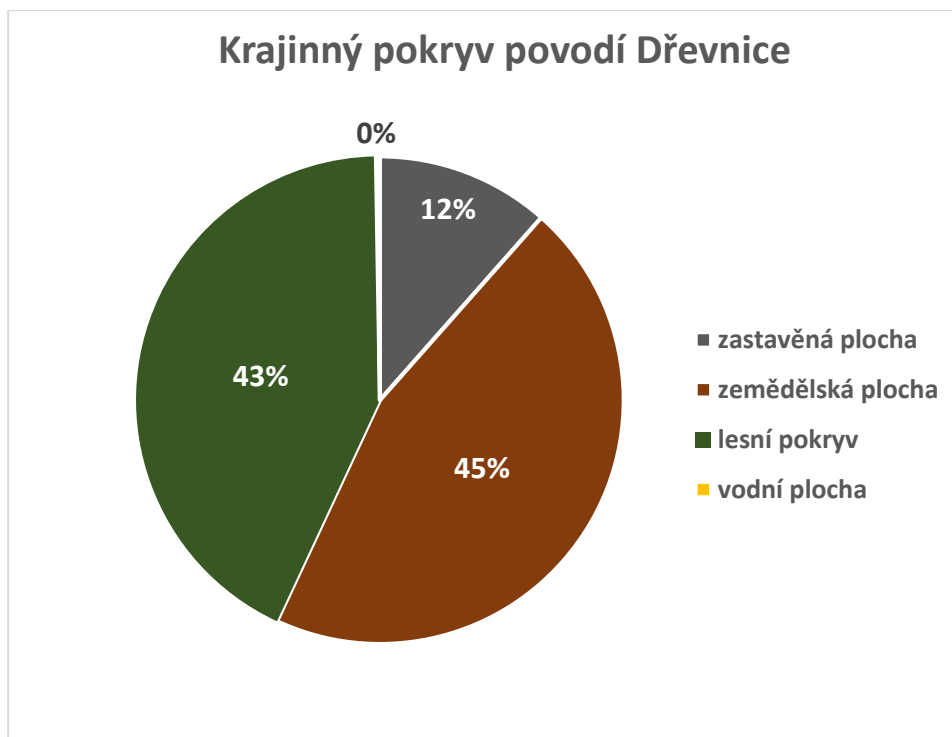
V povodí řeky Dřevnice se nachází více řek a potoků (obrázek 2.4).



Obrázek 2.4 Hydrologická situace povodí Dřevnice.

Polovinu své trasy teče řeka na jih úzkými lesnatými údolími. Po výtoku z nádrže a města Slušovice, teče řeka širokým údolím mezi poli. Jakmile dospěje k úpatí Vizovické vrchoviny, kde je od východu napájena Lutoninkou, vytvořila si řeka cestu na západ, Zlínskou brázdou, po celou dobu zástavbou krajského města Zlín, až do Otrokovic ke svému vyústění do Moravy.

Z krajinného pokryvu povodí (Graf 2.1) je patrný vysoký – téměř poloviční – podíl lesů. Zemědělsky využitelné plochy – především orná půda a louky, zaujímají bez mála druhou polovinu. Zbylá desetina území je zastavěná.



Graf 2.1 Pokryv území podle CLC 2018

Do povodí sice patří krajské město Zlín, ale kromě tohoto města se 75 tisíce obyvateli, a přilehlých 18tisícových Otrokovic, se v povodí velká sídla nenacházejí. Povodí náleží Zlínskému okresu, malá část přesahuje do okresu Kroměříž a Vsetín.

Stejně jako hustota sídel, ani silniční síť není příliš frekventovaná. Na jihu povodí vede podél Dřevnice státní silnice č. 49 spojující Vizovice přes Zlín s Otrokovicemi. V Otrokovicích také končí dálnice D55 navazující na D1 u Hulína.

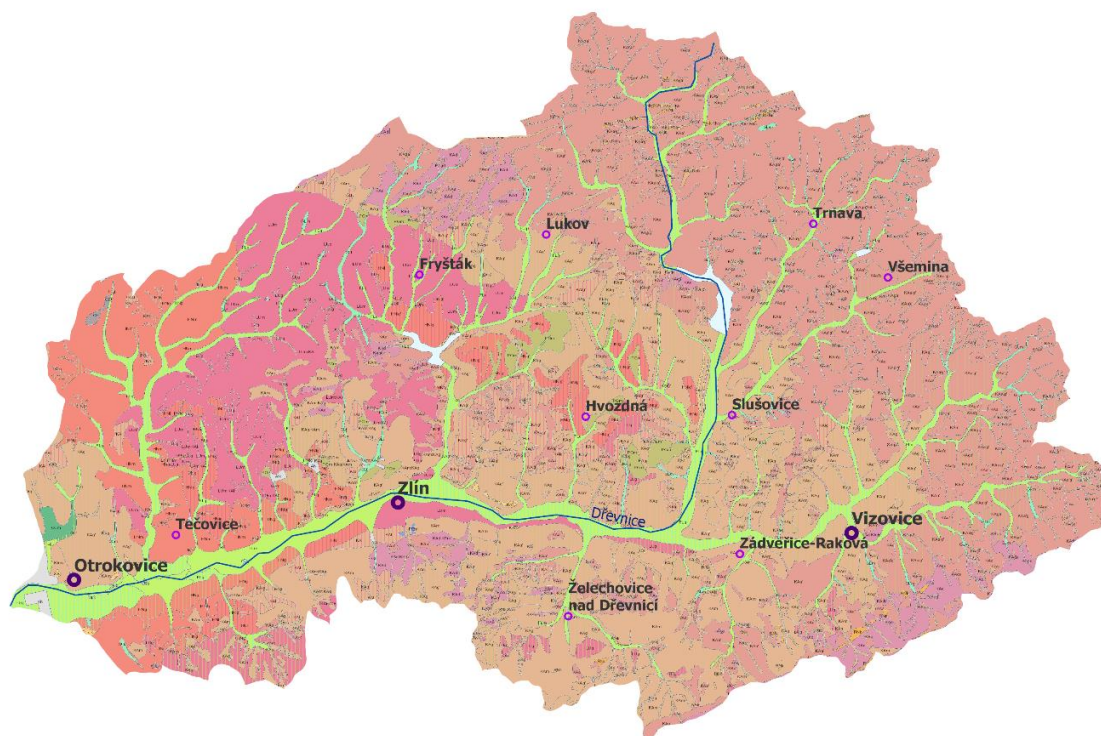
Přímo do povodí žádné velkoplošně chráněné území nezasahuje, ale na východě povodí sousedí s CHKO Beskydy.

Z pohledu geomorfologie patří povodí převážně do soustavy Vnějších Západních Karpat, podsoustavy Moravsko-slovenských Karpat, celku Vizovické vrchoviny a podcelku Zlínské vrchoviny.

Většinu podloží povodí tvoří flyšové horniny račanské jednotky magurské skupiny příkrovů, které se nacházejí v Hostýnsko-vsetínské hornatině. Podél řeky Dřevnice a jejích přítoků se nachází hlína, písky a štěrky. Do nezanedbatelné části povodí zasahuje také Český masív – pokryvné útvary a postvatiské magmatity tvořený sprašovou hlinou.

Celkový náhled na rozložení půdních typů poskytuje obrázek 2.5. V zalesněné hornatině, ze které řeka Dřevnice i její hlavní přítoky vytékají dominuje kambizemě mezobazická s častou příměsí glejů. Pod hornatinou se rozprostírají kambizemě slabě oglejené, hojně využívané jako pole a louky. V západní části povodí kambizemě střídá luvizem, která dále na západ přechází až k modálním hnědozemím zasahujícím do povodí z jižních rovin Hané. Všechny řeky i jejich malé přítoky zpravidla tečou glejovými fluvizeměmi a čím je řeka větší, tím širší pás fluvizemě si vytvořila podél toku.

Podnebí na celém území povodí lze klasifikovat jako mírně teplé.



Obrázek 2.5 Náhled na rozložení půdních typů.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tato kapitola vysvětluje klíčové pojmy, shrnuje informace o jedinečné roli lesa z hlediska vodní retence, zabývá se měřením retence, popisuje standardní metodu CN křivek, její zpřesnění a modifikace a prezentuje vzorek prací věnujících se tématu vodní retence.

3.1 Pojmy

Retence

Dle ČSN 75 0101 (2010) lze retenci vody definovat takto:

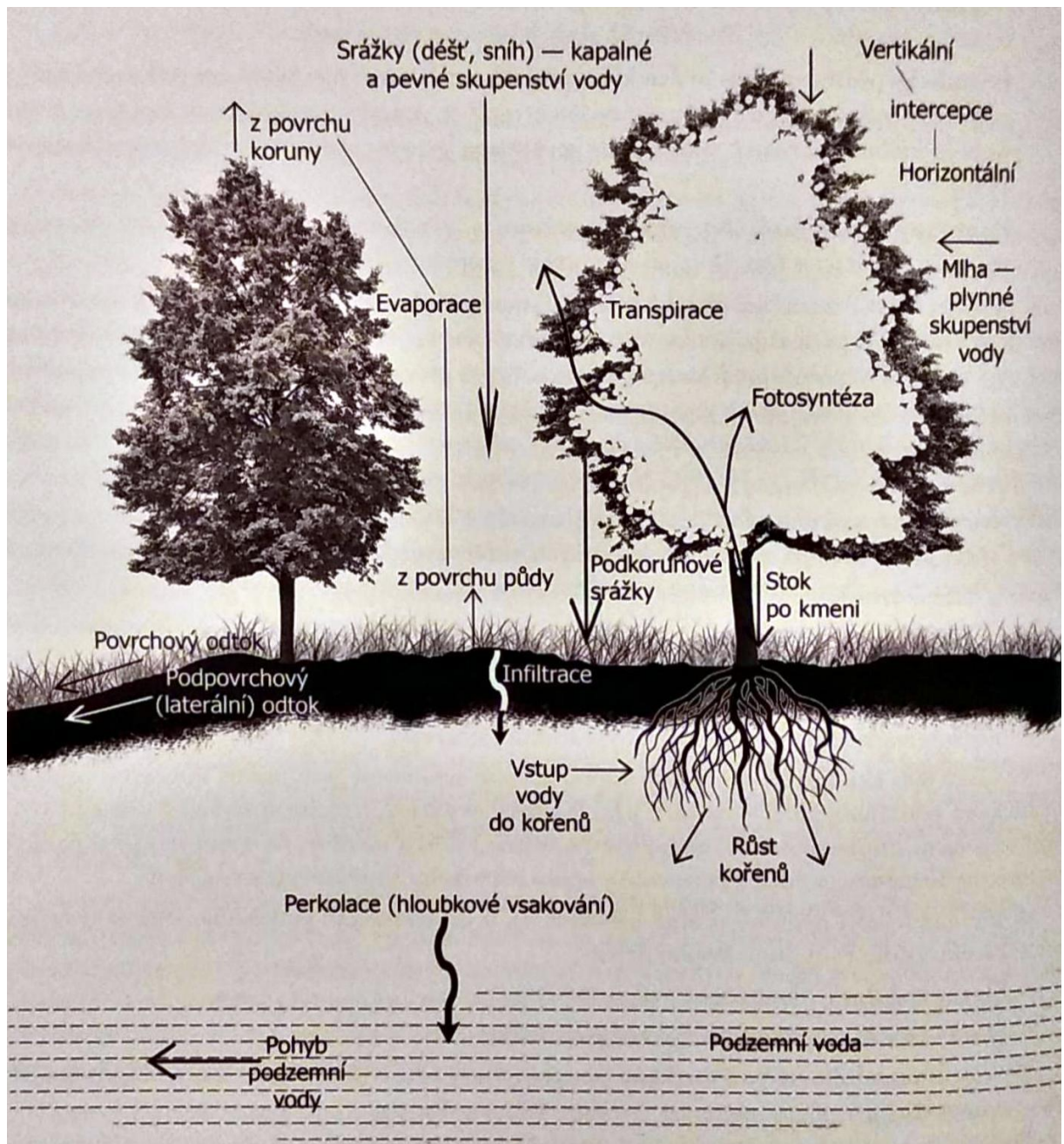
- i) dočasné přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.,
- ii) objem vody dočasně zadržené na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.,
- iii) rozdíl přítoku do uvažovaného prostoru a odtoku z něho za časovou jednotku.

Povodí

Základní územní jednotkou pro posuzování hydrologických jevů je povodí. V něm se srážky mění na odtok a dochází k jeho rozdělení na odtok povrchový a podzemní (Dostál a kol., 1997). Němec v roce 1964 definoval povodí jako základní hydrologickou oblast, ve které lze vyjádřit koloběh vody v číslech. Je to území po hydrologické stránce uzavřené, není tedy do něj povrchový ani podpovrchový přítok a odtok je jediným hlavním tokem (jedním závěrovým profilem).

Odtok

Odtok je dle ČSN 75 0110 (2010) definován jako objem vody odtečené z povodí nebo vodního útvaru za daný časový interval. Nicméně ne všechna srážka, která spadne na území odteče. Názorný průběh srážky měnící se v odtok prezentuje ČHMÚ (2010): Část srážek je zachycována vegetací a nedopadne ani na povrch půdy. Tento jev se nazývá **intercepce**. Voda ze srážky, která na povrch dopadne, se vsakuje do půdy nebo odtéká po jejím povrchu. Část vsáknuté vody zůstává zachycená v půdě kapilární silou a z půdy se dostává buď výparem, tj. **evaporace** nebo ji "čerpají" rostliny – tzv. **transpirace**. Zbylá část infiltrované vody se vsakuje až k hladině podzemní vody. Při povrchovém odtoku voda vyplňuje terénní nerovnosti – retence v **mikrodepresích**, odkud se ztrácí výparem nebo se také vsakuje do půdy (obrázek 3.1).

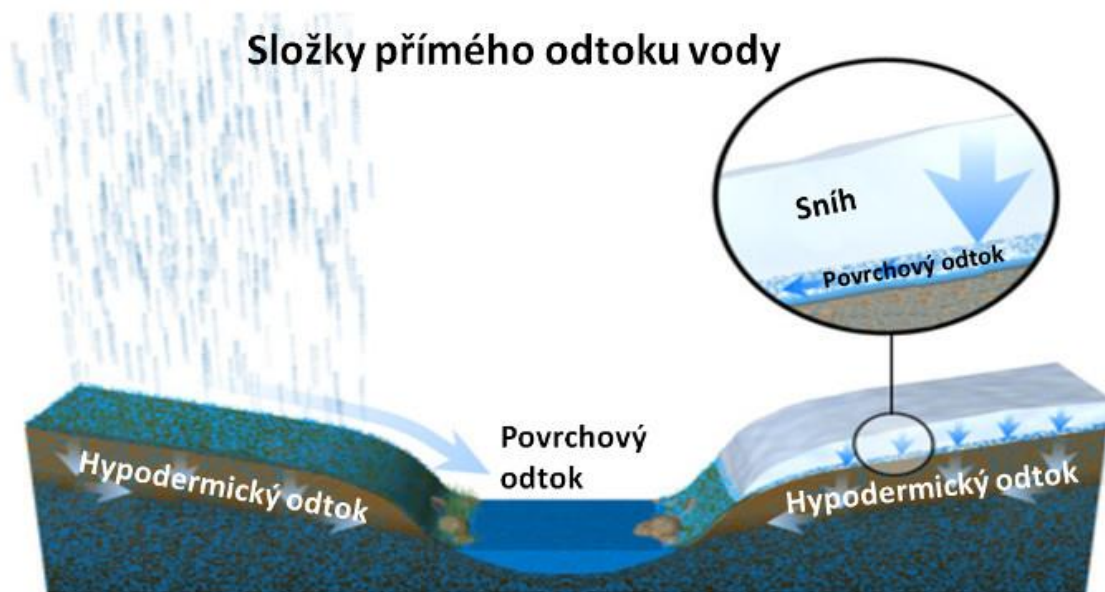


Obrázek 3.1 Složky srážkového úhrnu, zdroj: Rejšek a Vácha (2018).

Odtok je podle Cudlína (1999) definován jako celkové množství vody, které odečte z povodí za jednotku času. Dub a Němec v roce 1969 rozdělili odtok na

- povrchový
- podpovrchový (hypodermický)
- podzemní

Povrchový a podpovrchový odtok je znázorněn na obrázku 3.2:



©The COMET Program

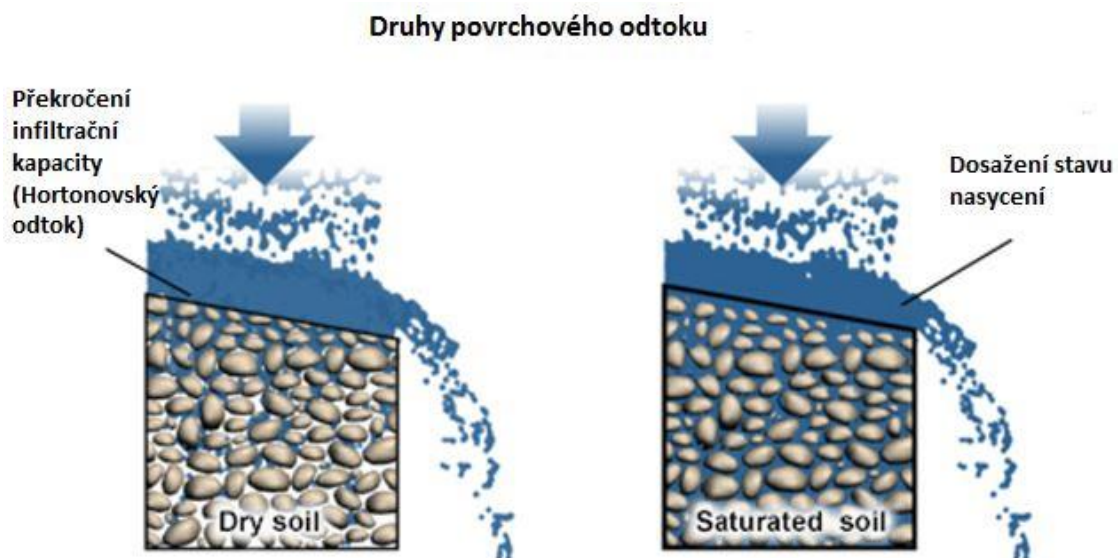
Obrázek 3.2 Složky přímého odtoku, zdroj ČHMÚ (2010).

Norma ČSN 75 0110 (2010) definuje pojmy následovně.

- Povrchový odtok teče po povrchu terénu.
- Podpovrchový odtok stéká do koryta toku pod povrchem, aniž by dosáhl hladiny podzemní vody.
- Podzemní odtok zahrnuje vodu, která dosáhla hladiny podzemní vody a vyvěrá do sítě vodních toků.

Podle Jeníčka (2010) může povrchový odtok vzniknout třemi způsoby:

1. Překročením rychlosti infiltrace půdy. Půda pod povrchem nemusí být nasycena, ale rychlost vsakování vody nestačí vstřebávat všechnu dopadenou vodu. Tento typ odtoku se někdy nazývá hortonský (obrázek 3.3).
2. Překročením retenční kapacity. Nemusí padat velké množství srážek, ale půda je již zcela nasycena vodou a další tak odtéká. Je možné se setkat s pojmem dunný odtok (obrázek 3.3).
3. Opětovnou exfiltrací vody v nižších částech svahu.



©The COMET Program

Obrázek 3.3 Druhy povrchového odtoku, zdroj ČHMÚ (2010).

Smysl retence je zpomalení odtoku. Proto je z hlediska retence zásadní dělení normy ČSN 75 0110 (2010) na odtok

- Přímý
- Základní

Jak vysvětluje zmíněná norma, přímý odtok zahrnuje povrchový a hypodermický odtok a následuje okamžitě po srážce.

Základní odtok zahrnuje odtok podzemní vody. Jeho důležitá vlastnost je zpoždění, se kterým nastává. Vychází ze spodní vody, kde je půda zcela nasycena vodou a napájí vodní toky během dnů bez srážek.

Krešl (1997) kvantifikuje rychlosti odtoku následujícím rozřazením:

Tabulka 3.1 Rychlost druhů odtoků, upraveno podle: Krešl (1997)

Typ odtoku	Rychlost [ms^{-1}]
Povrchový odtok	0,1 – 3,0
Hypodermický odtok	0,01 – 0,1
Podzemní odtok	10^{-6} – 10^{-5}

Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost patří k nejdůležitějším hydrofyzikálním charakteristikám půdy. Podává informaci o rychlosti infiltrace vody v půdě zcela nasycené vodou. Používá se jako vstup do simulací modelujících transport vody půdou. Její znalost je důležitá při ochraně půdy a podzemní vody před znečištěním, rekultivaci půd, závlahy a odvodnění (skládek, sportovních povrchů atp.) (Báťková a kol., 2013). Již neplatná norma ČSN 72 1020 Laboratorní stanovení propustnosti zemin udává následující kategorie nasycené vodivosti v následující tabulce:

Tabulka 3.2 Půdy podle nasycené hydraulické vodivosti, zdroj: Bátková a kol. (2013)

Relativní propustnost zeminy	Přibližné rozmezí nasycené hydraulické vodivosti [m/s]	Příklad druhu zemin
Velmi nepropustná	< 10 ⁻¹⁰	Jíly s nízkou a střední plasticitou
		Jíly a hlíny s vysokou až extrémně vysokou plasticitou
Nepropustná	10 ⁻⁸ – 10 ⁻¹⁰	Hlíny štěrkovité Jíly štěrkovité a písčité Hlíny s nízkou a střední plasticitou
Málo propustná	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁸	Hlíny písčité Písky hlinité a jílovité šterky hlinité a jílovité
Propustná	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	Písky a šterky s příměsí jemnozrnné zeminy (5–15 %)
Velmi propustná	> 10 ⁻⁴	Písky a šterky dobře a špatně zrněné, tj. čisté písky a šterky, písčité šterky, písky a šterky s velmi malou příměsí jemnozrnných zemin (<5 %)

3.2 Retence lesa

Lesy jsou nepostradatelné pro dobro lidstva a poskytují společnosti širokou škálu ekosystémových služeb (Evropská komise a Generální ředitelství pro životní prostředí, 2013). Švihla a kol. (2006) považují úlohu lesních porostů pro vyhnutí se povodním nebo zmírnění jejich průběhu za klíčovou. Usuzují tak z předpokladu, že velké povodně mají svůj původ v horských oblastech, které bývají zpravidla zalesněny. Lesy se podílejí na tvorbě odtoku z povodí tím, že významně zvyšují retenci srážek, čímž přispívají ke zvýšení základního odtoku na úkor přímého (Krešl, 1997 a EEA, 2015).

Jejich účinek by ale neměl být přeceňován. I lesní půda, má limitní retenční schopnost omezenou právě pro svůj vysoký obsah skeletu, omezenou hloubku půdních profilů a převážně lehčí zrnitostní složení (Novák a kol. 1997).

Provedená měření (Krečmer a kol., 2003) ukázala konkrétní čísla limitních schopností retence lesa. V závislosti na podmínkách stanoviště se zadržaná výška nachází v rozmezí 40–60 mm srážek, v příznivých podmínkách 80 až 125 mm. To je přibližně 5 až 9krát více než je tomu u půd zemědělsky obhospodařovaných. Jako kritickou hranici, od které i v lesních porostech dochází k povrchovému odtoku, uvedené výzkumy uvádějí 150 až 200 mm souvislé srážky. S uvedenými výzkumy se shoduje i práce Krešla (1997). Ten předkládá tvrzení, že celková retence v zalesněném povodí může činit v průměru 70 mm i více. Zároveň tvrdí, že dobře obhospodařovaný les může během prvních 30 minut deště pojmout veškerou přívalovou srážku vyskytující se s pravděpodobností jednou za století.

Při obyčejných srážkách pak přímý odtok v lese nebývá žádný a základní odtok je pomalejší než mimo les (EEA, 2015).

Přestože tedy les nemůže být považován za univerzální řešení vodní retence, připomíná Bělský (1997) zásadní vliv lesních porostů při ochraně půdy horských svahů. Půdy na odlesněných svazích nedokáže nic udržet pohromadě a časem dochází k obnažení holého skalního podloží.

V jednom ze svých specifických znaků lesních půd dává do souvislostí Rejšek (2018) vysoký obsah organické hmoty s pomalejším pronikáním srážkové vody do hloubky a rychlostí odtoku do světového oceánů. Dodává fakt, že řeka má v lese tendenci tvořit meandry a půda v lese má tendenci tvořit spíše jíly oproti jiným zrnitostním frakcím jemnozeme.

Mašíček (2010) zmiňuje praktické rady pro hospodaření v lese vyšlé z předpokladu, že velký význam na retenční potenciál lesa má dřevinná skladba porostu. Ta totiž také ovlivňuje fyzikálně-chemické vlastnosti lesní půdy. Pro dlouhodobé udržení příznivých vlastností půdy doporučuje zastoupení vhodných listnatých dřevin. Z hlediska hospodaření v lese považuje za nejdůležitější snahu o stabilitu lesních porostů. Z toho pohledu považuje za vhodné rovnoměrné zastoupení věkových stupňů porostu a šetrné přibližovací a těžební technologie. Samotná těžba v přiměřeném rozsahu nemá na hydrologický režim negativní vliv. V souvislosti s tím Krešl (1997) upozorňuje na nutnost rozlišit typ srážky. Pro dlouhotrvající deště, jejichž intenzita nedosahuje rychlosti vsaku, se kvalita lesního porostu a lesní půdy neprojeví, neboť záleží pouze na retenční kapacitě půdy.

Konkrétní příklad nevhodné skladby porostu popisuje Švihla (1997). Dle jeho závěrů smrkové monokultury degradují půdu a snižují její vodní kapacitu. Tím přispívají ke snížení základního odtoku a zvyšují okamžitý přímý odtok.

Použití standardní metodiky CN křivek bylo primárně zamýšleno pro modelování přímého odtoku ze zemědělských ploch (Kozumplíková, 2010). Zemědělsky obdělávané plochy se zpravidla nacházejí blíže lidským sídlům, kterým hrozí v případě nedostatečné retence záplavy. Pole jsou také ekonomicky zajímavější, mají vyšší nároky na kvalitu půdy, která je dražší a je více ohrožena erozí. Způsob jejich obdělávání může být snadněji ovlivněn. Tomu odpovídaly experimenty na zemědělských plochách, na jejichž základě byla metoda odvozena.

Na související problém přehlížení rozdílů mezi lesní a zemědělskou půdou a následné aplikování závěrů z výzkumů ze zemědělských ploch na lesní pozemky se zaměřila studie německých vědců (Teepe, 2003). Jejím závěrem bylo shledání významně vyšších hodnot vzduchové kapacity u lesní půdy pro nízké objemové hustoty. To se týká velké části lesních půd. Po rozdělení lesních půd do pěti tříd podle objemové kapacity bylo dosaženo lepších výsledků. Dalším přínosem výzkumu bylo rozdělení půd podle zrnitosti do 10 zrnitostních skupin.

Nejde ale jen o vlastnosti půdy. Mašíček (2010) připomíná vegetační kryt jako zásadní výhodou lesních porostů oproti jiným typům využití půdy. Hustotě vegetačního krytu přisuzuje přímý vliv na rychlost svahového odtoku, infiltraci vody, evapotranspiraci a intercepci. Z hlediska účinnosti řadí vegetační kryty následovně: lesní porosty, trvalé travní porosty, dočasné travní porosty, úzkořádkové plodiny a širokořádkové plodiny.

Z evropského nadhledu je přelomovým dokumentem technická zpráva Evropské agentury pro životní prostředí (EEA, 2015). Zpráva byla ve svém celoevropském rozsahu první studií zjišťující roli lesů na retenci vody. Na 65 000 dílčích povodí zkoumala velikost retence s ohledem na tři parametry: rozloha lesa, typ lesa (jehličnatý, listnatý, smíšený)

a způsob využívání lesa (chráněný, nechráněný). Jedním z výsledků zprávy je fakt, že v povodích, kde les zaujímá 30 % rozlohy je o 25 % větší retence vody než v povodí s 10 % zastoupením lesa. V povodích, kde les tvoří 70 % rozlohy, už je o 50 % více zadržené vody oproti 10 % zastoupení. Dále se v závěrech uvádí, že nezávisle na dalších charakteristikách retence v létě bývá o 25 % vyšší než retence v zimním období ve stejném povodí. Co se typu lesa týče, bylo zjištěno, že jehličnaté lesy zadržují o 10 % více vody než listnaté nebo smíšené. Při srovnání lesů podle typu ochrany nedospěla zpráva k žádným obecně platným závěrům.

3.3 Měření retence

Měření vodní retence je využíváno k předcházení extrémních hydrologických situací (EEA, 2015). Obory hydroopedologie a hydrogeologie v současnosti uplatňují několik přístupů měření retenční schopností půdy.

3.3.1 Infiltrometry

Měření hydraulické vodivosti nasycené půdy infiltrometrem patří mezi přímé terénní metody. Výhodou této metody je její jednoduchost a finanční nenáročnost jednoho měření. K nevýhodám patří nemožnost použití metody na větší území a nutnost fyzické přítomnosti ve zkoumané lokalitě. Problematické je použití na nerovném terénu. Výstupem měření je hydraulická vodivost vodou nasycené půdy. (Bátková a kol., 2013)

Dvouválcový infiltrometr

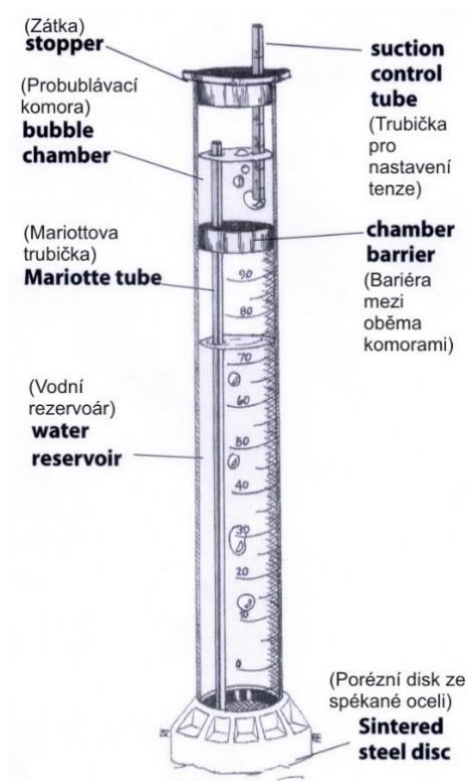
Voda se lije do vnitřního válce umístěného na zemi a měří se za jaký čas se vsákne určitý objem. Ve válci se nachází děrovaná deska, skrze kterou se voda vsakuje do půdy. Na desce je umístěný vyšší a nižší hrot, které umožňují měřit objem vsáknuté vody. Stopuje se čas, za který voda klesne z vyššího hrotu na nižší. Jakmile hladina klesne na nižší hrot, zaznamená se čas a dolije se opět známé množství vody. Když hladina opět dosáhne nižšího hrotu, lze na základě známého času a objemu vody určit hydraulickou vodivost nasycené půdy. Úkolem vnějšího válce je zachovávat svislé vsakování ve vnitřním válci, proto se v něm udržuje stejná hladina jako ve vnitřním válci. Jeden z typů dvouválcového infiltrometru lze vidět na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4 Douvalcový infiltrometr, zdroj: Bátková a kol. (2013).

Tlakový infiltrometr

Součástí tlakového infiltrometru je ocelový válec, který slouží ke kontrole konstantní výšky hladiny. Na infiltrační válec se postaví infiltrometr, který je naplněn vodou. Po otevření ventilu infiltrometru začne voda proudit do infiltračního válce na povrch. Až se hladina vody v infiltračním válci a proud vzduchových bublin infiltrometrem ustálí, začne se odečítat čas a objem infiltrované vody pomocí rysek na infiltrometru. Nákres typické podoby tlakového infiltrometru ukazuje obrázek 3.5.



Obrázek 3.5 Tlakový infiltrometr, zdroj: Bátková a kol. (2013).

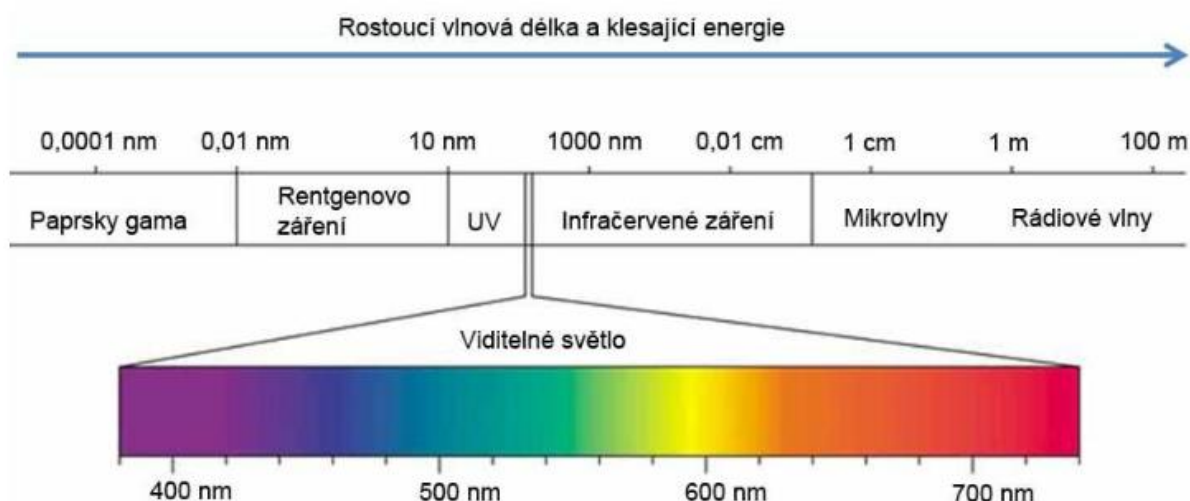
3.3.2 Datový přístup

Retenční schopnost lze také určovat na základě známých dat a metodik. Datový přístup převážně využívá tato bakalářská práce. Záleží na dostupnosti dat a zvolené metodice. Lze pracovat s hotovými CN čísly, modifikovat je na základě aktuálních hydrologických poměrů, případně CN vypočítat dle zvolené metodiky. Nejpoužívanější metoda CN křivek je podrobněji popsána níže.

Výhodou je možnost aplikace přístupu na velkém území a odpadá nutnost navštívit zkoumanou lokalitu. Omezující může být znalost postupu, dovednost práce s daty a dostupnost potřebných dat. Přestože při této bezkontaktní metodě odpadají náklady na měřidla, cena za data a software na jejich zpracování bývá zpravidla mnohem vyšší.

3.3.3 Dálkové snímání

Dálkové zjišťování hydrologických vlastností půdy je založeno na získávání informací z elektromagnetického záření, které z půdy jako z každého jiného objektu vychází. Přirozeně se elektromagnetické záření vyskytuje ve spojitém spektru, které rozdělujeme podle Obrázku 3.6 (Pechanec a kol., 2017). Každému úseku elektromagnetického záření (spektrálnímu pásmu) určují vlastnosti jeho vlnová délka a frekvence. Lidský zrak je schopen vnímat část záření s vlnovou délkou od 400 do 700 nm. Senzory dálkového průzkumu mohou rozšířit naše vnímání na záření vlnové délky od 100 nm do 1 m (Dobrovolný, 1998).



Obrázek 3.6 Spektrum elektromagnetického záření, zdroj: LabGuide (2019)

Oblasti elektromagnetického spektra využívané v DPZ shrnuje následující tabulka 3.3.

Tabulka 3.3 Oblasti EM záření využívané v DPZ, upraveno podle Dobrovolný (1998)

Označení EM oblasti	Název oblast	Vlnová délka
UV	Ultrafialové záření	100 – 400 nm
VIS	Viditelné záření	400 – 700 nm
NIR	Blízké infračervené záření	0,7 – 1,4 μm
SWIR	Krátkovlnné infračervené záření	1,4 – 3,0 μm
TIR	Tepelné záření	3,0 μm – 1,0 mm
MW	Mikrovlnné záření	1,0 mm – 1,0 m

S vědomím složitosti tématu Pechanec a kol. (2017) citují autory (např. Dobrovolný, 1998), kteří prezentují obecné charakteristiky spektrálního chování půd, co se vlhkosti týče. Uvádají, že s narůstajícím obsahem půdní vlhkosti se odrazivost snižuje. Nejen v pásmech, které absorbuje voda samotná, ale pro vnitřní odrazy vodního filmu pokrývajícího půdní částice i v ostatních pásmech. Důsledkem toho se vlhká půda zobrazuje tmavší (pohlcuje záření) než suchá půda. Obvykle jsou tedy lehké písčité půdy hrubší zrnitosti dobře odvádějící vodu světlejší, zatímco těžké jílovité půdy zadržující vodu, která pohlcuje záření, vnímáme je tmavší. Nicméně v případě nepřítomnosti vody je odrazivost opačná a jemnozrné půdy mají světlejší odstín než hrubozrné.

Snímání povrchu lze provádět ze země, dronem z malých výšek v podrobném rozlišení, letadlem pro větší území také v dobrém rozlišení nebo pomocí satelitů, které pravidelně snímají téměř celý zemský povrch. (Vlček, 2008).

Každý druh snímání přináší výhody a nevýhody. Základními aspekty, které jdou zpravidla proti sobě a které je nutné vyvážit podle aktuálních potřeb jsou: rozloha, rozlišení a cena. Metody dálkového snímání vyžadují ještě hlubší znalosti a dovednosti. Omezují se na bezoblačné dny a dokážou detekovat vodu do hloubky několika málo centimetrů (Vlček, 2008).

Tato práce se podrobněji zabývá dálkovým snímáním země s využitím satelitů (konkrétně Sentinel-2). Neoddiskutovatelnou výhodou družicových dat totiž může být jejich přístupnost a cena. Pokud se pracuje s velkou plochou a postačuje rozlišení v řádu desítek metrů, jsou družicová data k dispozici bezplatně. Navíc jde zpravidla o velmi aktuální data, respektive je možné si jejich stáří navolit a údaje různého stáří mezi sebou porovnat. Na druhou stranu, ne vždy je možné spoléhat na to, že každý průlet družice zaznamená kvalitní data. Satelity na rozdíl od letadel obíhají a snímají bez ohledu na oblačnost, a tedy použitelnost snímků. K nástrahám satelitního snímání, kontrastujícím s ideálním laboratorními podmínkami, dodává Pechanec a kol. (2017), že okolí má vliv na elektromagnetické záření před jeho zachycení senzorem. Na druhou stranu ale dodává, že je-li tento vliv znám, lze jeho rušivý efekt do značné míry potlačit.

Praktický přehled zdrojů pro získání multispektrálních optických snímků vhodných pro monitorování půdních vlastností přináší ve své metodice Pechanec a kol. (2017). V zadání této práce bylo určeno, že bude využito dat programu Copernicus, jehož satelity jsou blíže popsány v kapitole 7.

Indexy

Jedna z metod analýzy vlastností objektů z DPZ je založena na indexech. Výhodou je jejich výpočetní nenáročnost a univerzalita (Frampton, 2013). V práci budou dále využity následující indexy:

NDMI (Normalized Difference Moisture Index) (Antognelli, 2019)

NDMI popisuje míru hustotu vegetačního pokryvu společně s obsahem vody ve vegetaci. Umožňuje diverzifikovat vegetaci podle míry vlhkosti.

Vztah pro výpočet NDMI je založen na podílu rozdílu a součtu blízkého infračerveného pásma a krátkovlnného infračerveného pásma:

$$NDMI = \frac{NIR_{860\text{ nm}} - SWIR_{1610\text{ nm}}}{NIR_{860\text{ nm}} + SWIR_{1610\text{ nm}}}$$

(vztah 3.1)

K interpretaci slouží následující tabulka:

Tabulka 3.4 Charakteristika hodnot NDMI, zdroj: Antognelli (2019)

NDMI	Charakteristika
-1 – -0,8	Holá půda
-0,8 – 0,6	Téměř bez vegetačního pokryvu
-0,6 – -0,4	Velmi řídká vegetace
-0,4 – -0,2	Řídká vegetace suchá Velmi řídká vegetace vlhká
-0,2 – 0	Středně řídká vegetace s vysokým nedostatkem vody, Řídká vegetace s malým nedostatkem vody
0 – 0,2	Průměrný vegetační pokryv s vysokým nedostatkem vody, Středně řídká vegetace s malým nedostatkem vody
0,2 – 0,4	Středně hustá vegetace s vysokým nedostatkem vody, Průměrný vegetační pokryv s malým nedostatkem vody
0,4 – 0,6	Hustá vegetace bez nedostatku vody
0,6 – 0,8	Velmi hustá vegetace bez nedostatku vody
0,8 – 1	Úplný vegetační pokryv bez nedostatku vody, podmáčená půda

Wetness – Tasseled Cap

Index Wetness je třetí komponentou lineární transformace Tasseled Cap, která se často používá při výzkumu vlastností lesních porostů (Jin a Sader, 2005). Dle metodiky Neudertové 2018 je index Wetness vysoce korelován s indexem NDMI a mohou tak jeden druhého zastupovat. Podle IDB Projekt (2019) se Wetness počítá podle následujícího vztahu:

$$W = 0,1509 [450: 520] + 0,1973 [520: 600] + 0,3279 [630: 690] + 0,3406 [760: 900] - 0,7112 [1550: 1750] - 0,4572 [2080: 2350]$$

(vztah 3.2)

NMDI (Normalized Multi-band Drought Index) (Pechanec a kol. 2017)

Podobně jako NDMI se NMDI hodí k určování půdní a vegetační vlhkosti. Rozdíl ve výpočtu je ten, že místo jednoho pásma SWIR se používá rozdíl dvou SWIR pásem. Vztah pro výpočet NMDI má podobu:

$$NMDI = \frac{NIR_{860\text{ nm}} - (SWIR_{1640\text{ nm}} - SWIR_{2130\text{ nm}})}{NIR_{860\text{ nm}} + (SWIR_{1640\text{ nm}} - SWIR_{2130\text{ nm}})}$$

(vztah 3.3)

Hodnoty NMDI od 0,7 výš pro holý nebo řídkce porostlý povrch indikuje suché podmínky. Vlhké podmínky nastávají pro NDMI menší jak 0,6.

Naopak světově nejrozšířenější vegetační index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se nehodí pro účely této práce. NDVI totiž mapuje aktivitu fotosyntézy. Je sice pravda, že k fotosyntéze je potřeba voda, ale vlhká mohou být i území, kde fotosyntéza není vysoká. Dokonce studie využívající indexy na polní plodiny při srovnání NDWI a NDVI ukázala, že pole s vysokou fotosyntézou jsou méně vlhká než pole s plodinami málo fotosyntetizujícími (Quadratic, 2016). Vysvětluje to tím, že plodiny s vysokou fotosyntézou vstřebávají vodu rychleji než ty méně aktivní, u kterých zůstává půda více vlhká.

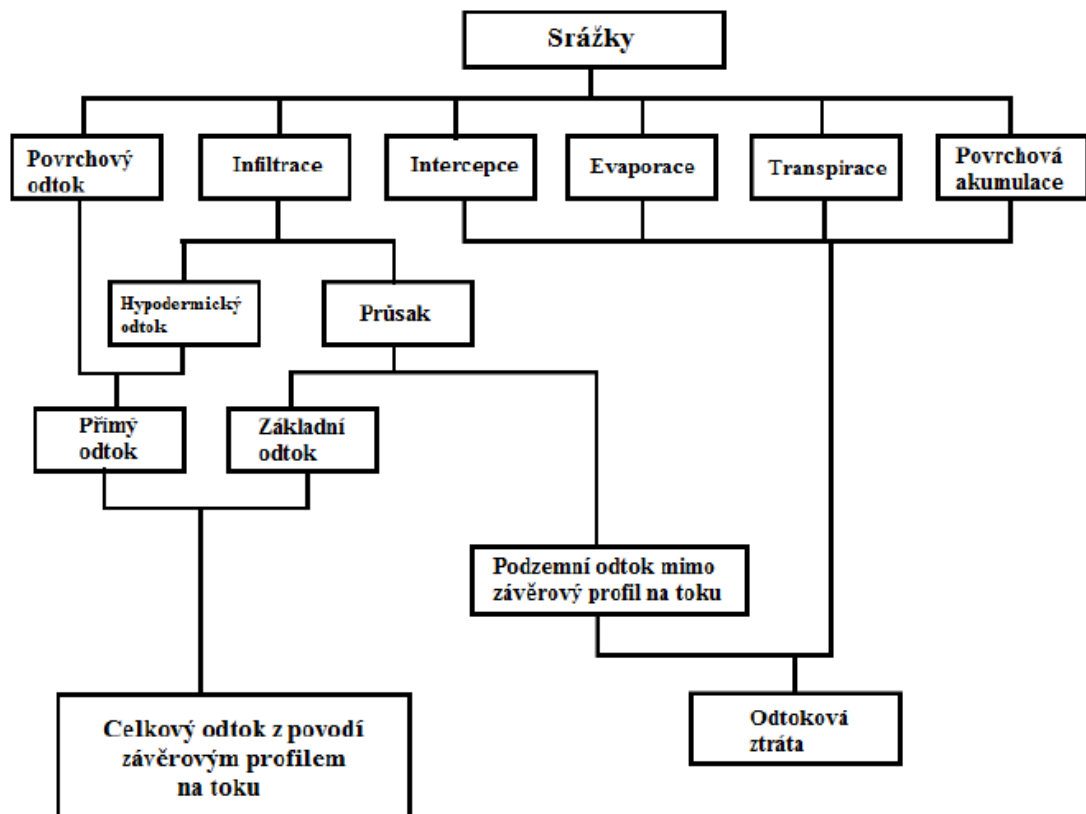
3.4 Standardní metoda CN křivek

Obecně uznávaným a celosvětově používaným výpočtem množství vody odtečené přímým odtokem jsou vztahy odvozené americkou Soil Conservation Service zveřejněné v National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology, Department of Agriculture, Washington D. C. (Janeček 2012). Počátky metody sahají do konce 30. a začátku 40. let 20. století, kdy byla prováděna četná měření infiltrometry za účelem získat primární data k vyhodnocení srážko-odtokového procesu (Ponce a Hawkins, 1996). Metoda byla vyvinuta v roce 1954 a zdokumentována poprvé ve zmíněné příručce datované k roku 1956 (Mishra a kol., 2006). V následujících letech (1964, 1965, 1971, 1972, 1985 a 1993) byla stále aktualizována (Ponce a Hawkins, 1996). Metoda byla vyvinuta po dlouholetých experimentech, její odvozené rovnice jsou tedy empirické (Dostál a kol. 2006). Obecnost a univerzální použitelnost metody je na úkor přesných předpovědí (Ponce a Hawkins, 1996).

Zásluhou prof. Janečka metoda upravena pro podmínky České republiky (Janeček, 1982) a pro svou jednoduchost se stala velmi rozšířenou (Smelík, 2016). Její použití je zamýšleno primárně pro malá povodí do 10 km² (Janeček, 2012). Proto je při jejím použití pro velká povodí nutné počítat se značnými nepřesnostmi (Smelík, 2016). V současné době uplatňování metody v českém prostředí vychází z metodiky Ochrana zemědělské půdy před erozí vypracované prof. Janečkem a kolektivem autorů napříč českými vědeckými ústavami a univerzitami (Janeček, 2012). Tato metodika je uplatňována při aplikaci normy Protierozní ochrana zemědělské půdy ČSN 754500 určené pro realizaci staveb a opatření v krajině (ČSN, 2010).

Obecným východiskem metodiky je předpoklad, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadrženo. Potenciální objem zadrženo závisí na druhu půdy, pokryvu povrchu, způsobu obdělávání a předchozích podmínkách vlhkosti půdy a vegetace (Janeček a Kovář, 2010). Odtok může nastat až po počáteční ztrátě, jejíž příčinou je intercepce, infiltrace a povrchová retence. Na základě experimentálních měření byl součet těchto faktorů stanoven na 20 % maximální retence (Janeček, 2012). Hodnoty zároveň ukazují pravděpodobnost povrchového odtoku – čím je CN vyšší, tím je pravděpodobnější tento typ odtoku na úkor ostatních typů odtoku. (Janeček, 2012).

Schéma srážko-odtokového procesu je znázorněno grafem 3.1.



Graf 3.1 Schéma srážko-odtokového procesu podle ČSN 75 0110, zdroj: Zelníčková (2014)

Při znalosti CN čísla je možné maximální retenci A spočítat ze vztahu:

$$A = 25,4 \frac{1000}{CN - 10} \quad (\text{vztah 3.4})$$

Pokud tedy přívalová srážka překoná 20 % vypočtené maximální retence, výšku odtečené vody H_o můžeme spočítat jako:

$$H_o = \frac{(H_s - 0,2 A)^2}{H_s + 0,8 A}, \quad (\text{vztah 3.5})$$

pro $H_s > 0,2 A$

kde H_o je výška přímého odtoku [mm],
 H_s je úhrn návrhové srážky za 24 hodin [mm] a
 A je maximální retence [mm].

Chceme-li znát objem přímého odtoku, vynásobíme získanou výšku přímého odtoku plochou:

$$O_{ph} = 1000 P_p H_o, \quad (\text{vztah 3.6})$$

kde O_{ph} je objem přímého odtoku v m^3 a
 P_p plocha povodí v km^2 .

Současně s celosvětovým rozšířením metodiky CN křivek se rozrůstá okruh literatury shrnující výhody a nevýhody této metody. Janeček a Kovář (2010) ve svém příspěvku uvádí tyto:

Výhody

- a) Jednoduchá, empiricky podložená metoda.
- b) Jediná neznámá je číslo odtokové křivky, která se určí ze čtyřech dobře dostupných údajů:
 - i. Hydrologická skupina půdy (HSP): A, B, C, D
 - ii. Typ využití pozemku: zemědělské, lesní, pastevní a zastavěné
 - iii. Hydrologické podmínky povrchu: dobré, střední, špatné
 - iv. Úhrn předchozích srážek: vysoký (III), průměrný (II), nízký (I)

Nevýhody, rizika

- a) Vychází z regionálních údajů středozápadu USA, proto je nutná jistá opatrnost, při přejímání do odlišných geografických nebo klimatických oblastí.
- b) Pro nízké hodnoty CN a návrhové srážky hrozí vysoká citlivost na CN a předchozí podmínky.
- c) Nejpřesnějších výsledků metoda dosahuje pro zemědělská území, která byla původním cílovým záměrem. Zároveň lépe odhaduje odtoky z přívalových srážek s co nejmenším základním odtokem. Přímý odtok je tedy co nejvyšší.
- d) Záměr použití byl v malých a středně velkých povodích. Při použití ve velkých povodích je nutno hledět na výsledky s rezervou.
- e) Počáteční retenci rovnu 20 % maximální retence je nutné chápat jako regionální parametr odvíjející se od různých geologických a klimatických poměrů.
- f) Neumí pracovat s časovou a prostorovou variabilitou srážek v povodí a je omezena na modelování ztrát při přívalových deštích.
- g) Nelze aplikovat na výpočet odtoku tání za sněhu (Janeček, 2012).
- h) Nepočítá s vlivem sklonu svahu pro odtok. Na experimentálních plochách USA, kde metoda vznikla je nejčastěji sklon do 5 %, proto je oprávněnost jejího použití v horských povodích problematická (Smelík, 2016)

3.5 Zpřesnění metodiky ve světě

3.5.1 Aktuální hodnota CN

Metodika není zcela rigidní, ale sama počítá s jistou variabilitou podmínek. Od roku 1971 se v National Engineering Handbook objevuje zpřesnění CN podle předchozích vláhových podmínek (AMC) (SCS, 1971). Spočívá ve vlivu srážkového úhrnu předchozích dní na schopnost půdy zadržovat další srážky. Běžně se používá pětidenní úhrn rozdělený do tří kategorií, které jsou v ČR stanoveny podle tabulky 3.5.

Tabulka 3.5 Varianty CN podle UPS₅, zdroj: Pasák a kol. 1983

Varianta CN	UPS ₅ – mimo vegetační období [mm]	UPS ₅ – ve vegetačním období [mm]
I	< 13	< 36
II (výchozí)	13 – 28	36 – 53
III	> 28	> 53

Předpokladem úpravy je vegetační období pro měsíce duben až říjen.

Změnu CN podle aktuálních vláhových podmínek lze podle Kováře (1994) kvantifikovat následovně:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,281 - 0,01281 CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,427 - 0,00573 CN_{II}}$$

(vztah 3.7)

3.5.2 Aktuální hodnota počátečních ztrát

Druhou hodnotou, kterou srážky předešlých dní bezesporu ovlivňují, je ukazatel počáteční ztráty. Mishra a kol. v roce 2006 provedli experiment nad daty U. S. Department of Agriculture – Agricultural Research Service (USDA-ARS) Water Database. Tato databáze obsahuje data srážkových úhrnů a přímých odtoků na malých povodích v USA. Pro svůj výzkum pracovali s 84 povodími s rozlohou mezi 0,17 až 71,99 ha, na kterých se odehrálo 22 392 přívalových srážek. Pracovali s mnoha návrhy modelů, z nichž nejpřesnějších výsledků dosahoval modifikovaný Mishra-Singh model (MMS) určený vztahy:

$$I_a^A = \frac{\lambda + A^2}{A + M},$$

$$M = \frac{(UPS_5 - 0,2 A) A}{UPS_5 + 0,8 A},$$

(vztah 3.8)

kde

I_a^A je aktuální hodnota počátečních ztrát [mm]

λ je koeficient jednotlivých I_a [cm] = 0,2

A je potenciální retence odvozená z CN [mm]

M je vlhkost z předchozích srážek [%]

UPS_5 je srážkový úhrn posledních pěti dní [mm].

3.5.3 Koeficient počátečních ztrát

Mohan L. et al. (2016) testovali standardní metodu CN křivek na datasetu 27 zemědělských pozemcích na severu Indie. Výzkum ukázal, že standardní metoda CN křivek dávala ve většině případů špatné předpovědi výšky přímého odtoku. Odhad výšky odtoku se mírně zlepšil pro vyšší CN. To potvrzuje domněnku, že standardní metoda dosahuje lepších výsledků pro vysoké srážky a výšky odtoku. V práci je popsána nepřímá úměra mezi CN a infiltrační kapacitou. Součástí výzkumu bylo zkoumání vlivu změny

koeficientu počáteční ztráty λ na výšku odtoku. Výška odtoku je silně ovlivňována koeficientem λ a závěrem práce je tvrzení, že přesnějších výsledků metoda pro zájmové území dosahovala, když z klasického $\lambda = 0,20$ bylo použito $\lambda = 0,030$.

3.6 Modifikace v ČR

Český překlad metody byl od svého vzniku v 80. letech až do současnosti mnohokrát aktualizován (Janeček a Kovář, 2010). Specializované instituce vyvíjejí modifikace metody mající za cíl zpřesnění výpočtu a odstranění některých nedostatků metody:

3.6.1 Modifikace VÚMOP

Dlouhodobě a nejpokročileji se zadržováním vody v krajině České republiky zabývá Vědecký ústav meliorací a ochrany půdy, v. i. i. Tento ústav zodpovídá za rozvoj poznání a přenos poznatků vědních oborů ochrany půdy, komplexních meliorací, pedologie, tvorby a využití krajiny a informatiky k těmto oborům se vztahující. Provádí rozborů půdy a vody, provozuje geoportál SOWAC-GIS, tvoří mapy, poskytuje data (VÚMOP, 2019). Vedle základní klasifikace půd a určení jejich hydrologických vlastností (Tabulka 3.6) je tento ústav autorem více s retencí souvisejících produktů. Jejich náhledy a popisy jsou uveřejněny v Nabídce mapových a datových produktů (VÚMOP, 2016):

- vrstvy CN čísel pro přechozí vláhové podmínky I, II a III
- vrstva hydrologických skupin půd
- vrstva infiltrace a propustnosti půd
- vrstva retenční vodní kapacity

Tabulka 3.6 Hydrologické skupiny půd, zdroj: Janeček (2012)

Hydrologická skupina	Rychlost infiltrace [mm/min]	Charakteristika
A	> 0,20	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnují převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné pisky a štěrky.
B	0,10 – 0,20	Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnují převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.
C	0,05 – 0,10	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnují převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.
D	< 0,05	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

Ústav chápe infiltraci jako průtok vody přes topografický povrch do půdy a rychlost tohoto průtoku označuje jako rychlost infiltrace vody. Retenční vodní kapacitu definuje jako množství vody, které je půda schopna zadržet v systému kapilárních pórů a postupně ji pro potřeby rostlin uvolňovat. (VŮMOP, 2016)

Z hlediska VŮMOP v. v. i. je co nejpřesnější výpočet přímého odtoku velmi důležitý. S přímým odtokem úzce souvisí eroze a dostatek vody v krajině. Jen s přesnými daty o objemu odtoku nebo zadržení je možné cíleně zlepšovat srážkoodtokové poměry v krajině. Z tohoto důvodu se VŮMOP aktivně angažuje na zpřesňování standardní metodiky CN křivek a vývoji modifikací.

Kategorizace hlavních půdních jednotek

Vědecký ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. zrevidoval rychlost infiltrace hlavních půdních jednotek a jejich zařazení do hydrologických skupin půd. Ve svém novém zařazení vycházel ze standardního rozřazení podle Janečka (2012). Navíc použil pro účely nového zařazení měření Kuráže z roku 2006 a srovnal data se staršími údaji (Novák a kol., 2012).

Novák a kol. (2012) dodávají, že je nutné k výsledkům přistupovat obezřetně zejména pro značné rozdíly udávaných hodnot vybraných autorů.

Datová vrstva infiltrační schopnosti půd

Na základě vlastní klasifikace vytvořil VŮMOP rasterovou mapu infiltrační schopnosti půd pro území celé ČR, včetně lesů, tvořenou pixely o velikosti 1 x 1 km.

3.6.2 Modifikace ÚHÚL

Další českou institucí, která se výpočtem přímého odtoku podle standardní metodiky zabývá, je Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem. ÚHÚL vede centrální databázi s informacemi o lesích ČR, lesním hospodářství a myslivosti (ÚHÚL, 2019).

Z lesnického pohledu ÚHÚL se diverzifikace CN pro lesy ve standardní metodice může zdát málo propracovaná. Oproti mnoha kategoriím využití zemědělské plochy se veškeré lesy dělí podle hydrologických podmínek na špatné, střední a dobré. Kategorizace hydrologických podmínek probíhá pouze podle hloubky humusu (Janeček, 2012). Obavy z podcenění komplexity lesních porostů podporuje fakt, že lesy se v České republice rozprostírají na celé třetině území (Ministerstvo zemědělství, 2018). Propracovanější modifikaci standardní metodiky pro lesní území, která je dále v textu nazývána jako **metodika ÚHÚL**, vytváří od roku 2000 s několika úpravami až do roku 2011 Dr. J. Macků z Ústavu pro Hospodářskou úpravu lesů.

Výsledná CN čísla jsou lesním porostům přidělena jako ve standardní metodě průnikem hydrologické skupiny půd a hydrologických podmínek, jak udává tabulka 3.7.

Tabulka 3.7 Čísla odtokových křivek pro lesy, zdroj: Macků (2011)

Hydrologické podmínky	Hydrologické skupiny půd			
	A	B	C	D
1	30	55	70	77
2	36	60	73	79
3	45	66	77	83

Odlišný je způsob, kterým se určují tyto kategorie. Podle stáří se porosty rozdělí do tří skupin (Tabulka 3.8) a ty pak společně s druhovou skladbou určí stupeň hydrologických podmínek (Tabulka 3.9).

Tabulka 3.8 Vývojová fáze porostu, zdroj: Macků (2011)

Fáze	Věk v letech
VN	holina, do 10
VS	11–65
VM	nad 66

Tabulka 3.9 Stupeň hydrologických podmínek odvozený z druhové skladby a vývojové fáze porostu, zdroj: Macků (2011)

Druhová skladba	Vývojové fáze porostu		
	VN	VS	VM
J (jehličnatý)	2	1	1
L (listnatý)	3	2	2
S (smíšený)	3	1	2

Stupeň hydrologických podmínek je možné charakterizovat slovně (Tabulka 3.10).

Tabulka 3.10: Charakteristika hydrologických podmínek porostu, zdroj: Macků (2011)

Stupeň	Charakteristika hydrologických podmínek
1	Dobré
2	Střední
3	Špatné

Metodika ÚHÚL klasifikuje lesní půdu do sedmi typů vodního režimu a přidělil jim hydraulickou vodivost a retenční vodní kapacitu (Tabulka 3.11).

Tabulka 3.11 Typy vodního režimu lesních půd, zdroj: Macků (2011)

Charakteristika vodního režimu	Typ vodního režimu	Hydraulická vodivost [mm/min]	RVK [% obj. vlhkosti]	Stupeň vodního režimu
Rašeliny	R	< 0,02	> 34	1
Půdy trvale zamokřené, gleje	G			
Pseudogleje	P	0,02 – 0,06	30 – 34	2
Půdy zamokřené svahovou proudící vodou	V	0,02 – 0,06	23 – 30	3
Luhy	L			
Terestrické lehké až středně těžké půdy, dobrá až vysoká retenční schopnost	T1	0,06 – 0,12	14 – 23	4
Terestrické lehké půdy, písčité a skeletovité	T2	> 0,12	< 14	5

Tuto svoji klasifikaci metodika ÚHÚL dále rozvádí a přidává typům vodního režimu vazbu na typologické jednotky lesního typu, resp. souboru lesních typů. Těmito údaji totiž disponuje databáze OPRL spravovaná ÚHÚL. Vazbu typologických jednotek na HSP definuje tabulka 3.12.

Tabulka 3.12 Hydrologická skupina půd, zdroj: Macků (2011)

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

3.7 Téma vodní retence v ČR

Kromě práce na standardní metodice upozorňuje Janeček (2005) ve své práci na opomíjený důsledek přívalových dešťů. Oproti obyčejným dešťům totiž ty přívalové tvoří o poznání větší kapky, které tak působí mnohem větší silou na půdu při dopadu. To má za následek rozbíjení půdních agregátů na malé částičky, které zaplňují půdní póry, kterými by se jinak voda infiltrovala. Takto i po mírném svahu teče daleko více vody nesoucí rozmělněnou půdu. Povrch půdy se tak ještě více uhlazuje a oproti drsnému povrchu se jeho retenční kapacita může snížit až na jednu pětinu. Přímý odtok se v konečném důsledku zrychluje a zvětšuje. Zumr a kol. (2018) nazývají ztrátu půdních částic vlivem eroze jednou z nejzávažnějších příčin degradace půdy a vlivem kinetické energie deště na transport částic na půdním povrchu se zabývají ve svém mezinárodním projektu.

3.7.1 Vodní retence na Univerzitě Palackého v Olomouci

Profesor Šarapatka z Katedry ekologie a životního prostředí Přírodovědecké fakulty univerzity Palackého se zaměřuje na pedologii. Zkoumá vlastnosti půdy a z hlediska hydrologických vlastností půdy je přínosné jeho rozdělení půd (Tabulka 3.13).

Tabulka 3.13 Rozdělení půd podle obsahu částic menších než 0,1 mm, zdroj: Šarapatka (1996)

Druh půdy	Obsah částic menších než 0,01 mm [%]	Charakteristika půdy
Písčité	0–10	Lehké půdy
Hlinitopísčité	10–20	Lehké půdy
Písčitohlinité	20–30	Středně těžké půdy
Hlinité	30–45	Středně těžké půdy
Jílovitohlinité	45–60	Těžké půdy
Jílovité	60–75	Těžké půdy
Jíl	> 75	Těžké půdy

Katedra geografie Univerzity Palackého v Olomouci vydala zásluhou doktorky Pavelkové Chmelové a doktora Frajera (2013) učebnici hydrologie, která citací starších zdrojů (Burt, 1987 a Kohnke, 1968) shrnuje obecné vlivy půdy na infiltraci (Tabulky 3.14, 3.15)

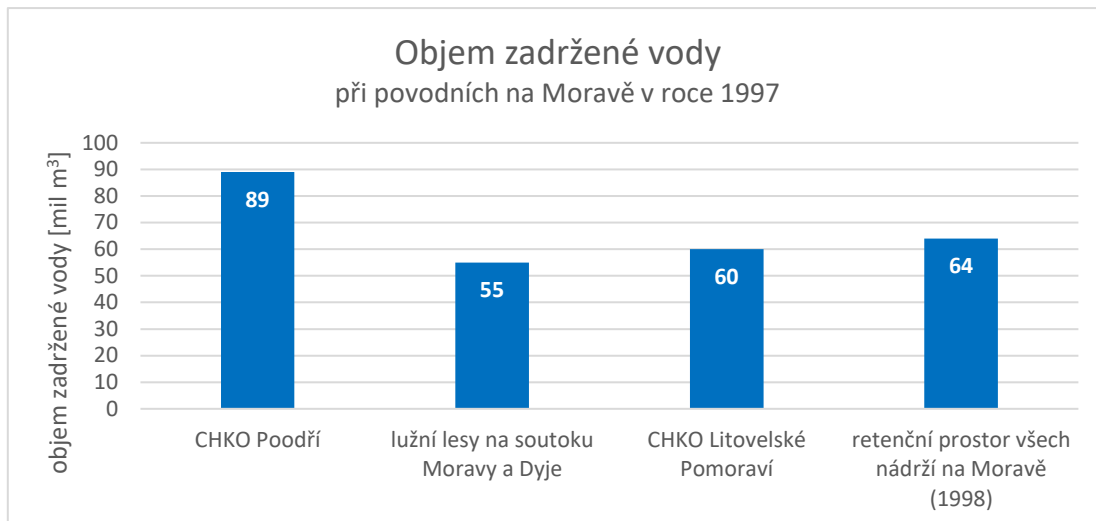
Tabulka 3.14 Rychlost infiltrace podle vegetačního pokryvu, upraveno podle: Burta (1987)

Vegetační pokryv půdy	Rychlost infiltrace [mm/min]
Lesní porost	1,7–3,3
Trvalý travní porost	0,2–1,2
Bez vegetace	0–0,1

Tabulka 3.15 Rychlost infiltrace podle půdních druhů a vegetačního krytu, upraveno podle: Kohnke (1968)

Půdní druh	Rychlost infiltrace [mm/min]	
	S vegetačním pokryvem	Bez vegetačního pokryvu
Hlinitopísčitá	0,8	0,4
Písčitohlinitá	0,4	0,2
Hlinitá	0,25	0,13
Jílovitohlinitá	0,08	0,05

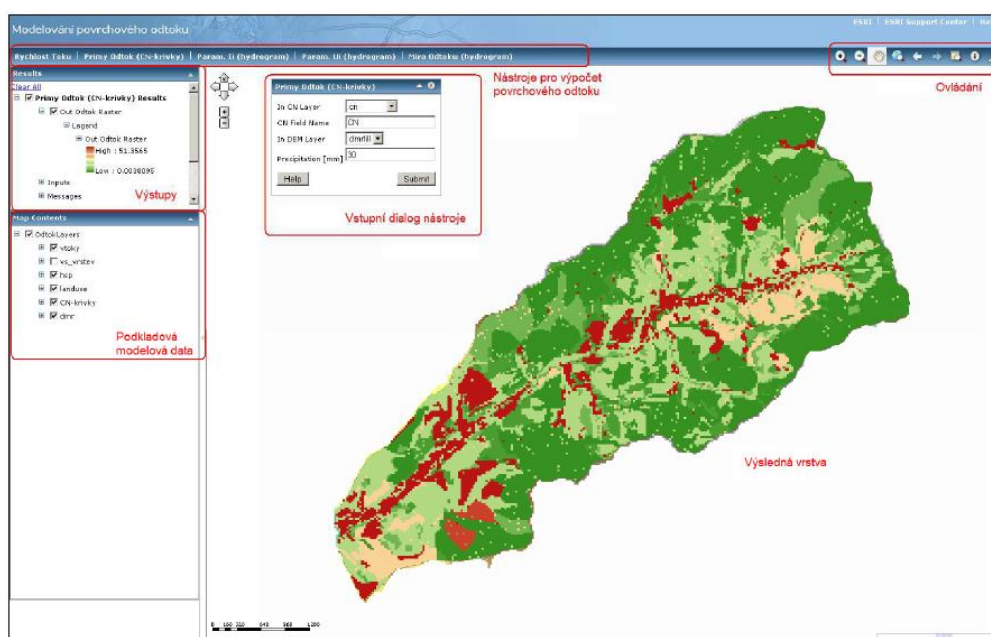
Na zmíněné Katedře geografie vznikají také diplomové práce věnující se vodní retenci. Příkladem může být Zelinka (2008) který se zabývá měřením retence lužního lesa. V souvislosti s povodňovou ochranou považuje opatření uplatněná v nivě za ta neúčinnější, přesahující efekt velkých vodohospodářských staveb. Tvrzení podporuje kalkulaci Hnutí DUHA (1999), ze které vyplynulo, že při velké povodni na Moravě roku 1997 zachytil každý ze tří velkých komplexů lužních lesů, luk a mokřadů stejně vody, jako byl tehdy retenční objem všech nádrží na Moravě (Graf 3.2).



Graf 3.2 Zadrženi vody při povodních v roce 1997, zdroj: Hnutí DUHA (1999)

Na katedře geoinformatiky se tématu vodní retence krajiny dlouhodobě věnuje doc. Pechanec. Svě obecné zaměření na enviromentální geoinformatiku uskutečňuje vedením závěrečných prací absolventů této katedry (např. Pavková 2010) a vlastními výzkumy založenými na spolupráci se zainteresovanými českými ústavy i předními výzkumníky. Jako příklad jeho současné práce může sloužit „Modelování retenční vodní kapacity krajiny“ mířené k eliminaci následků povodní (Pechanec a kol., 2020).

Pavková (2010) v rámci své diplomové práce pod vedením toho času doktora Pechance vytvořila toolbox v prostředí ArcGIS Serveru umožňující spočítat mimo jiné i výšku přímého odtoku. Svůj nástroj publikovala jako geoprocessing službu na serveru katedry geoinformatiky. To umožňuje uživateli připojit se ke službě a analyzovat s ní vlastní data. Vygenerovanou rasterovou vrstvu si pak může uživatel uložit lokálně. Druhým výstupem Pavkové (2010) byla samostatná webová aplikace (Obrázek 3.7), která umožňuje nad pevnými daty provádět vedle dalších také výpočet výšky přímého odtoku a měnit vstupní parametry.



Obrázek 3.7 Náhled webové aplikace, zdroj: Pavková, 2010

4 STANDARDNÍ METODA CN KŘIVEK

4.1 Teorie

4.1.1 Standardní metoda CN křivek

Standardní metodou CN křivek se rozumí určení čísel odtokových křivek podle metody U.S. Soil Conservation Servis (SCS, 1972) v českém překladu uvedeném v metodice Ochrana zemědělské půdy před erozí. (Janeček a kol., 2012)

Jádrem standardní metody CN křivek je Tabulka CN podle využití půdy vložená do práce jako Příloha 1. Tabulka přiřazuje CN čísla plochám na základě: využití půdy, způsob obdělávání, hydrologických podmínek a hydrologických skupin půd.

Metodika zná 12 druhů využití půdy: 4 druhy obdělávání polí, pastviny, louky, křoviny, sady, lesy, dvory, komunikace a nepropustné plochy. Způsob obdělávání rozlišuje zejména přímé a vrstevnicové řádky na polích a také případné posklizňové zbytky vegetace. Hydrologické podmínky pro pole závisí na zapojení porostu během roku a u lesů jde zejména o mocnost hrabanky. Přesně definované kategorie jsou podrobně definovány v samotném textu metodiky. Posledním rozlišujícím faktorem je hydrologická skupina půdy A, B, C nebo D.

Ze získaných CN čísel lze na základě výše uvedených vztahů 3.4 a 3.5 vypočítat pro plochy výšku odtoku a vztahem 3.6 určit objem vody odtečené z plochy.

4.1.2 Zpřesnění počátečních ztrát

Zpřesnění aktuální hodnoty počátečních ztrát zachovává vypočtená CN čísla středních hydrologických podmínek a z nich vycházející maximální retenci. Aktuální hodnota počátečních ztrát je zpřesněna na základě srážkového úhrnu předešlých dní. Namísto pevných 20 % z maximální možné retence, jak je tomu ve standardní metodice, se aktuální hodnota počátečních ztrát vypočítá podle výše uvedeného vztahu 3.8 s použitím srážkového úhrnu posledních pěti dní. Úprava počátečních ztrát má přímý vliv na změnu výšky a objemu odtoku.

4.2 Data

Výchozími daty pro aplikování standardní metody CN křivek je volně dostupná datová sada **OpenStreetMaps**. Vedle hranice povodí řeky Dřevnice byla také použita vrstva **hydrologických skupin půd**, kterou spravuje ÚHÚL, pro určení HSP lesů a vrstva **bonitovaných půdně ekologických jednotek** spravovanou VÚMOP k určení hydrologické půdní skupiny nezalesněné plochy.

4.3 Postup

4.3.1 Standardní metoda CN křivek

Postup zpracování metodiky začal nahráním a zpracováním vrstvy OSM. Klíčový atribut Landuse byl rozdělen na les (kategorie Forest) a zbytek. Ukázalo se navíc, že vrstva OSM není kompletní a obsahuje prázdná místa, která tvoří 12 % rozlohy zájmového území.

Lesům byla přidělena hodnota CN na základě prostorového průniku s vrstvou hydrologických skupin půd. Zbylým segmentům lesů, kam nezasahovala vrstva HSP od ÚHÚL byla přidělena CN nejbližšího polygonu. Rozlišením hydrologických podmínek na dobré, střední a špatné vznikly tři varianty vrstvy. CN byla záznamům přidělena podle převodní tabulky (Příloha 1). Ve vrstvě HSP od ÚHÚL se vyskytovaly nejednoznačné hodnoty HSP – AB, BC, CD. Těmto přechodovým půdám bylo přiděleno průměrné CN (konkrétně pro střední variantu 48, 66, 76).

U **nelesních** polygonů musely být OSM kategorie převedeny na kategorie, se kterými pracuje metodika podle následujícího klíče:

Tabulka 4.1 Převedení kategorií OSM dat na kategorie metodiky

Kategorie využití OSM	Kategorie využití metodiky	Použitý název v attributech dat
Allotments	Zemědělské dvory	dvur
Meadow	Louky	louka
Park	Křoviny s pokryvem	krovi
Grass	Pastviny s pokryvem	pastvina
Industrial	Nepropustné plochy	nepropustne
Cemetery	Komunikace s příkopy	komunikace
Farm	Úzkořádkové plodiny (obiloviny)	pole
Nature reserve	Křoviny s pokryvem	krovi
Orchard	Sady se zatravněným stromořadím	sad
Quarry	Křoviny s pokryvem	krovi
Recreation ground	Komunikace s příkopy	komunikace
Residential	Nepropustné plochy	nepropustne
Scrub	Křoviny s pokryvem	krovi
Vineyard	Louky	louka

Převod kategorií neprobíhal pouze na základě překladu a hledání nejpodobnější kategorie z metodiky, ale vždy bylo bráno v potaz ortofoto z roku 2012. Protože polygonů v OSM kategoriích bylo značné množství (stovky), nebyly porovnány všechny polygony spadající do dané kategorie s ortofotem, nýbrž převedená kategorie využití podle metodiky byla určena podle pěti až deseti nejrozlehlejších polygonů.

Z vrstvy bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) byla každému nelesnímu polygonu přidělena hodnota hlavní půdní jednotky (2. a 3. číslo BPEJ). Obdobně jako pro HSP u lesů, když výjimečně docházelo k tomu, že se nelesní polygon nacházel mimo polygon BPEJ, byla mu přidělena hodnota nejbližšího HPJ.

Se znalostí HPJ a podle následující metodiky byla nelesním územím definována hydrologická skupina půd.

Tabulka 4.2 Převodní tabulka BPEJ, resp. HPJ na HSP, zdroj: Janeček a kol., 2012

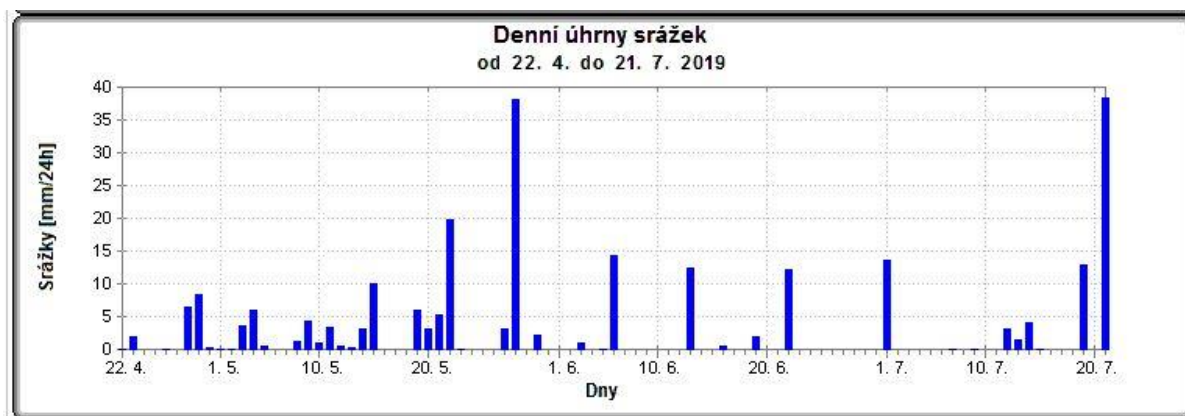
HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická skupina půd	HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická skupina půd	HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická skupina půd
1	B	27	B	53	D
2	B	28	B	54	D
3	C	29	B	55	A
4	A	30	B	56	B
5	A	31	A	57	C
6	C	32	A	58	C
7	D	33	B	59	D
8	B	34	B	60	B
9	B	35	B	61	D
10	B	36	B	62	C
11	B	37	B	63	D
12	B	38	B	64	C
13	B	39	C	65	C
14	B	40	B	66	D
15	B	41	B	67	D
16	B	42	B	68	D
17	A	43	B	69	D
18	B	44	C	70	D
19	B	45	C	71	D
20	D	46	C	72	D
21	A	47	C	73	D
22	B	48	C	74	D
23	C	49	D	75	C
24	B	50	C	76	D
25	B	51	C	77	C
26	B	52	C	78	C

Pak už mohlo být každému polygonu přiděleno CN číslo na základě tabulky v Příloze 1.

Do třetice bylo nutné kategorizovat **chybějící území** vrstvy OSM uvnitř povodí. Těchto ploch se v povodí nacházelo přes 7000, často velmi malých rozměrů. Byla proto stanovena hranice 1 ha a polygony větší byly jeden po druhém kategorizovány podle ortofota, zatímco polygonům menším byla přidělena kategorie nejbližšího souseda. Dvěma polygonům vodních ploch – nádržím Slušovice a Fryšták, byla přidělena CN hodnota 100.

4.3.2 Zpřesnění aktuální hodnoty počátečních ztrát

Nejbližší profesionální meteorologická stanice k povodí Dřevnice se nachází v nedalekém Holešově. Z této stanice byly převzaty hodnoty srážkových úhrnů za pět dní pro vegetační a mimo vegetační období. Součet výšek srážek za pět dnů ve vegetačním období činil 51 mm (Obrázek 4.1) a pětidenní srážkový úhrn v období mimo vegetační růst činil 15 mm.



Obrázek 4.1 Denní úhrny srážek pro stanici Holešov, zdroj: ČHMÚ (2019).

Z výše uvedených vztahů byla vypočítána vlhkost přechozích srážek z pěti předešlých dní a aktuální ukazatel počáteční ztráty (vztah 3.8) pro obě varianty předchozích srážek zvlášť. Výpočet výšky, resp. objemu odtoku probíhal opět podle standardní metodiky ovšem s upravenou hodnotou počátečních ztrát.

Z praktického hlediska je někdy názornější porovnávat schopnost území zadržet vodu spíše než objem odtoku. Z toho důvodu byl zaveden pojem objem zadržení, kterým se chápe rozdíl objemu spadené srážky na plochu a objemu odtoku z plochy.

Jak bylo výše popsáno, metoda byla testována pro tři návrhové srážky: 4 mm, 15 mm a 50 mm.

4.4 Výsledek

Výstupem procesu zpracování standardní metodiky byla pro každou alternativu hydrologických podmínek jediná vrstva obsahující atributy hydrologické skupiny půd (hsp), využití půdy v Janečkové kategorii (use_j), číslo odtokové křivky (cn), výšku a objem přímého odtoku pro každou návrhovou srážku (4 mm, 15 mm a 50 mm). Mapa ukazující plošné rozložení CN se nachází v přílohách jako Příloha č. 2.

Výsledek standardní metody shrnuje tabulka 4.3 zobrazující objem odtoku vody pro návrhové srážky vztahený k číslům CN:

Tabulka 4.3 Objem odtečené vody a podíl na ploše pro CN – střední hydrologické podmínky

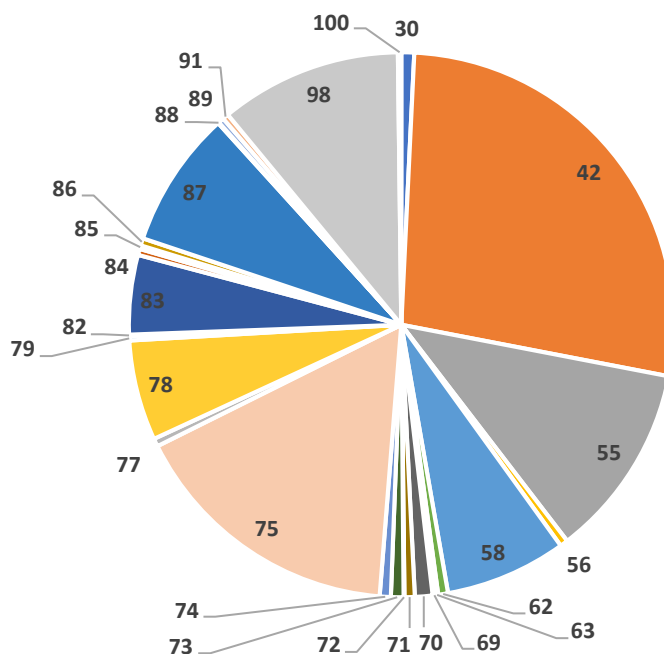
Střední hydrologické podmínky				
CN	Plocha [%]	Objem odtoku pro návrhovou srážku [m ³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
30	0,02	0	0	0
36	0,74	0	0	0
48	27,27	0	0	0
56	0,47	0	0	999
58	6,98	0	0	27024
60	11,55	0	0	70918
65	0,35	0	0	4929

66	0,58	0	0	9374
69	0,20	0	0	4598
70	0,03	0	0	688
71	0,61	0	0	17137
73	1,02	0	0	34637
74	0,66	0	0	24476
76	17,17	0	0	758785
77	0,29	0	0	13947
78	5,96	0	163	309023
79	0,19	0	27	10689
82	0,33	0	362	23220
84	5,07	0	11703	406498
85	0,21	0	670	18360
86	0,43	0	1784	39695
88	8,18	0	54617	854560
89	0,34	0	2789	37431
91	0,36	0	4405	44835
98	10,79	50854	480454	2089026
100	0,20	3502	13134	43781
suma	100,00	54356	570109	4844631

Obdobné souhrnné tabulky objemu odtoku k CN číslům pro alternativu špatných a dobrých hydrologických podmínek jsou v Příloze 3 a 4.

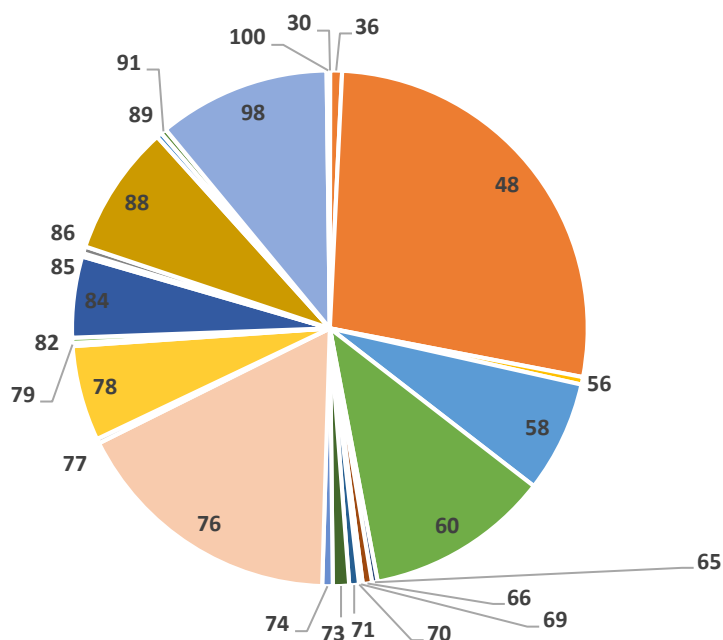
Pro vizuálně snazší porovnání alternativ metody mezi sebou byla výstupní data převedena do grafů. Následující tři grafy 4.1, 4.2 a 4.3 ukazují plošné zastoupení CN čísel v povodí.

Poměr zastoupení plochy CN v zájmovém území
dobré hydrologické podmínky

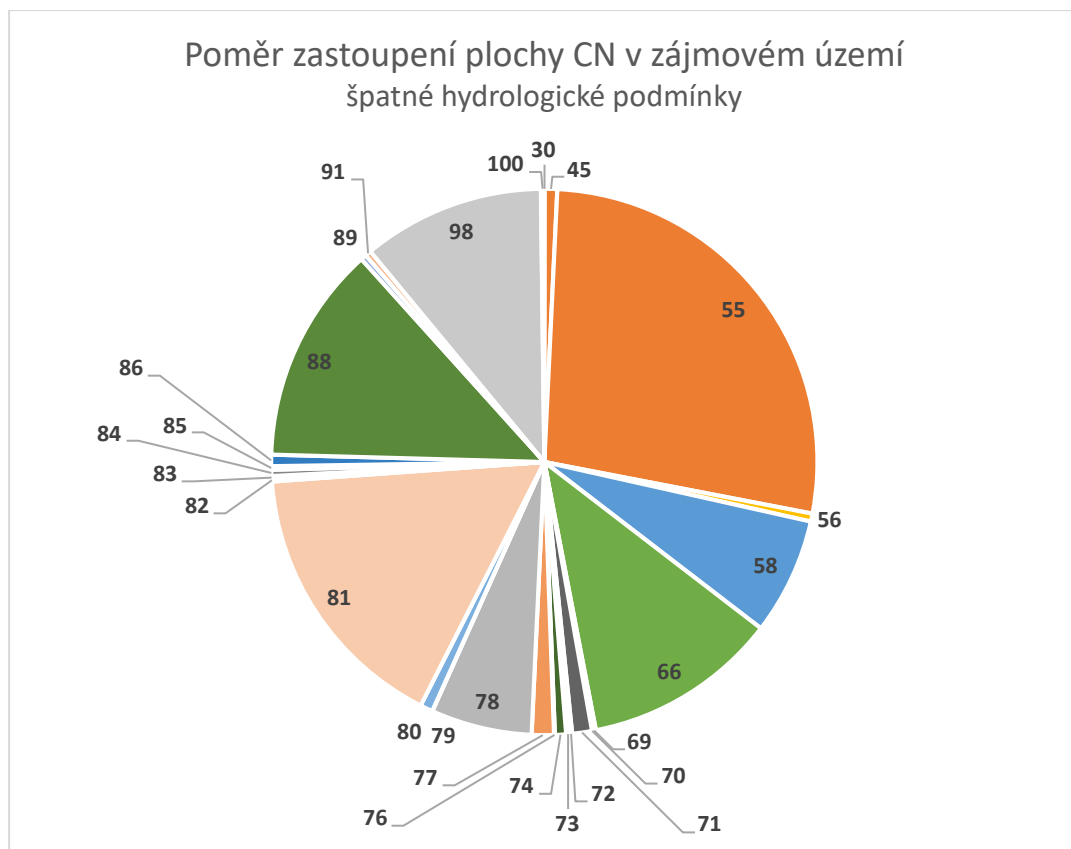


Graf 4.1 Poměr plošného zastoupení CN čísel – dobré hydrologické podmínky

Poměr zastoupení plochy CN v zájmovém území
střední hydrologické podmínky



Graf 4.2 Poměr plošného zastoupení CN čísel – střední hydrologické podmínky



Graf 4.3 Poměr plošného zastoupení CN čísel – špatné hydrologické podmínky

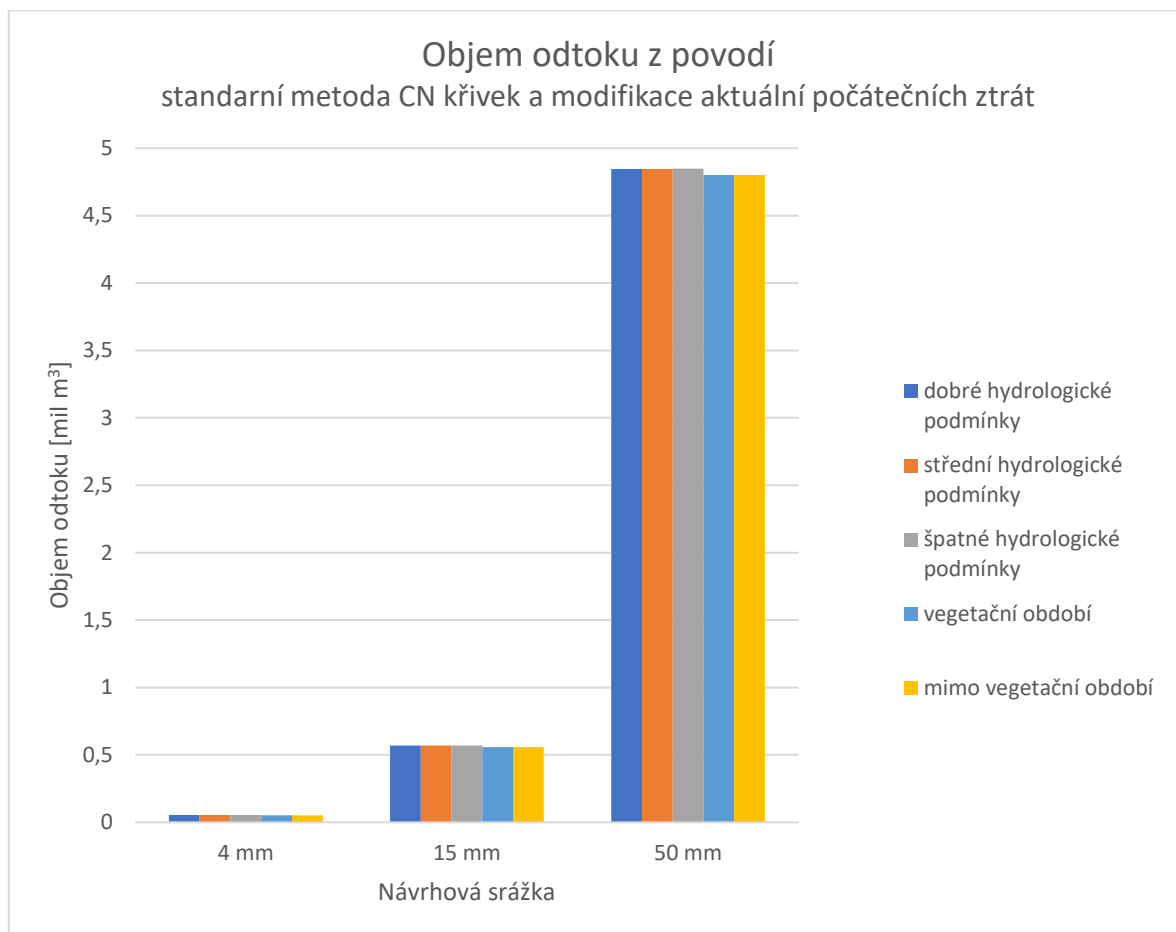
Již na první pohled je patrné, že lepší hydrologické podmínky znamenají nižší CN čísla. S tím musí korespondovat i průměrná CN čísla vážená plochou (Tabulka 4.4).

Tabulka 4.4 Průměrná CN vážená plochou pro alternativy hydrologických podmínek

Hydrologické podmínky	Dobré	Střední	Špatné
Průměrné CN (zaokrouhleno)	66	69	73

Zastoupení CN ve středních hydrologických podmínkách je totožné s modifikací indexu předchozích srážek

Následující graf porovnává celkové objemy odtoku z povodí pro alternativy hydrologických podmínek i alternativy modifikace indexem předchozích srážek ve všech třech návrhových srážkách.



Graf 4.4 Srovnání objemů odtoku v závislosti na hydrologických podmínkách

Pro 4 mm srážku je objem odtoku počítaný standardní metodou CN křivek při jakýchkoliv hydrologických podmínkách totožný. Ve vegetačním období je lehce menší. Mimo vegetační období způsobuje málo nasycená půda vysoké počáteční ztráty a objem odtoku je v porovnání s ostatními nejmenší. Pro 15 a 50 mm srážku je rozdíl objemů celkového odtoku podle standardní metody nepatrně větší v horších hydrologických podmínkách, jelikož nejsou schopné účinně zadržovat vodu. S aplikací úpravy aktuální počáteční ztráty se objem odtoku mírně zmenšuje jak ve vegetačním, tak mimo vegetační období (Tabulka 4.5).

Tabulka 4.5 Objem odtoku pro alternativy standardní metody CN křivek (v mil. m³)

Návrhová srážka		Objem přímého odtoku [m ³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
Hydrologické podmínky podle prof. Janečka	dobré	0,0544	0,5701	4,8446
	střední	0,0544	0,5701	4,8446
	špatné	0,0544	0,5701	4,8473
Modifikace indexem předchozích srážek	vegetační období	0,0512	0,5583	4,8008
	mimo vegetační období	0,0509	0,5570	4,8008

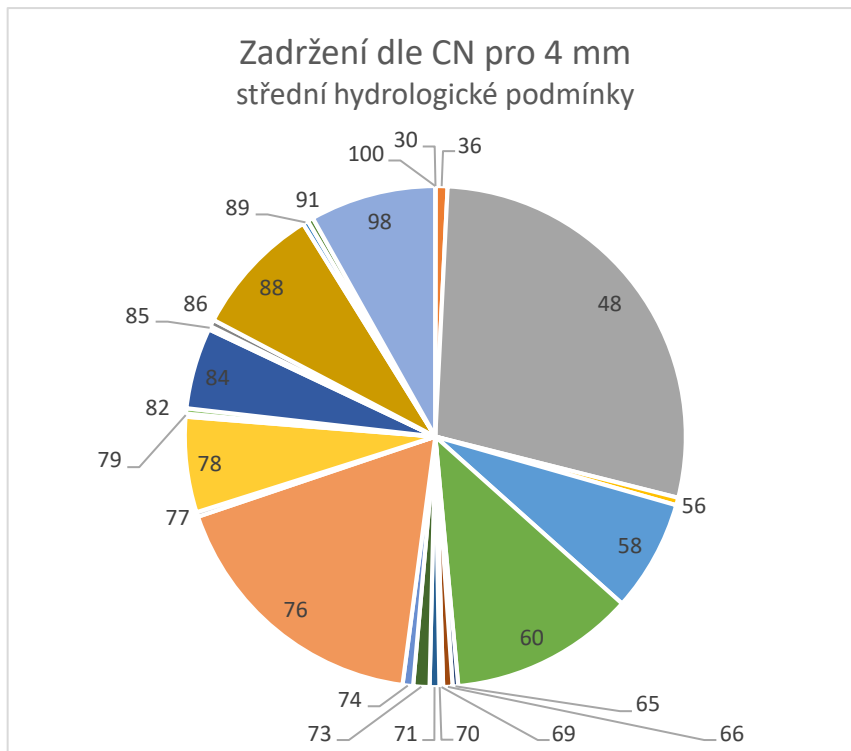
Dále bylo na alternativě středních hydrologických podmínek zkoumáno, jak se na zadržení objemu odtoku podílejí jednotlivá CN čísla a druh využití půdy. Absolutní i relativní hodnoty zadržení vzhledem k CN shrnuje (Tabulka 4.6).

Tabulka 4.6 Objem zadržení odtoku pro střední hydrologické podmínky

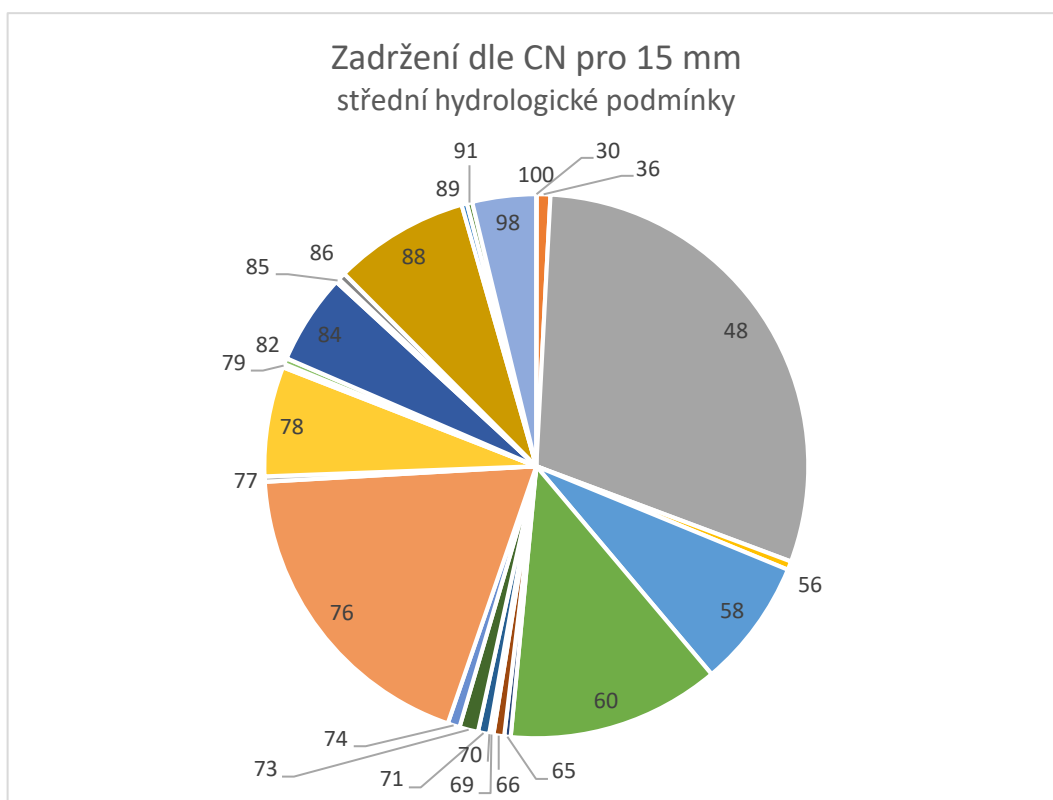
CN	Objem zadržení [m ³] pro návrhovou srážku			Procento zadržení objemu [%] pro návrhovou srážku		
	pro 4 mm	pro 15 mm	pro 50 mm	pro 4 mm	pro 15 mm	pro 50 mm
30	385	1444	4813	0,0	0,0	0,0
36	12935	48507	161691	0,8	0,8	0,9
48	477099	1789123	5963742	28,1	29,9	35,0
56	8235	30882	101940	0,5	0,5	0,6
58	122050	457689	1498606	7,2	7,6	8,8
60	202133	757998	2455740	11,9	12,7	14,4
65	6129	22983	71682	0,4	0,4	0,4
66	10213	38298	118286	0,6	0,6	0,7
69	3518	13194	39382	0,2	0,2	0,2
70	474	1776	5233	0,0	0,0	0,0
71	10655	39958	116055	0,6	0,7	0,7
73	17801	66752	187871	1,1	1,1	1,1
74	11497	43115	119240	0,7	0,7	0,7
76	300499	1126872	2997455	17,7	18,8	17,6
77	5092	19094	49701	0,3	0,3	0,3
78	104244	390754	994031	6,1	6,5	5,8
79	3339	12494	31046	0,2	0,2	0,2
82	5822	21472	49557	0,3	0,4	0,3
84	88704	320936	702299	5,2	5,4	4,1
85	3745	13372	28447	0,2	0,2	0,2
86	7575	26622	54993	0,4	0,4	0,3
88	143176	482292	935137	8,4	8,1	5,5
89	5883	19274	36111	0,3	0,3	0,2
91	6215	18899	32848	0,4	0,3	0,2
98	137874	227278	270078	8,1	3,8	1,6
100	0	0	0	0,0	0,0	0,0
celkem	1695293	5991075	17025984	100	100	100

Tabulky absolutního a relativního zadržení objemu při zpřesnění hodnoty aktuální počáteční ztráty ve vegetační a mimo vegetační období se velmi podobají výše uvedené tabulce, proto jsou uvedeny jako Přílohy 5 a 6.

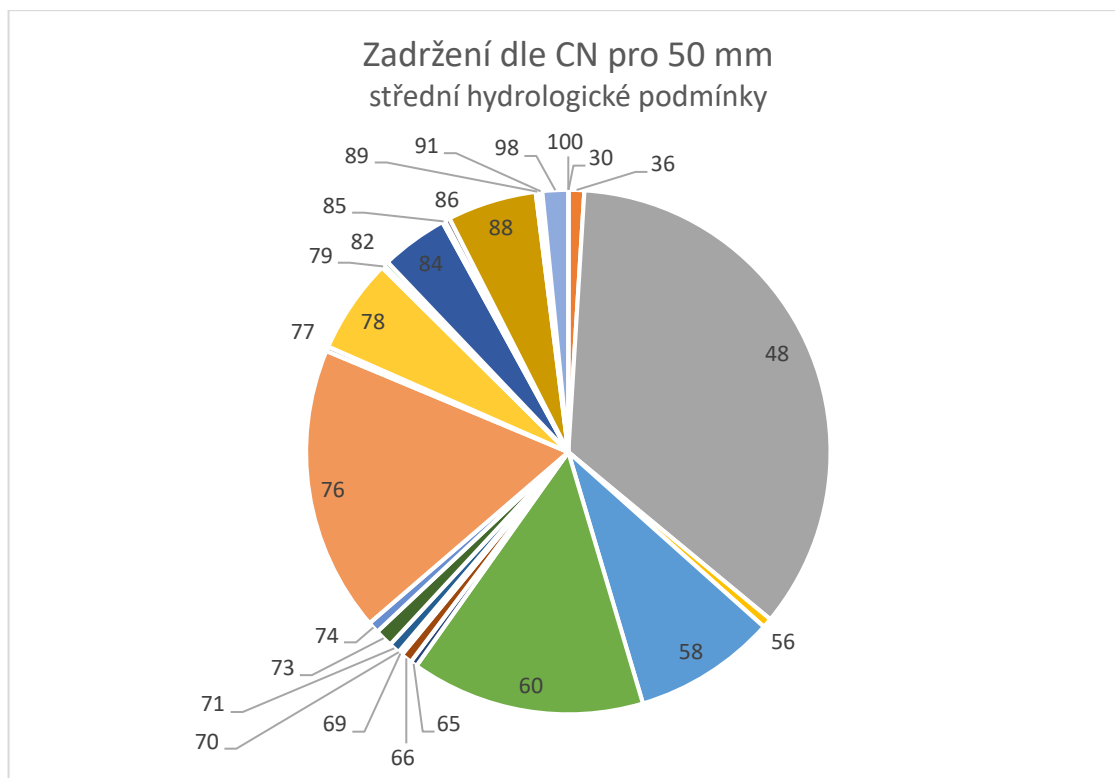
Rychlou přibližnou představu zadržení objemu odtoku jednotlivými čísly CN ukazují grafy 4.5, 4.6 a 4.7.



Graf 4.5 Podíl zadržení objemu odtoku pro CN čísla – 4 mm



Graf 4.6 Podíl zadržení objemu odtoku pro CN čísla – 15 mm



Graf 4.7 Podíl zadržení objemu odtoku pro CN čísla – 50 mm

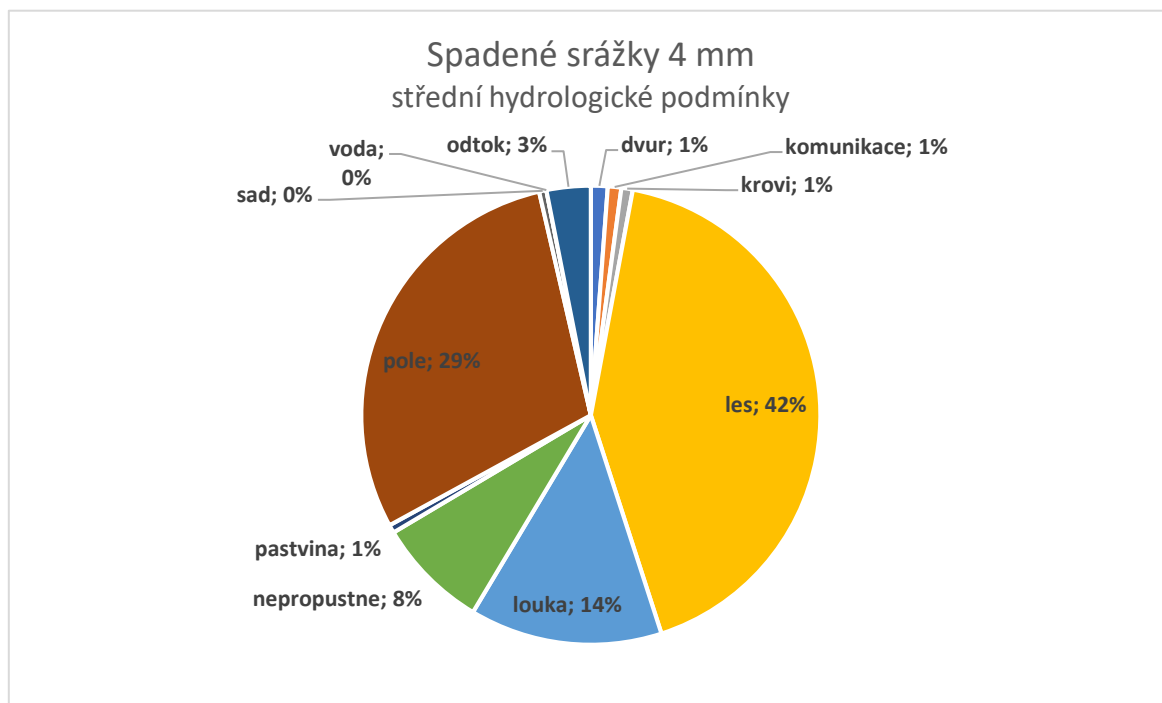
Z porovnání grafů lze pozorovat, že pro nízká CN podíl zadrženého objemu odtoku s vyšší návrhovou srážkou roste, zatímco pro nadprůměrná CN podíl s rostoucí srážkou klesá. Prakticky řečeno: čím vydatněji prší, tím z hlediska zadržení vody získávají na významnosti plochy s nízkými CN čísly.

Nakonec byl srovnáván objem zadržení pro různé typy využití půdy. Objem v m³ a procentuální podíl zadržení udává tabulka 4.7 a pro lepší představivost grafy 4.7, 4.8 a 4.9:

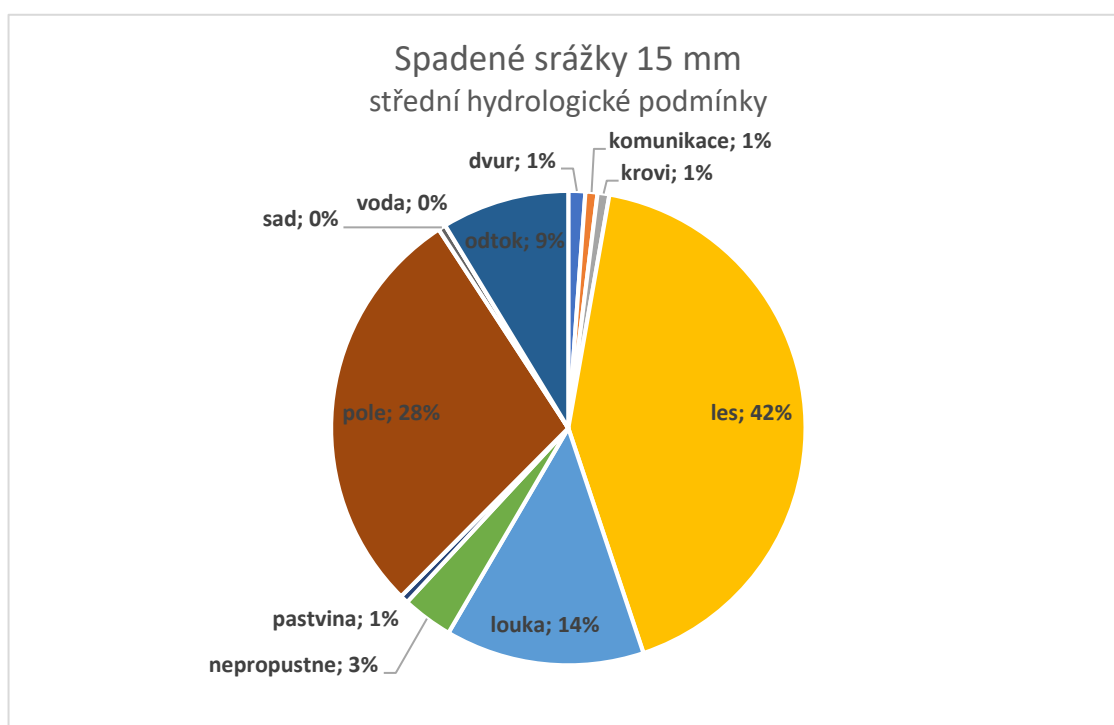
Tabulka 4.7 Zadržení objemu podle typu využití půdy

Landuse	Objem zadrženého odtoku [m ³] pro návrhovou srážku			Podíl na zadržení odtoku [%] pro návrhovou srážku		
	4 mm	15 mm	50 mm	4 mm	15 mm	50 mm
Dvur	20667	75620	187811	1,2	1,2	0,9
Komunikace	16566	53980	102129	0,9	0,8	0,5
Krovi	14094	52740	158789	0,8	0,8	0,7
Les	736399	2761469	9046971	42,1	42,1	41,4
Louka	237335	889844	2613504	13,6	13,6	11,9
Nepropustne	137874	227278	270078	7,9	3,5	1,2
Pastvina	10025	36757	91152	0,6	0,6	0,4
Pole	513315	1859833	4465013	29,3	28,3	20,4
Sad	9018	33554	90537	0,5	0,5	0,4
Voda	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Celkem	1695293	5991075	17025984	96,9	91,3	77,8

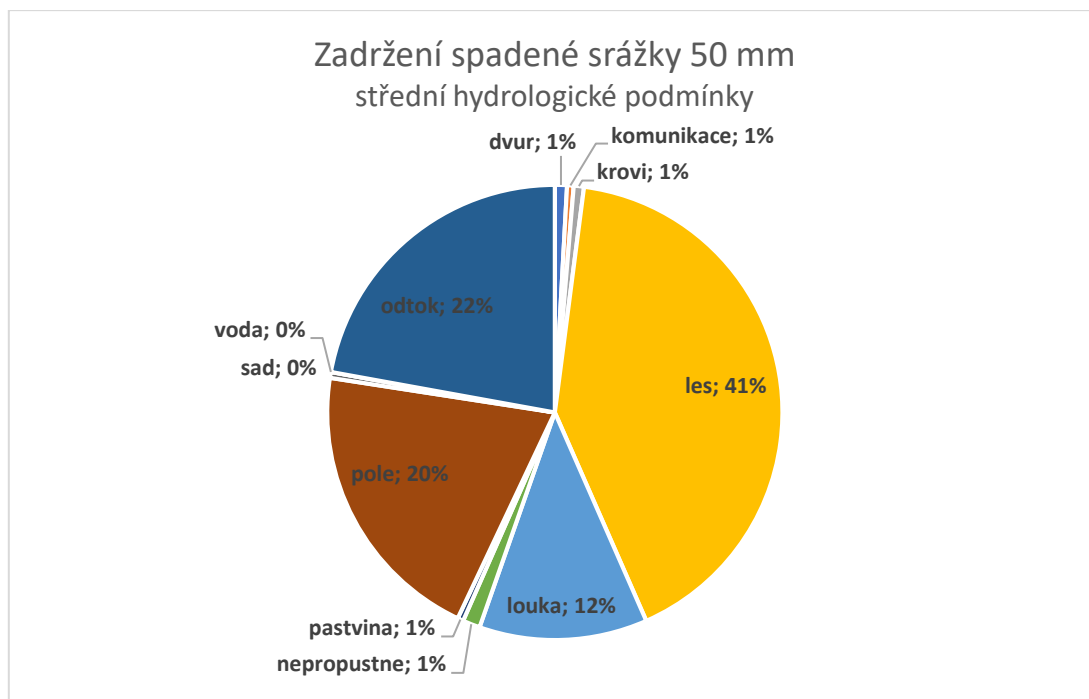
S rostoucí návrhovou srážkou jednotlivé podíly zadržené vody klesají a roste podíl objemu vody, která není nijak zadržena a odtéká z povodí. Sto procent v tomto případě tvoří objem spadených srážek. Jednotlivé díly grafu vyjadřují procentuální zadržení objemu spadené srážky, případně objemu odtoku.



Graf 4.8 Podíl objemu zadržené srážky a odtoku podle využití půdy - 4 mm



Graf 4.9 Podíl objemu zadržené srážky a odtoku podle využití půdy - 15 mm



Graf 4.10 Podíl objemu zadržené srážky a odtoku podle využití půdy - 50 mm

Je důležité upozornit, že procentuální podíl objemu zadržené srážky závisí na celkové ploše kategorie využití půdy. I když například pastviny zadrží velkou část spadené srážky, její podíl na celkovém zadrženi srážek spadených na povodí je mizivý. To proto, že celková plocha pastvin je v povodí velmi malá. Naopak je tomu u nepropustných ploch. Přestože zadrží minimum srážek, kvůli své velké rozloze je jejich podíl zadržného objemu pro malé srážky významný. Nicméně z porovnání grafů je patrné, že s vyšší srážkou se podíl jednotlivých kategorií využití půdy zmenšuje. To je dáno tím, že přibývá vody, kterou žádná kategorie nezachytí a voda odteče. Výjimkou je kategorie lesů. Čím je plocha kategorie větší, tím je náchylnější na změnu podílu zachyceného objemu srážky při změně návrhové srážky. Přesto podíl zachycené vody v kategorii lesů zůstává stabilní. To je dáno jejich vysokou retenční schopností. Jinými slovy, čím více prší, lesy zachycují stále stejný podíl celkového objemu. Podíl ostatních kategorií klesá na úkor odtoku.

5 METODIKA VÝZKUMNÉHO ÚSTAVU MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, V.V.I.

5.1 Teorie

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy na základě srovnání více pramenů vytvořil kategorizaci hlavních půdních jednotek podle infiltrační schopnosti (Tabulka 5.1).

Tabulka 5.1 Kategorizace HPJ podle Nováka a kol. (2006)

Hydrologická skupina půd	HPJ (2. a 3. číslo BPEJ)	Mapová skupina půd	Rychlost infiltrace [mm/min]	Slovní označení propustnosti
A	04, 17, 21, 31, 32, 34, 37, 55 lesní půdy skupiny 1	1	> 0,20	vysoká
B	05, 13, 22, 27, 29, 30, 36, 38, 40, 41 lesní půdy skupiny 2	2	0,15 – 0,20	vyšší střední
	01,02, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 25, 26, 28, 33, 35, 42, 43, 56, 60 lesní půdy skupiny 3	3	0,10 – 0,15	střední
C	03, 06, 18, 23, 24, 39, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 58, 62, 64, 65, 77, 78 lesní půdy skupiny 4	4	0,05 – 0,10	nížší střední
D	07, 20, 49, 53, 54, 57, 59, 61, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76 lesní půdy skupiny 5	5	< 0,05	nízká

5.2 Data

Pro převod hlavních půdních jednotek do aktualizovaných hydrologických skupin půd byla použita vektorová vrstva HPJ. S novými HSP byly nahrazeny údaje o HSP ve vrstvě standardní metodiky CN křivek.

K porovnání sloužila již hotová vrstva infiltračních skupin půd tvořena rasterem s rozlišením 1 x 1 km. Tato hotová vrstva obsahuje jedinou informaci, kterou je rozdělení pixelů do mapových skupin půd z Tabulky 5.1.

5.3 Postup

První část této podkapitoly se zabývá postupem zpracování alternativní klasifikace hlavních půdních jednotek. Druhá část popisuje postup zpracování mapy hydrologických skupin půd.

5.3.1 Alternativní klasifikace hlavních půdních jednotek

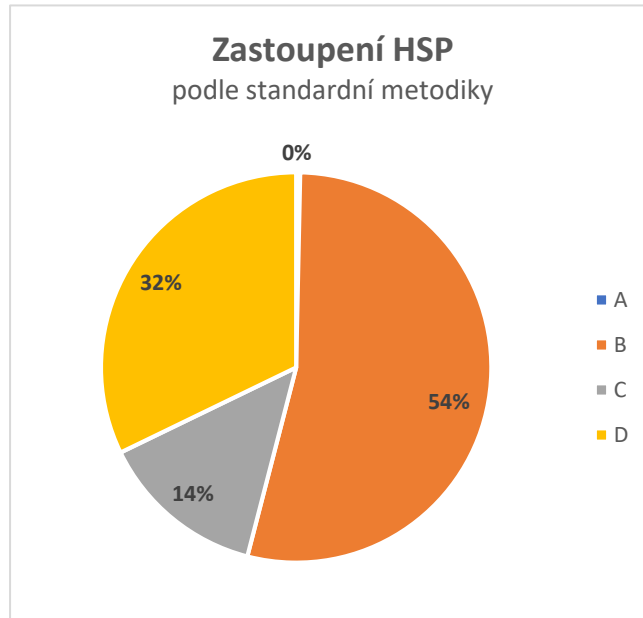
Vrstvě polygonů HPJ byl na základě kategorií z Tabulky 5.1 přidělen nový atribut HSP. Tato alternativní vrstva HSP byla převedena na geometrii nelesních polygonů standardní metodiky CN křivek. Poté proběhl přepočítání objemu odtoku s novými hodnotami atributů vrstvy nelesních pozemků podle postupu standardní metodiky (vztahy 3.4, 3.5 a 3.6).

5.3.2 Mapa hydrologických skupin půd

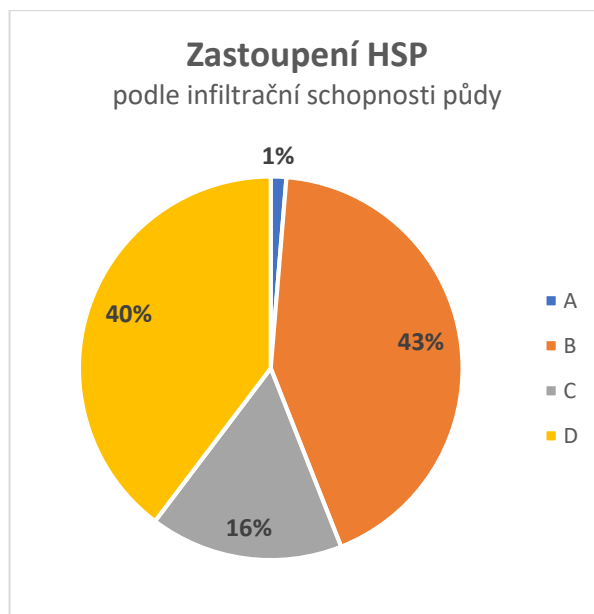
Rasterová vrstva infiltračních schopností půd byla vektorizována a hodnota mapové skupiny půd byla podle Tabulky 5.1 převedena do atributu hydrologické skupiny půd. Byla vytvořena nová vrstva objemu přímého odtoku přepočítaná na základě alternativních hodnot hydrologické skupiny půd z této vrstvy.

5.4 Výstup

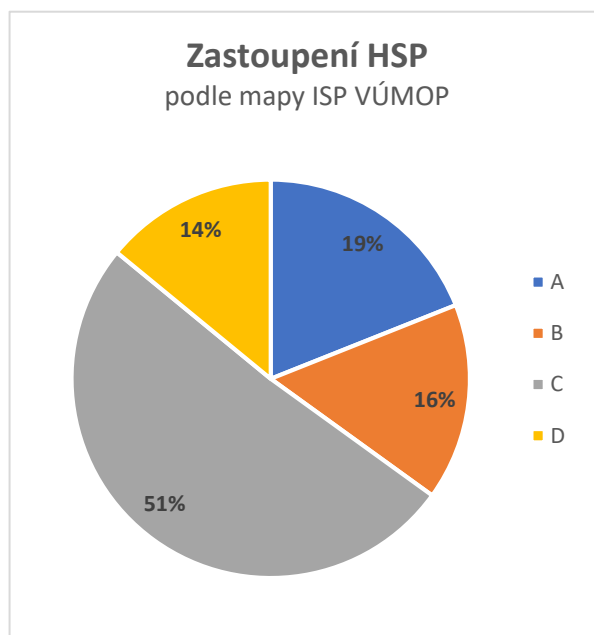
Změnu plošného rozložení HSP ukazují mapy v Přílohách č. 7, 8 a 9. Následující grafy porovnávají zastoupení hydrologických skupin půd v zájmovém území:



Graf 5.1 Zastoupení HSP ve standardní metodice



Graf 5.2 Alternativní zastoupení HSP podle nové kategorizace z HPJ



Graf 5.3 Zastoupení HSP v vrstvě ISP od VÚMOP

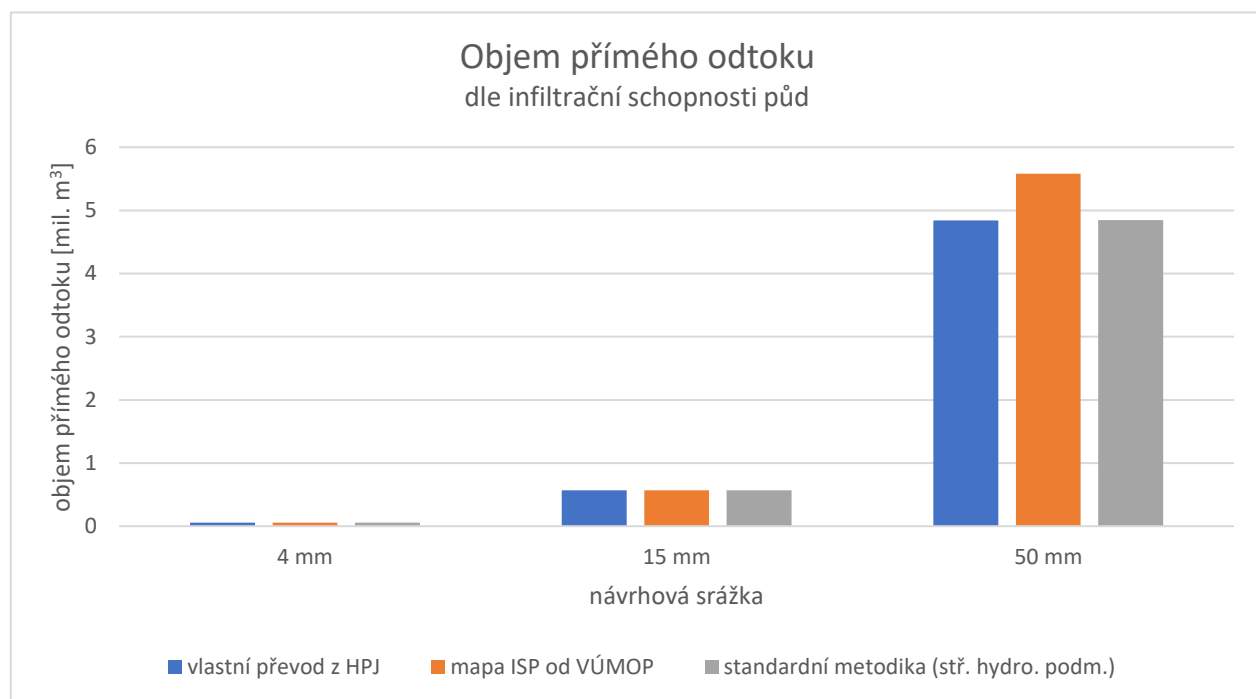
Rozdíly zastoupení jednotlivých skupin HSP mezi sebou ve standardní metodice a při alternativním určení HSP podle Tabulky 5.1 dosahují nejvýše 10 %. Oproti tomu zastoupení v poskytnuté rasterové vrstvě VÚMOP je značně odlišné. Původně dominantní skupiny B a D ustupují do pozadí na úkor skupin A a C.

Na nelesním území byl vypočten rozdíl objemu přímého odtoku mezi standardní metodikou a nově určenými HSP z vrstvy HPJ. Vypočtené hodnoty uvádí tabulka 5.2.

Tabulka 5.2 Objem odtoku alternativního určení HSP odečtený od objemu odtoku určeného podle standardní metodiky

Rozdíl objemu odtoku [m ³] pro návrhovou srážku		
4 mm	15 mm	50 mm
0	0,04	1593,21

Rozdíl v objemu odtoku pro čtyřmilimetrovou srážku neovlivní způsob kategorizace HPJ vůbec a 15 mm zanedbatelně. Při 50 mm přívalovém dešti způsob určení HSP z HPJ má za následek rozdíl odhadu objemu odtoku o bezmála 1 600 m³.



Graf 5.4 Srovnání objemu přímého odtoku

Při nižších návrhových srážkách rozdíl není patrný, ale u návrhu extrémního přívalového deště je na první pohled patrné, že data získaná z vrstvy ISP vytvořené VÚMOP vybočují z ostatních modelů. Na druhou stranu, vezme-li se v potaz kilometrové rozlišení pixelu zmíněné vrstvy, lze 15 % odchylku považovat za dobrý výsledek.

6 METODIKA ÚSTAVU PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ

6.1 Teorie

Macků (2011) v metodice ÚHÚL vychází z předpokladu, že lesní porost svou prostou existencí usměrňuje oběh vody tak, že ve srovnání s holým povrchem:

- zvyšuje absolutní množství srážek tvorbou horizontálních srážek,
- zvyšuje celkovou hodnotu výparu intercepce a transpirací, přestože snižuje výpar z půdy,
- převádí větší množství srážkové vody do půdy zvýšeným vsakem a vytváří předpoklady pro jejich větší akumulaci v půdě,
- snižuje velikost povrchového svahového odtoku a tím zmenšuje předpoklady pro tvorbu erozních škod a zároveň zpomalením odtoku významně přispívá ke snížení kulminačních průtoků.

6.2 Data

Metodika ÚHÚL převážně využívá data z OPRL. K rozlišení porostů na jehličnaté listnaté a smíšené byla využita datová sada **Corine Land Cover**. Její verze pro rok 2018 je k dispozici ke stažení na webových stránkách programu Copernicus. Dále metodika využívá data o stáří porostu. K tomu byla použita neveřejná vrstva **věkových tříd** lesních porostů od ÚHÚL. Nakonec do procesu vstupovaly hydrologické skupiny půd. Metodika zároveň uvádí převodní tabulku (Tabulka č. 3.12), jak typ hydrologické skupiny půd odvodit podle **typologické jednotky** pro soubor lesních typů. Tato neveřejná vrstva byla pro účely výpočtu také poskytnuta vedoucím práce.

Ke srovnání sloužila již hotová **vrstva CN křivek** vytvořená ÚHÚL.

6.3 Postup

K žádané vrstvě CN se metodika ÚHÚL dostává přes několik tabulek a převodů mezi nimi. Po shromáždění potřebných vrstev uvedených v předchozí podkapitole byla určena věková třída lesních porostů. Dle lesnického slovníku pojmů (Mezi Stromy, 2019) první věková třída odpovídá stáří porostu od 1 do 20 let, druhá od 21 do 40 let atd. Pomocí tohoto klíče byla rozšířena tabulka metodiky a věková třída převedena na věkovou fázi (Tabulka 6.1).

Tabulka 6.1 Vývojová fáze porostu, upraveno podle: Macků (2011)

Původní tabulka metodiky		Údaje z datové vrstvy
Fáze	Věk v letech	Věková třída
VN	holina, do 10	1
VS	11–65	2, 3
VM	nad 66	4, 5, 6

Na základě právě určené věkové fáze porostů a druhového rozdělení lesů vycházejícího z dat CLC 2018 byl podle Tabulky 3.9 určen stupeň hydrologických podmínek.

Hydrologické podmínky porostu jsou jednou proměnou vstupující do finálního určení CN. Druhou neznámou je hydrologická skupina půdy. Tabulka 3.12 přináší způsob, jak ji určit podle dostupných údajů typologických jednotek souboru lesních typů.

Jakmile jsou známy hydrologické skupiny porostu i půdy, určí se podle Tabulky 3.7 čísla odtokových křivek. Pro možnost srovnání výstupů s výsledky standardní metodiky byly vrstvy převedeny na geometrii podle standardní metodiky – tj. lesy podle OSM. Díky tomu také mohlo dojít k nahrazení polygonů lesů ve standardní metodice hodnotami vypočtenými metodou ÚHÚL a porovnání celkového objemu odtoku z povodí.

6.4 Výstup

Stejně jako u předchozí metodiky byla vytvořena modifikovaná vrstva CN, ze které lze určit objem odtoku z lesů v povodí. Dalšími výstupy jsou objemy odtoků a zastoupení v ploše pro dodaná data metodiky ÚHÚL (Tabulka 6.2), standardní metodiku CN křivek (Tabulka 6.3) a vypočtené hodnoty podle metodiky ÚHÚL (Tabulka 6.4).

Tabulka 6.2 Objem přímého odtoku z lesů pro vrstvu CN od ÚHÚL

Vrstva CN od ÚHÚL				
CN	Plocha [%]	Objem odtoku pro návrhovou srážku [m ³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
30	34,92	0	0	64294417
36	25,16	0	0	46316354
55	15,53	0	9411	28594520
60	14,15	0	36563	26052788
66	1,57	0	10637	2897237
70	7,07	0	75619	13009097
73	1,04	0	14922	1917171
77	0,04	0	751	68586
79	0,51	31	12135	947629
součet	100	31	160038	184097800

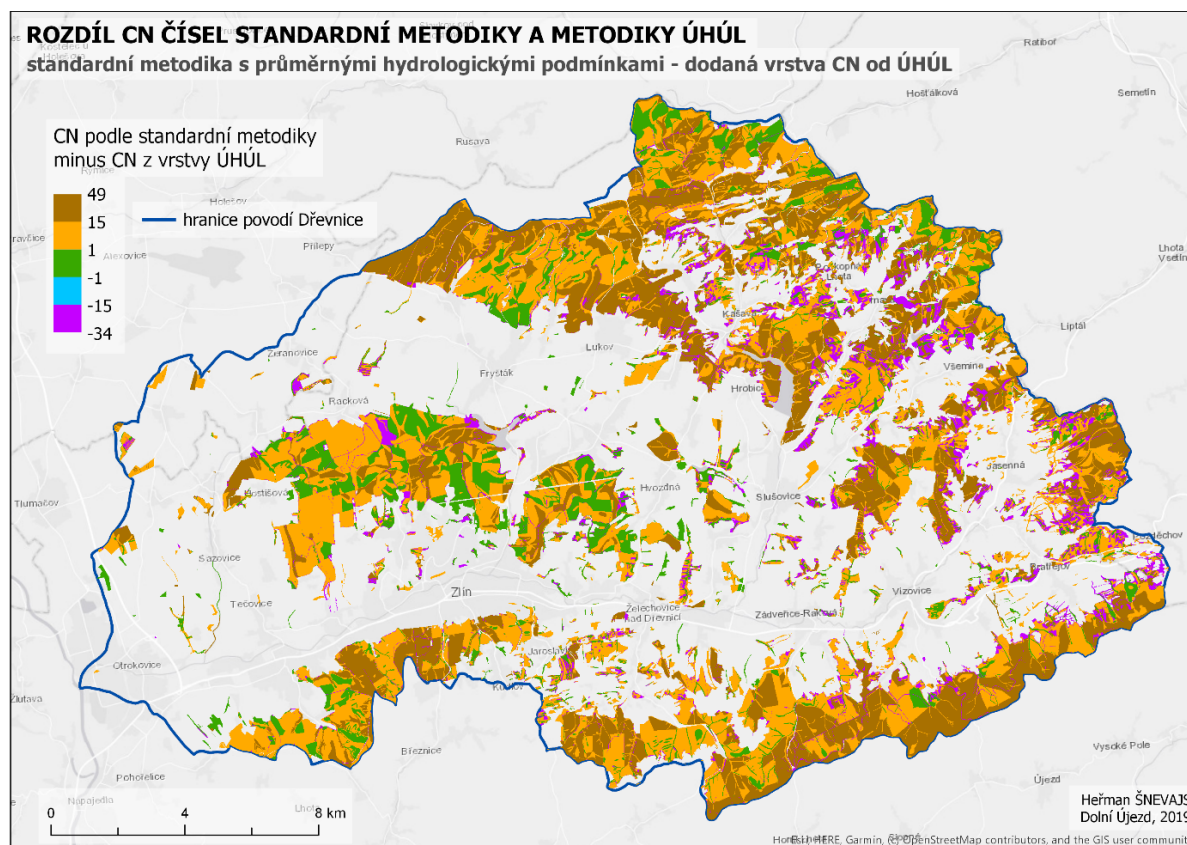
Tabulka 6.3 Objem přímého odtoku z lesů podle standardní metodiky ve středních hydrologických podmínkách

Vrstva CN podle standardní metodiky				
CN	Plocha [%]	Objem odtoku pro návrhovou srážku [m ³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
36	1,76	0	0	3233814
48	64,79	0	0	119274839
60	27,45	0	70918	50533169
66	1,39	0	9374	2553194
73	2,42	0	34637	4450155
76	1,77	0	32993	3266546
79	0,43	26	10090	787943
součet	100	26	158012	184099660

Tabulka 6.4 Objem přímého odtoku z lesů vypočtený podle metodiky ÚHÚL

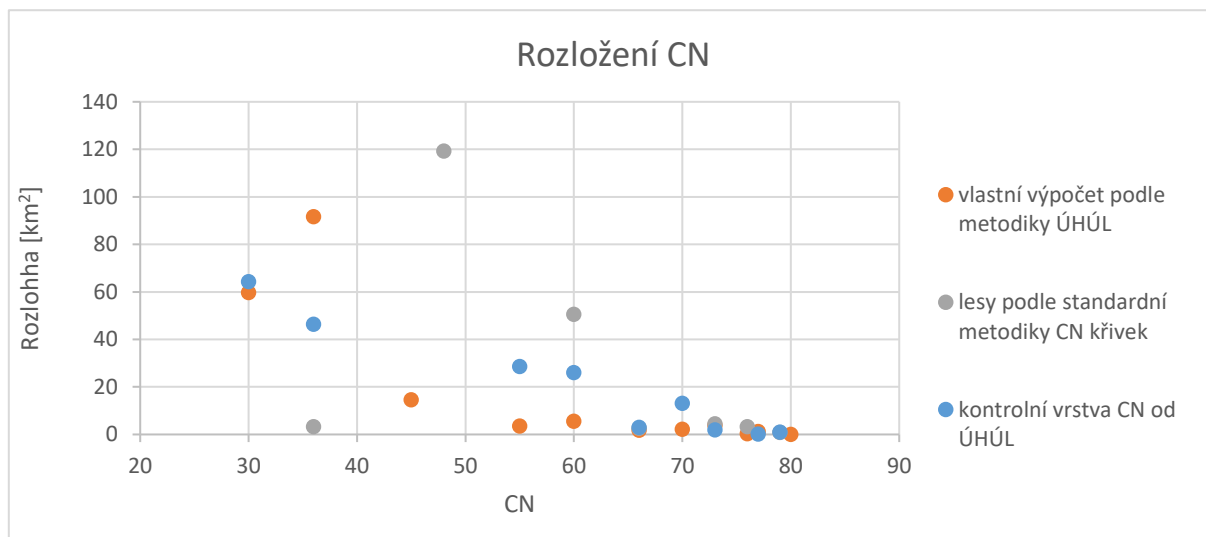
Vrstva CN vypočtena podle metodiky ÚHÚL				
CN	Plocha [%]	Objem odtoku pro návrhovou srážku [m ³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
30	32,41	0	0,0	0
36	49,74	0	0,0	0
45	7,90	0	0,0	0
55	1,93	0	0,0	1173
60	3,03	0	0,0	7897
66	0,96	0	0,0	6519
70	1,16	0	0,0	12791
73	2,08	0	0,0	30413
76	0,16	0	0,0	2970
77	0,64	0	0,0	13003
80	0,00	0	0,4	70
součet	100	0	0,4	74836

K porovnání odlišností výsledků metodiky ÚHÚL od standardní metody určení CN lesů byly vytvořeny tři mapy, zobrazující prostorové rozmístění jednotlivých CN čísel (Příloha 10, 11 a 12). Pro okamžité identifikování rozdílů byly vrstvy CN čísel lesů podle standardní metodiky a podle metodiky ÚHÚL převedeny na raster a hodnoty CN od sebe byly odečteny:



Obrázek 6.1 Mapa rozdílu CN mezi postupy podle standardní metodiky a metodiky ÚHÚL.

Je patrné, že na naprosté většině území dosahují CN podle standardní metodiky vyšších hodnot než CN vypočtená ÚHÚL podle své metodiky. Pro hlubší pochopení hodnot bylo vygenerováno plošné zastoupení CN (Graf 6.1).



Graf 6.1 Porovnání plošného zastoupení CN v lesích

Velké převaze vyšších CN odpovídá i tabulka průměrných CN pro lesy. Jak ukazuje tabulka 6.5, průměrné CN vážené plochami je pro postupy podle ÚHÚL metodiky nižší než pro standardní metodiku. Vlastním výpočtem bylo dosaženo mírně nižšího průměru než u hotové vrstvy CN.

Tabulka 6.5 Průměrná CN pro lesy

Vrstva CN od ÚHÚL	Standardní metoda pro lesy	Vlastní výpočet podle metodiky ÚHÚL
43,7	52,6	37,6

Přestože má vrstva CN dle standardní metodiky na značném území vyšší CN, neznamená to celkově vyšší odtok z lesů. Na průměrné CN standardní metodiky má dle Grafu 6.1 hlavní vliv jediná hodnota CN: 48. I když i tato hodnota samotná je vyšší, než celkový průměr CN od ÚHÚL je u této hodnoty i při 50 mm srážce odtok nulový. Ve vyšších CN, při kterých už jistý odtok nastává, má více plochy vrstva CN od ÚHÚL. Proto, jak ukazuje tabulka 6.6, je celkový odtok z této vrstvy mírně vyšší než pro lesy ve standardní metodice.

Tabulka 6.6 Rozdíl objemu přímého odtoku podle dat ÚHÚL a dat vypočtených pro lesy standardní metodou

Rozdíl objemu přímého odtoku [m³] pro návrhovou srážku		
4 mm	15 mm	50 mm
0	5,24	2025,7

7 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

Posledním srovnávaným přístupem byl přístup DPZ. V takto specifické problematice bylo čerpáno především z anglické literatury.

7.1 Teorie

Sentinel

Od roku 2001 se Evropská unie věnuje monitorování životního prostředí prostřednictvím svého programu Global Monitoring for Environment and Security (GMES) od roku 2012 přejmenovaného na Copernicus. Monitorování země programem Copernicus je založeno na vesmírných družicích a pozemních, vzdušných a námořních senzorech. Vesmírný segment zastupuje šest misí Sentinel (Tabulka 7.1).

Tabulka 7.1 Mise Sentinel, vytvořeno podle: ESA (2019), GEO/Copernicus (2019), NASA (2018)

Satelit	Spuštění	Senzor	Cíl, použití
Sentinel-1A	2014	Synthetic Aperture Radar (SAR)	Klimatické změny – monitorování mořského ledu, oceánů, pobřeží, polárních oblastí Krizové řízení – povodně, sesuvy
Sentinel-1B	2016		
Sentinel-2A	2015	Multi Spectral Instrument (MSI)	Monitorování pevniny – vegetace, půdy, vody, pobřeží Krizové řízení – požáry, dlouhodobé sucho
Sentinel-2B	2017		
Sentinel-3A	2016	4 senzory (2 optické, 1 radarový, 1 mikrovlnný)	Barevná obrazová data a teplota pevniny a oceánů, topografie
Sentinel-3B	2018		
Sentinel-4	po roce 2019	UVN (pásma UV, VIS a NIR)	Monitorování složení atmosféry (kvalita ovzduší)
Sentinel-5P	2016	TROPospheric Ozone Monitoring Instrument (TROPOMI)	Překlenutí monitorovacího období do spuštění Sentinel-5A
Sentinel-5A	2020	UVNS (pásma UV, VIS, NIR, SWIR)	Monitorování složení atmosféry (chemické složení)
Sentinel-5B	2027		
Sentinel-6 (Jason-CS-A, Jason-CS-B)	2020	7 senzorů	Výška hladiny oceánů, výpar, topografie oceánů a pobřeží

Sentinel-2

Dvojice satelitů Sentinel-2 byla navržena tak, aby dokázala podávat co nejužitečnější informace o vegetaci. Tím se prakticky myslí klasifikace lesních porostů, zjišťování obsahu chlorofylu v listech, monitorování zdravotního stavu vegetace, výpočet vegetačních indexů a zjišťování vodního stresu (GEO Copernicus, 2019). Frampton a kol. (2013) ve své studii o užitečnosti satelitu, hodnotí Sentinel-2 jako skvělý systém pro globální monitoring vegetace. K jedinečným vlastnostem řadí např. tři pásma v červeném okraji viditelného světla (tzv. red edge), který je nejvhodnější ke zjišťování biofyzikálních vlastností vegetace. Souhrn všech pásem Sentinelu-2 podává tabulka 7.2.

Tabulka 7.2 Pásma satelitu Sentinel-2, upraveno podle Jovanovska (2017)

Pásmo	Charakteristika	Střední vlnová délka [μm]	Rozlišení [m]
B1	Pobřeží, aerosol	0,433	60
B2	Modrá	0,490	10
B3	Zelená	0,560	10
B4	Red	0,665	10
B5	Red edge	0,705	20
B6	Red edge	0,740	20
B7	Red edge	0,783	20
B8	NIR	0,842	10
B8A	Úzký NIR	0,865	20
B9	Vodní páry	0,945	60
B10	SWIR-Cirrus	1,375	60
B11	SWIR1	1,610	20
B12	SWIR2	2,190	20

Bylo rozhodnuto, že DPZ přístup bude spočívat ve stanovení aktuálních vláhových podmínek podle indexů. Podle principu popsaného v kapitole 3.5.1 Aktuální hodnota CN ovlivní aktuální vláhové podmínky hodnotu CN.

7.2 Data

Vstupními daty pro tvorbu hydrologických podmínek za pomoci indexů byly volně přístupné snímky družice Sentinel 2 stažené 18. 4. 2019. Na kvalitní aktuální snímky bylo potřeba asi 2 týdny čekat, neboť na předešlých snímcích se nacházela příliš velká oblačnost. To indikuje pravděpodobnost vlhčích vláhových podmínek ve snímaném území.

7.3 Postup

Na portálu Sentinel bylo v mapovém okně vybráno zájmové území a z nabídnutých produktů byl vybrán ten snímek s nejmenší oblačností nad lesy a byl v režimu zpracování L1C. Jelikož se povodí řeky Dřevnice nacházelo na rozhraní dvou snímků, musely být staženy oba. Tyto snímky pak byly nahrány do softwaru SNAP.

Tam muselo být nejprve těmto snímkům sjednoceno rozlišení pásem, aby mohly být prováděny aritmetické operace mezi nimi. Po sjednocení rozlišení pásem na 10 m

a vytvoření spojení snímků do mozaiky se výpočty indexů lišily na základě vztahů 7.1, 7.2 a 7.3.

Po výpočtu indexu byl výstupní raster exportován ve formátu .tiff, aby další postup mohl probíhat v programu ArcGIS Pro. Ten se postaral o převod rasteru na polygony a klasifikování pixelových polygonů do stupňů aktuálních vláhových podmínek podle Tabulek 7.3, 7.4 a 7.5.

Po klasifikování zájmového území do tří stupňů aktuálních vláhových podmínek byla CN čísla lesa upravena podle vztahů 3.7 vyvinutých pro úpravu CN na základě aktuálních vláhových podmínek.

7.3.1 NDMI

Výpočet NDMI probíhal podle vztahu 3.1. Po nahrazení vlnových délek odpovídajícími pásmy vypadal vztah výpočtu NDMI pro Sentinel-2 takto:

$$NDMI_{S2} = \frac{Band_{8A} - Band_{11}}{Band_{8A} + Band_{11}} \quad (\text{vztah 7.1})$$

Následující tabulka ukazuje intervaly klasifikace zvolené na základě tabulky 3.4.

Tabulka 7.3 Intervaly NDMI podle vláhových podmínek, podle: Antognelli (2019)

Charakteristika vláhových podmínek	Stupeň vláhových podmínek	Interval NDMI
Suché	1	-1 – 0
Střední	2	0 – 0,2
Vlhké	3	0,2 – 1

7.3.2 Wetness index

Obecný vztah 3.2 indexu Wetness IDB Projekt (2019) konkretizuje pro Sentinel-2 následovně:

$$W = 0.1509 Band_2 + 0.1973 Band_3 + 0.3279 Band_4 + 0.3406 Band_8 - 0.7112 Band_{11} - 0.4572 Band_{12} \quad (\text{vztah 7.2})$$

Intervaly pro index Wetness udává následující tabulka:

Tabulka 7.4 Intervaly WI podle vláhových podmínek

Charakteristika vláhových podmínek	Stupeň vláhových podmínek	Interval NDMI
Suché	1	0 – 0,4
Střední	2	0,4 – 0,6
Vlhké	3	0,6 – 1

7.3.3 NMDI

Výpočet NMDI se řídil vztahem 3.3. Upravený vztah pro Sentinel-2 má tuto podobu:

$$NMDI = \frac{Band_{8A} - (Band_{11} - Band_{12})}{Band_{8A} + (Band_{11} - Band_{12})}$$

(vztah 7.4)

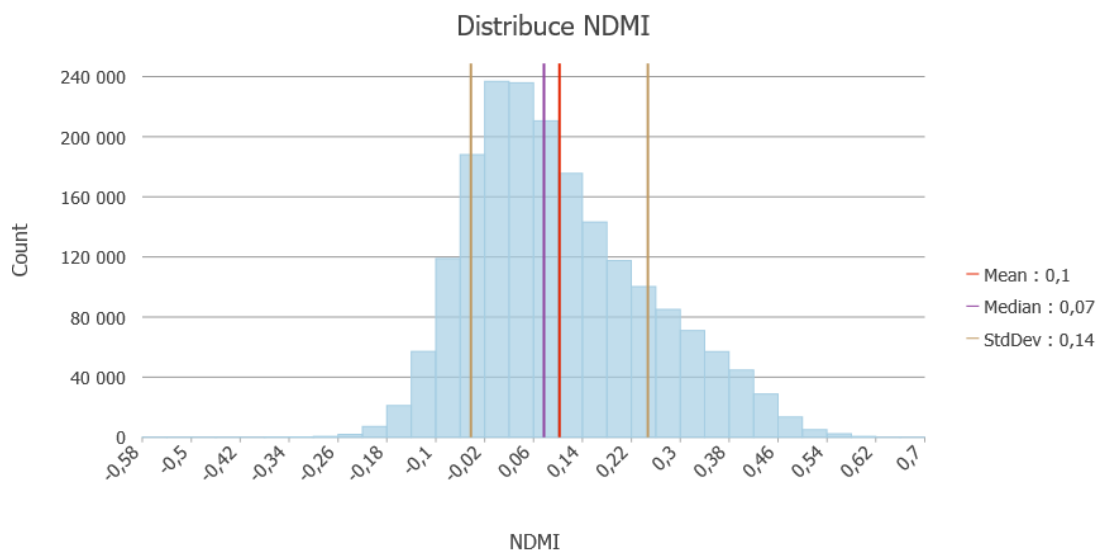
Intervaly NMDI určující vláhové podmínky byly zvoleny na základě výzkumů Wang a Qu (2007):

Tabulka 7.5 Intervaly NMDI podle vláhových podmínek, podle Wang a Qu (2007)

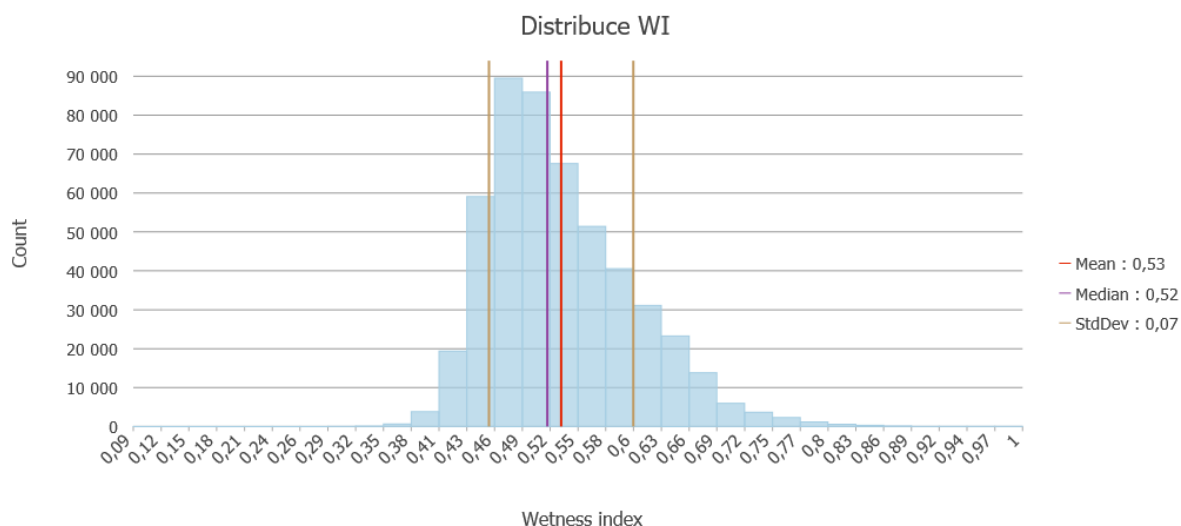
Charakteristika vláhových podmínek	Stupeň vláhových podmínek	Interval NMDI
Suché	1	$\geq 0,7$
Střední	2	0,6 – 0,7
Vlhké	3	$> 0,6$

7.4 Výstup

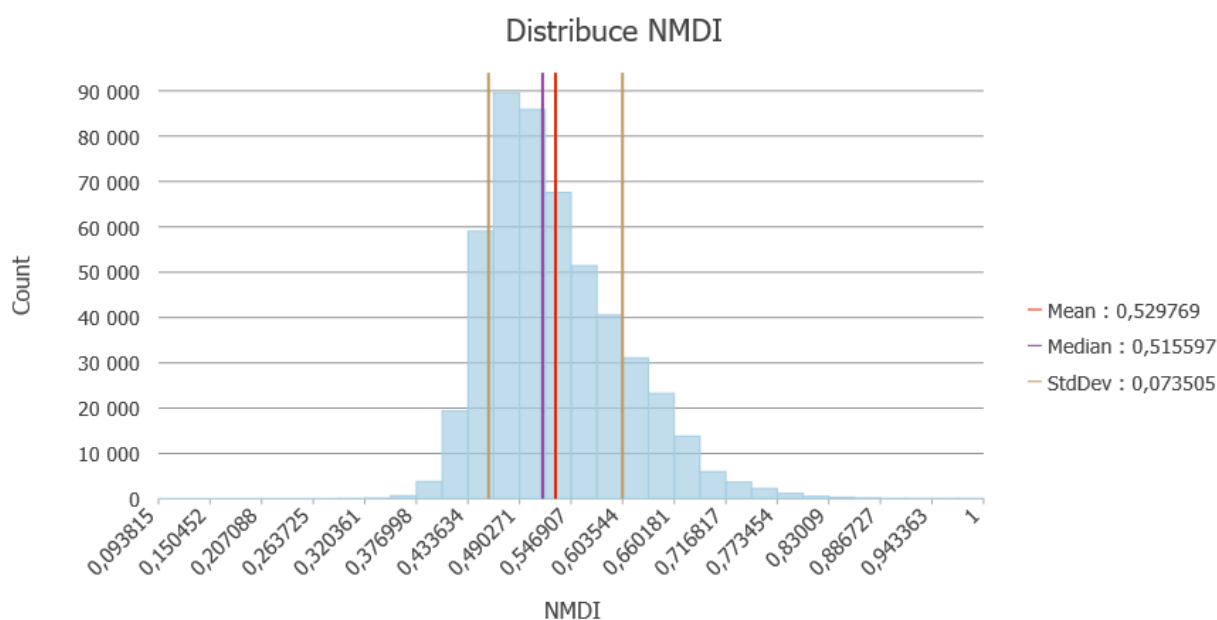
Rozložení hodnot počítaných indexů (NDMI, WI a NMDI) v zájmovém území zobrazují grafy 7.1, 7.2 a 7.3.



Graf 7.1: Histogram hodnot NDMI



Graf 7.2: Histogram hodnot WI



Graf 7.3 Histogram hodnot NMDI

Mapy rozložení stupňů aktuálních vláhových podmínek v zájmovém území podle jednotlivých indexů se nachází v přílohách jako Přílohy 14, 15 a 16.

Následující tři tabulky (7.6, 7.7 a 7.8) zobrazují vypočtené objemy odtoku pro upravená CN dle indexů – NDMI, WI a NMDI:

Tabulka 7.6 Objem odtoku pro CN upravené na základě hodnot indexu NDMI

CN	Objem odtoku [m ³] podle návrhové srážky						
	4 mm	15 mm	50 mm	CN	4 mm	15 mm	50 mm
20	0	0	0	66	0	0	4858
29	0	0	0	68	0	0	145637
36	0	0	0	73	0	0	17665
40	0	0	0	76	0	0	17129
46	0	0	0	78	0	69	130227
48	0	0	0	79	0	11	4516
54	0	0	268	82	0	85	5439
57	0	0	346	86	0	748	16649
58	0	0	796	88	0	963	15075
60	0	0	35861	90	0	229	2668
62	0	0	629	součet	0	2106	397764

Tabulka 7.7 Objem odtoku pro CN upravené na základě hodnot indexu WI

CN	Objem odtoku [m ³] podle návrhové srážky		
	4 mm	15 mm	50 mm
20	0	0	0
29	0	0	0
36	0	0	0
40	0	0	0
46	0	0	0
48	0	0	0
54	0	0	4
57	0	0	194
58	0	0	15
60	0	0	59438
62	0	0	2
66	0	0	7995
68	0	0	109553
73	0	0	29589
76	0	0	27683
78	0	47	89418
79	0	21	8416
82	0	71	4532
86	0	535	11892
88	0	714	11174
90	0	237	2755
součet	0	1624	362661

Tabulka 7.8 Objem odtoku pro CN upravené na základě hodnot indexu NMDI

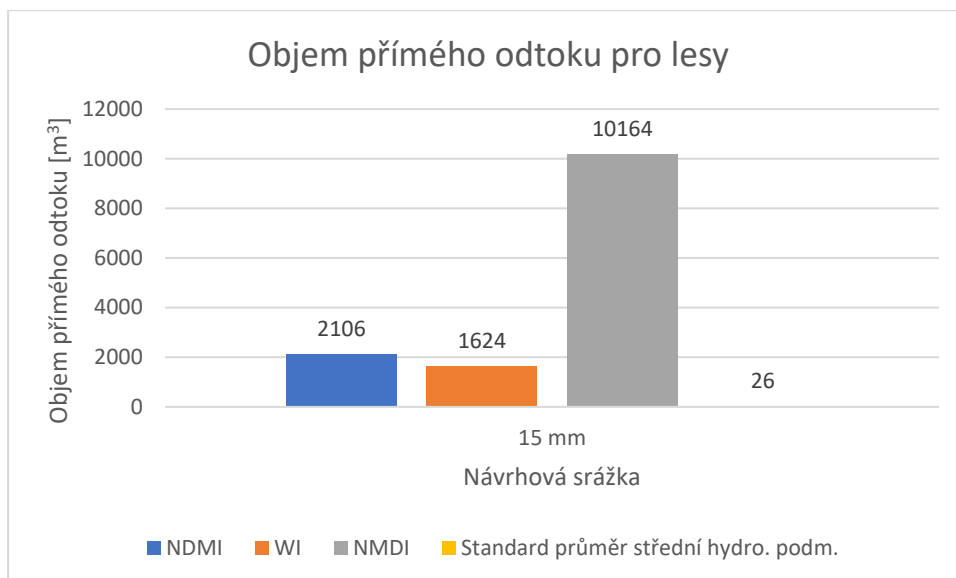
CN	Objem odtoku [m ³] podle návrhové srážky		
	4 mm	15 mm	50 mm
20	0	0	0
29	0	0	0
36	0	0	0
40	0	0	0
46	0	0	0
48	0	0	0
54	0	0	16
57	0	0	1955
58	0	0	51
60	0	0	9397
62	0	0	30
66	0	0	867
68	0	0	447102
73	0	0	3820
76	0	0	4151
78	0	268	508366
79	0	3	1113
82	0	555	35607
86	0	3598	80061
88	0	4207	65828
90	0	1533	17842
součet	0	10164	1176206

Tabulka 7.9 porovnává objem přímého odtoku z lesních ploch pro indexy se standardním přístupem bez úprav:

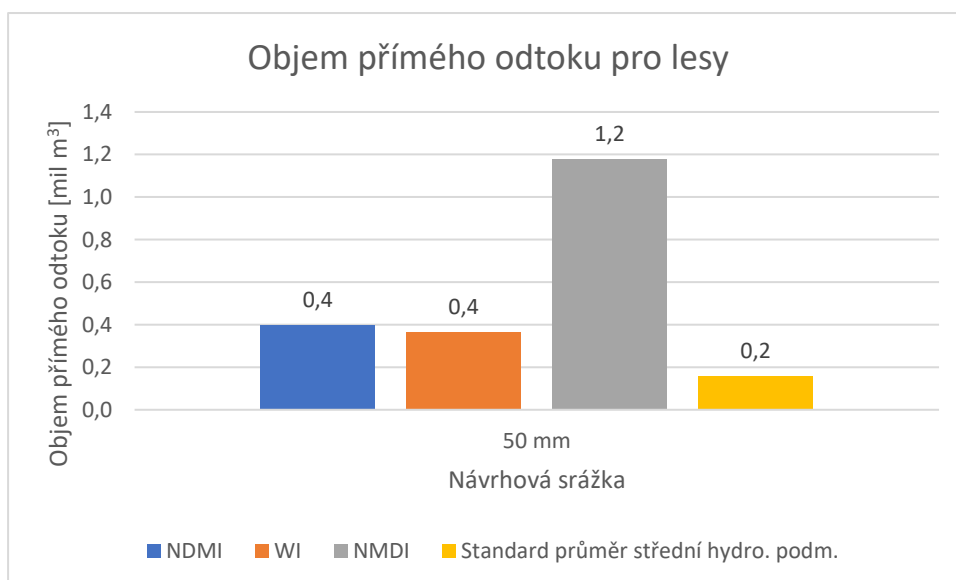
Tabulka 7.9 Srovnání objemu odtoku z lesa

Zvolený přístup	Objem odtoku [m ³] pro návrhovou srážku		
	4 mm	15 mm	50 mm
NDMI	0	2106	397764
WI	0	1624	362661
NMDI	0	10164	1176206
Standard průměr střední	0	26	158012

Grafické zpracování tabulky 7.9 znázorňují grafy 7.4 a 7.5.



Graf 7.4: Objem odtoku pro srážku 15 mm



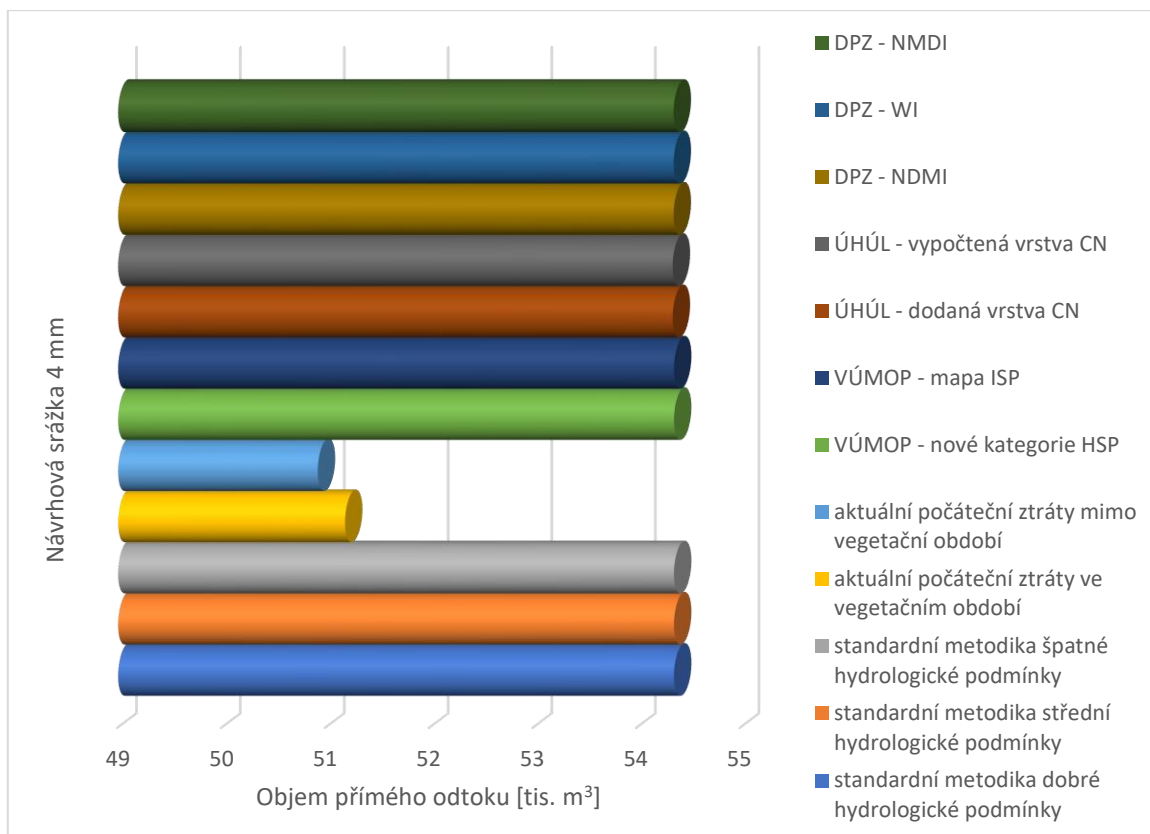
Graf 7.5: Objem odtoku pro srážku 50 mm

8 VÝSLEDKY

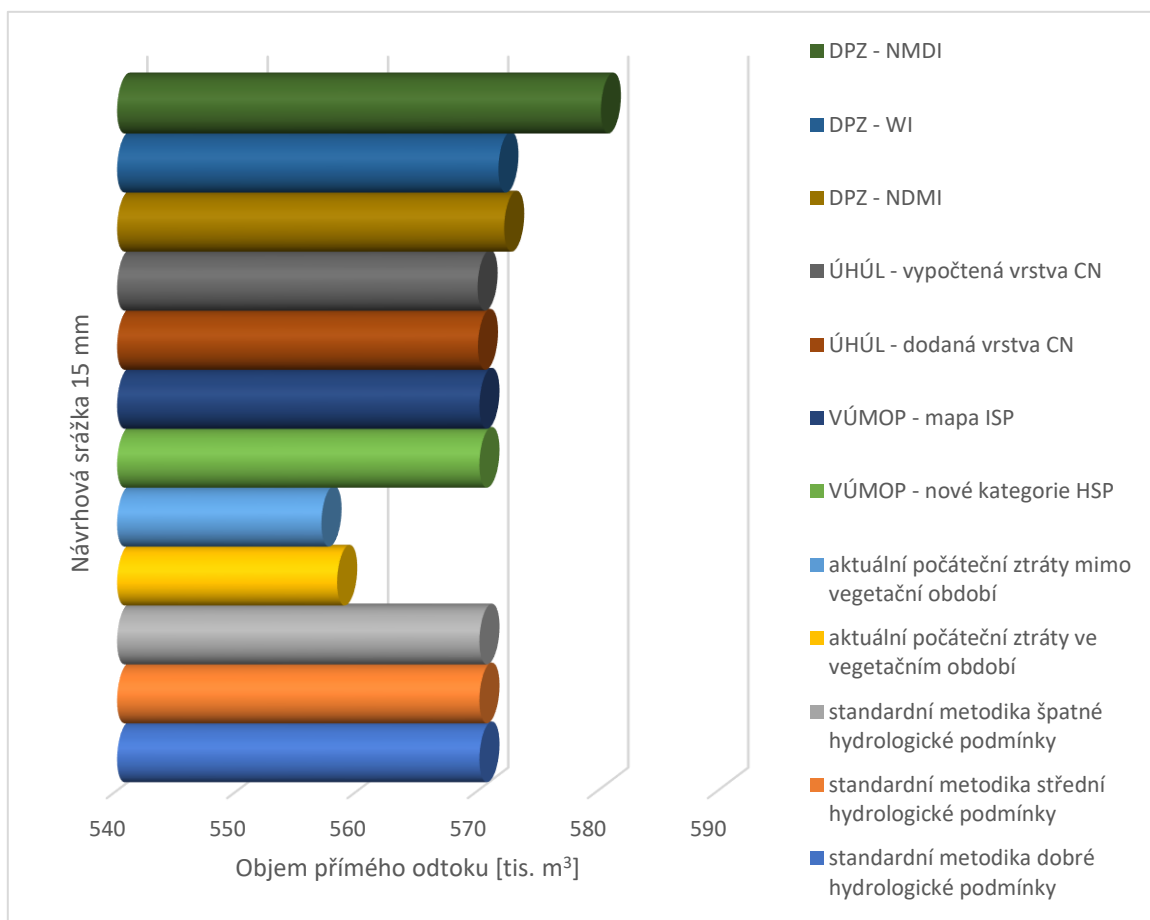
Výsledky této práce spočívají ve srovnání aplikovaných přístupů. Srovnání je zaprvé realizováno pomocí tabulky 8.1 rozvedené do přehledných grafů srovnávajících objemy přímých odtoků pro všechny vypočtené varianty (grafy 8.1, 8.2 a 8.3). Druhý způsob srovnání je pomocí tabulky 8.2, jejímž cílem je porovnat i nekvantifikovatelné charakteristiky použitých přístupů.

Tabulka 8.1 Souhrnné srovnání objemu odtoku z celého povodí pro všechny přístupy

Metoda	Varianta	Celkový objem přímého odtoku z povodí		
		v tisících m ³		v mil m ³
		4 mm	15 mm	50 mm
Standardní, hydrologické podmínky podle prof. Janečka	dobré hydrologické podmínky	54,36	570,11	4,84
	střední hydrologické podmínky	54,36	570,11	4,84
	špatné hydrologické podmínky	54,36	570,11	4,85
Aktuální počáteční ztráty	vegetační období	51,18	558,28	4,80
	mimo vegetační období	50,92	556,97	4,80
VÚMOP	nové kategorie HSP	54,36	570,11	4,84
	mapa ISP	54,36	570,11	5,58
ÚHÚL	vypočteno	54,34	569,96	4,76
	dodaná	54,34	569,99	4,85
DPZ	NDMI	54,35	572,17	5,20
	WI	54,35	571,69	5,17
	NMDI	54,35	580,23	5,98



Graf 8.1 Objem odtoku z celé povodí pro návrhovou srážku 4 mm

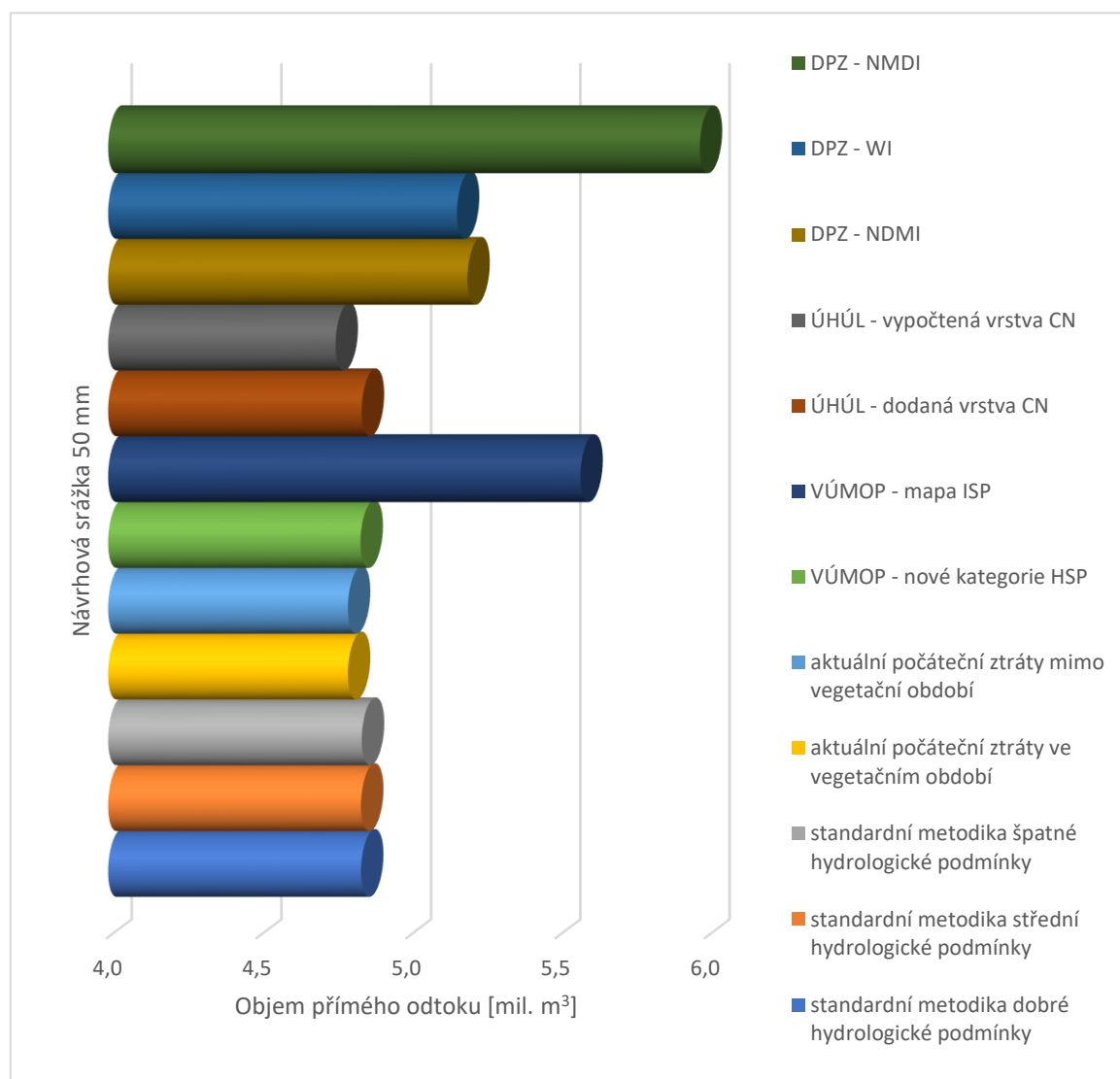


Graf 8.2 Objem odtoku z celé povodí pro návrhovou srážku 15 mm

Pro srážku 4 mm (Graf 8.1) je přímý odtok z povodí velice podobný (liší se o desítky m³) pro všechny přístupy kromě zpřesnění hodnoty aktuálních počátečních ztrát. Ty ukazují hodnotu přímého odtoku menší asi o tři tisíce metrů krychlových.

Pro 15 mm navrženou srážku (Graf 8.2) je variabilita výsledků vyšší. Nejvíce odteče podle předpovědi standardní metodiky zpřesněné indexem Normalized Multi-band Drought Index. Ten předpovídá přímý odtok asi o 10 tisíc m³ vyšší než většina ostatních modelů. Nejmenší přímý odtok modelují opět přístupy založené na zpřesnění aktuální hodnoty počátečních ztrát.

Podle předpokladu, největší absolutní rozdíly nastávají při extrémní situaci 50 mm srážky (Graf 8.3). Odtok vypočítaný podle zpřesnění standardní metodiky NMDI dosahuje o více než jeden milion m³ více než předpovídá většina ostatních přístupů. Velkou hodnotu oproti většině předpovídá přístup založený na odvození nových HSP z mapy ISP. Zbylé dva indexy z DPZ také předpovídají vyšší hodnoty než většina zbylých modelů. Na rozdíl od nižších návrhových srážek nepredikují nejmenší hodnoty přístupy se zpřesněnou aktuální hodnotou počátečních ztrát, u kterých objem odtoku dosáhl většinové úrovně. Za nejnižší předpověď by mohl být považován výpočet podle metodiky ÚHÚL, ale rozdíl není nijak dramatický.



Graf 8.3 Objem odtoku z celé povodí pro návrhovou srážku 50 mm

Tabulka 8.2 Srovnání metodik, jejich modifikací a zpřesnění

Metoda	Varianta	Data	Postup	Rozlišení	Režim aktualizace
Standardní metoda CN křivek	Hydrologické podmínky podle prof. Janečka	Volně přístupná, zpoplatněná	Snadný	1 : 5 000	Průměrný
	Aktuální hodnota počátečních ztrát	Volně přístupná, zpoplatněná	Snadný	1 : 5 000	Průměrný
Modifikace VÚMOP	Nová kategorizace HSP	Zpoplatněná	Snadný	1 : 5 000	Průměrný
	Mapa ISP	Zpoplatněná	Snadný	1 x 1 km	Pomalý
Modifikace ÚHÚL	Dodaná vrstva CN	Zpoplatněná	Snadný	1 : 10 000	Průměrný
	Vypočtená vrstva CN	Zpoplatněná	Průměrný	1 : 100 000	Průměrný
Zpřesnění DPZ	NDMI	Volně přístupná	Náročný	20 m	Rychlý
	Wetness	Volně přístupná	Náročný	20 m	Rychlý
	NMDI	Volně přístupná	Náročný	20 m	Rychlý

Nelze objektivně určit, která hlediska jsou důležitější než ostatní. Některé veřejné instituce mohou mít například zvýhodněný přístup k placeným datům, pro některé aplikace nemusí hrát roli rozlišení, zatímco pro jiné je tím nejdůležitějším. Stojí za upozornění, že hledisko náročnosti postupu odpovídá také časové náročnosti. Ač tedy může být pro satelitní snímky spatřována výhoda jejich rychlému režimu aktualizace, bez alespoň poloautomatického zpracování tuto výhodu zastiňuje časově velmi náročný postup.

Budeme-li předpokládat, že modifikace ÚHÚL a VÚMOP dosahují přesnějších výsledků pro svou propracovanost a vývoj v podmínkách odpovídajících skutečnému stavu krajiny České republiky, pak nejpřesnějších výsledků dosahují jejich modifikace. Modifikace VÚMOP je velmi snadno aplikovatelná, zatímco postup ÚHÚL je o něco složitější. Úplně nejpřesnějších výsledků by pak měla dosahovat aplikace obou těchto modifikací.

9 DISKUZE

Během práce se vícekrát objevilo rozcestí, na kterém bylo nutné vybrat jednu z více alternativních cest. Hned první křižovatka nastala v prostorovém vymezení zadaného pojmu „lesní porosty“. Jako prostorová vrstva lesů mohla být použita vrstva s atributem *forest* z OSM nebo klasifikační třídy pro druhy lesa podle CLC2018 nebo mohl být les chápán podle ÚHÚL. Datová vrstva lesů podle Corine Land Cover je minimální limit rozlohy klasifikovaných ploch ochuzená o menší lesíky občasné se vyskytující v polích nebo kolem cest (viz Příloha 16). Ze zbylých rovnocenných variant bylo vybráno vymezení lesa z dat OSM. Více méně drobné odlišnosti v geometrii lesních a nelesních ploch měly za následek nutnost převodu vypočtených hodnot do odlišné geometrie. Tyto převody způsobovaly jistě určitou chybu, kterou ale pro velikost neshodujících se ploch můžeme považovat za zanedbatelnou.

Pro ruční klasifikaci chybějících polygonů ve vrstvě OSM byla jako limitní rozloha zvolena hodnota 1 ha. Menší polygony byly pohlceny sousedy s nejdelší hranicí. Hranice mohla být nastavena níže, ale mnohonásobná časová investice by neměla znatelný vliv na kvalitu dat.

V dodané vrstvě hydrologických skupin půd se v attributech nacházely tzv. přechodové skupiny (AB, BC, CD). Nabízela se možnost jakéhosi „zaokrouhlení na celou hodnotu“ (z AB na A nebo B atp.). Byl ale použit „průměrový přístup“, který skupinám dával CN hodnotu rovnou průměru pro skupinu A a skupinu B.

Vážným otazníkem vznášejícím se nad prací je regulérnost použití standardní metody CN křivek pro povodí o rozloze 435 km², když její tvůrci udávají horní limit velikosti povodí 10 km². Nicméně cílem metodiky nebylo předpovídat reálnou situaci ale porovnávat přístupy. Pro ně bylo povodí vždy stejně velké.

S přesahem do reality souvisí i další možná námitka práci. Terénní měření by v práci mělo své místo, ale nebylo uskutečněno pro časovou náročnost a další nárůst už teď hraničně velkého rozsahu práce. Taktéž by mohlo být pro práci přínosem využití dalších metod DPZ, které nabízí letecké snímkování nebo využití dronu. Leteckému průzkumu bránila finanční náročnost, dronu rozloha. Avšak i zmapování malého vzorového území dronem by mohlo přinést použitelná data.

Přestože se navržená rozšíření nevešla do této bakalářské práce nabízí se navázat jinou prací a zmíněná měření uskutečnit. Nedostatkem práce totiž může být fakt, že ačkoliv jsou ke konci srovnány všechny metody a alternativy, čtenář se nedozví, která metoda dává přesnější výsledky. Co se kvality výstupů (tj. objemu přímého odtoku z povodí) týče, je patrný pouze rozdíl těchto hodnot, nikoliv odchylka od správného výsledku. Pokud je tedy rozdíl mezi standardním přístupem a jeho alternativami významný, musí další výzkumy prokázat, který přístup se více blíží skutečnosti.

Velký prostor k diskuzi nabízí tabulka srovnání všech metodik ve výsledcích (Tabulka 8.4). Její celková podoba i hodnotící kategorie mohly být odlišné. Kategorie zvolené ve zmíněné tabulce vyplynuly ze zadání této práce. Některá hodnocení jsou proto nutně subjektivní a jiný autor by mohl mít odlišný, taktéž subjektivní, názor.

10 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo aplikovat přístupy k modelování vodní retence lesa v povodí Dřevnice. Tento cíl je po teoretickém popsání přístupů ve třetí kapitole naplněn v kapitolách 4 až 7. Pro možnost simulací byly zvolena tři návrhové srážky. Jedna odpovídala malému dešti: 4 mm, druhá silnějšímu dešti: 15 mm a pro třetí srážku byla navržena extrémní srážka 50 mm, která se objevuje jen zřídkakdy.

Jako základní přístup byla zvolena standardní metoda CN křivek pro své celosvětové rozšíření. Byl aplikován taktéž přístup zpřesnění metodiky pomocí aktuální hodnoty počátečních ztrát.

Druhým aplikovaným přístupem byla metodika VÚMOP. Princip této alternativní metodiky spočíval v odlišném určení hydrologických skupin půd, které mají na výsledný odtok velký vliv. Metodika VÚMOP byla aplikována ve dvou variantách: 1) z datové vrstvy hlavních půdních jednotek byly určeny nové kategorie HSP, 2) nové HSP byly stanoveny na základě datové vrstvy infiltračních schopností půd, jejímž autorem je VÚMOP.

Třetí přístup byl založen na metodice ÚHÚL. Ten modifikuje přístup k lesním porostům a jejich CN určuje na základě většího počtu dat (věk lesa, složení druhů stromů, lesní typ půdy). Pro tuto metodiku byla k dispozici již hotová data (CN) určena samotným ÚHÚL. Vedle těchto originálních dat byl proveden vlastní výpočet podle metodiky ÚHÚL.

Posledním aplikovaným přístupem bylo využití dálkového průzkumu Země. Ze satelitních snímků byly vypočteny tři indexy, které se používají k indikaci vlhkosti v půdě a vegetaci. Na základě těchto indexů byly lesy rozřazeny do tří kategorií podle aktuálních vláhových podmínek. Na základě daných vztahů byla suchým a vlhkým lesům pozměněna hodnota CN, která se také promítla do objemu přímého odtoku. Použitými indexy byly Normalized Difference Moisture Index, Wetness index a Normalized Multi-band Drought Index.

Dalším cílem bylo výsledky aplikovaných přístupů vzájemně porovnat. Tento cíl byl naplněn v kapitole 8. Ta výsledky porovnává z hlediska výstupů, tj. objem přímého odtoku z povodí. Výsledné hodnoty jsou položeny vedle sebe do grafu pro každou návrhovou srážku zvlášť. Srovnávané hodnoty se jeví oproti autorovu očekávání velmi podobné. Obzvlášť jedná-li se o středně velké povodí (435 km²), by se dalo očekávat, že i malá úprava vstupních dat povede k velkým rozdílům na výstupech.

Tabulka 8.2 naplňuje další cíl a porovnává metodiky z ostatních hledisek. Těmi jsou: dostupnost dat, měřítko, režim aktualizace a náročnost procesu pro možné rozšíření metodik. Každý zvolený způsob má své výhody a nevýhody, jejichž subjektivní závažnost se odvíjí podle sledovaného cíle nebo zadání.

Z hlediska propracovanosti metodik bylo usouzeno, že nejpřesnější hodnoty vykazují metody VÚMOP a ÚHÚL, které modifikují přístup standardní metodiky pro zemědělské plochy a pro lesní porosty.

Výsledky práce najdou uplatnění ve zmíněných ústavech VÚMOP a ÚHÚL díky porovnání. Dalším uplatněním výstupů mohou být navazující výzkumy na indexy z DPZ. Je žádoucí, aby bylo na výstupy navázáno podrobným vyhodnocením rozdílnosti výsledků a pokračovat výzkumy, jejichž cíl by mělo být porovnání s reálně naměřenými daty v terénu.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ANTOGNELLI, S. *NDVI and NDMI Vegetation Indices: Instruction For Use* [online]. 2019 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.agricolus.com/en/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>

BÁŤKOVÁ, K., MATULA, S., MIHÁLIKOVÁ, M. *Multimediální učebnice hydroopedologických terénních měření. 2. doplněné vydání* [on-line]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 2013. [cit. 2019-07-30] Dostupné z: <http://hydroopedologie.agrobiologie.cz>. ISBN: 978-80-213-2434-3.

BĚLSKÝ, J.: Přispějí povodně z července 1997 k zániku hrazení bystřin v ČR? In *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek. Brno: ICID-CIID, 1997, s. 4/23-4/27.

BURT, T.P. Measuring infiltration capacity. *Geography Review*. 1987, 1, s. 37-39

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Holešov* [online]. © 2019. [cit. 2019-07-22]. Dostupné z:

<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/stanice/profesionalni-stanice/prehled-stanic/holesov>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Odtokové procesy* [online]. © 2010. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/index.htm

The source of this material is the COMET® Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), sponsored in part through cooperative agreement(s) with the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Commerce (DOC). ©1997-2017 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

ČSN 75 0110. *Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydrogeologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita, 1998, 208 s. ISBN 8021018127.

DOSTÁL, T., DAVID, D., VRÁNA, K., NOVÁKOVÁ, H. *Studie odtokových poměrů v povodí Weisseritz část I. Mapa zdrojových ploch povrchového odtoku*. Praha: ČVUT, 2006. 126 s.

DOSTÁL, T., KURÁŽ, V., VÁŠKA, J., VRÁNA, K.: Využití povodí a jeho vliv na režim povrchového odtoku. In *Povodně a krajina '97*. Sborník posterů. Brno: ICID-CIID, 1997.

DUB, O., NĚMEC, J.: *Hydrologie*. Technický průvodce 34. Praha: SNTL Praha, 1969. 380 s.

ESA. *Copernicus – Overview* [online]. 2000-2019 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). *Water retention potential of Europe's forests*. 2015. Dostupné z: doi:10.2800/790618.

EVROPSKÁ KOMISE A GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ. Mapping and assessment of ecosystems and their services an analytical framework for ecosystems assessments under action 5 of EU biodiversity strategy to 2020: discussion paper-final April 2013. Publication Office, Luxembourg, 2013. Dostupné z: doi: 10.2779/12398.

FRAMPTON, W. J.; DASH, J.; WATMOUGH, G.; MILTON, E. J. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2013, 82, s. 83-92. Dostupné z: doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007.

GEO/COPERNICUS. *Družice Sentinel* [online]. 2019 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/druzice-sentinel>

HNUTÍ DUHA Kalkulace podle dat v Němec, J. (ed.): *Krajina a voda*, Sborník z konference 22.-24. 4. 1998 Veselí nad Moravou, AOPK ČR–MŽP–MZe, Praha, 1999.

IDB PROJEKT. *Index: Tasselled Cap – wetness* [online]. 2011-2019 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=93>

JANEČEK, M.: Možnosti omezení eroze a negativních účinků odtoků způsobených lokálními přivalovými dešti. In *Workshop Adolfa Patery 2005, Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Praha: ČVUT v Praze, 2005, 226 s., s. 113–118. ISBN 80-01-03325-2.

JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012. 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

JANEČEK, M., KOVÁŘ, P. Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek – CN“ k určování přímého odtoku z malého povodí. *Vodní hospodářství*. 2010, 7, s. 187-190. ISSN: 1211-0760

JENÍČEK, M. *Modelování hydrologických procesů I. a II.* [online] 2007-2010 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://floodserv.natur.cuni.cz/jenicек/vyuka.php?akce=procesya&lang=cze>

JIN, S., SADER, S. A. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*. 2005, (94), s. 364–372. Dostupné z: doi: 10.1016/j.rse.2004.10.012

JOVANOVSKA KAPLAN, G., AVDAN, U. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*. 2017. 50, s. 137-143. Dostupné z: doi:10.1080/22797254.2017.1297540.

KOHNKE, H. *Soil Physics*. New York: McGraw-Hill Inc, 1968.

KREČMER, V. a kol.: Lesy a povodně. Souhrnná zpráva. In *Lesy a povodně*. Praha: Česká lesnická společnost, 2003, 5–7 s. ISBN 80-02-01564-9.

KREŠL, J. Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích. In *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek. Brno: ICID–CIID, 1997, s. 4/8–4/12.

KOZUMPLÍKOVÁ, A. *Studie hydricko-vodohospodářských revitalizačních opatření na příkladu antropogenně impaktovaného malého lesního povodí v NP Šumava*. Brno, 2010. 125 s. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta.

LABGUIDE. *Florchromy* [online]. 2014–2019 [cit. 2019-08-07]. Dostupné z: <https://labguide.cz/fluorochromy/>

LONGLEY, P. a kol. *Geografické informace: systémy a věda*. Univerzita Palackého v Olomouci. 2017. 526 s. ISBN: 978-80-244-5008-7

MACKŮ, J. *Analýzy stavu lesních porostů a jejich vyhodnocení v povodí*. In: Sborník Konference krajinné inženýrství 2011 [CD], s. 161-167. ISBN: 978-80-87384-00-8.

MAŠÍČEK, T.: *Retenční potenciál povodí řeky Fryšávky*. Brno, 2010. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Ústav aplikované a krajinné ekologie.

MEZISTROMY. Slovníček pojmů. *MeziStromy.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/slovník/vekova-trida>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky roce 2017*, Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018. ISBN 978-80-7434-477-0.

MISHRA, S. K. et al. An Improved IaS Relation Incorporating Antecedent Moisture in SCS-CN Methodology. *Water Resources Management*. Springer, 2006, 20, s. 643-660. Dostupné z: doi:10.1007/s11269-005-9000-4

MISHRA, S. K., JAIN, M. K., SURESH BABU, P. VENUGOPAL, K., KALIAPPAN, S. Comparison of AMC-dependent CN-conversion formulae. *Water Resources Management*. 2008, 22, s. 1409-1420.

MOHAN, L. et al. Evaluation of the Soil Conservation Service curve number methodology using data from agricultural plots. *Hydrogeology Journal*. Springer, 2016. ISSN: 1431-2174. Dostupné z: doi:10.1007/s10040-016-1460-5

NASA. *Sentinel-6* [online]. 2018 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: <https://eosps.nasa.gov/missions/sentinel-6>

NEUDERTO VÁ HELEBRANDOVÁ, K., H AIS, M., ŠRÁMEK, V. Metody hodnocení sucha v porostech v porostech smrku ztepilého. *Lesnický průvodce*. 2018, 18, 34 s. ISBN:987-80-7417-183-3.

NĚMEC, J.: *Inženýrská hydrologie*. Praha: SNTL, 1964. 236 s.

NOVÁK, P., ZLATUŠKOVÁ, S., ŠEFRNA, L. Změny půdního pokryvu v důsledku povodní. In *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek. Brno: ICID-CIID, 1997, s. 7/54-7/57

PASÁK, V., JANEČEK, M., ŠABATA, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Ústav vědeckotechnologických informací pro zemědělství, 1983. 77 s.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J. *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouc, 2013. 144 s. ISBN: 978-80-244-3844-3

PAVKOVÁ, K. *Modelování povrchového odtoku v prostředí ArcGIS serveru*. Olomouc: 2010. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky.

PECHANEC, V. *Nástroje podpory rozhodování v GIS*. 2006. Univerzita Palackého v Olomouci.

PECHANEC, V. a kol. *Nasazení multispektrálních optických senzorů pro monitorování vlastností půdy* [online]. Univerzita Palackého v Olomouci, 2018. ISBN: 978-80-244-5111-4. Dostupné z: <https://docplayer.cz/46927785-Nasazeni-multispektralnich-optickych-senzoru-pro-monitorovani-vlastnosti-pudy.html>

PECHANEC, V., CUDLÍN, P., MACHAR, I., BRUS, J., MODELLING, H. Modelling of the Water Retention Capacity of the Landscape. In: Zelenakova M., Fialová J., Negm A. (eds) *Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic*. 2020. Springer Water. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-030-18363-9_10

PONCE, V. M., HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: Has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering*. ASCE, 1996, 1, 1, s. 11-19., Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(1996)1:1(11)

QUADRATIC. Monitoring crop field soil moisture (NDWI) using Sentinel-2 temporal series [online]. 2016 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <http://www.quadratic.be/en/le-suivi-de-letat-hydrique-ndwi-des-cultures-par-les-series-temporelles-sentinel-2/>

REJŠEK, K., VÁCHA, R. *Nauka o půdě*. Olomouc: Agripriint, s.r.o., 2018, 527 s., ISBN: 978-80-87091-82-1

SENTINEL HUB. *Sentinel 2 EO products* [online]. 2019 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts

SMELÍK, L. Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, roč. 58, č. 4, str. 7–12. ISSN 0322-8916

ŠARAPATKA, B. *Pedologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 1996. 238 s. ISBN 80-7067-590

ŠVIHLA, V.: Možnosti zvýšení retenční schopnosti povodí v rámci řešení komplexních pozemkových úprav. In *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek. Brno: ICID–CIID, 1997, s. 8/15–8/18.

ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V., KULHAVÝ, Z., ŠACH, F.: Retence srážkové vody lesní půdou v horském povodí. In *Meliorace v lesním hospodářství a v krajinném inženýrství*. Sborník referátů. Kostelec nad Černými lesy: FLE ČZU v Praze, Praha: VÚMOP, 2006. s. 35–43.

TEEPE, R., DILLING, H., BEESE, F. Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2003, 166 s., s. 111-119. Dostupné z: doi:10.1002/jpln.200390001

U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. Washington D.C.: Department of Agriculture, 1956. 1971. 762 p.

ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ. *O ÚHÚL* [online]. 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://www.uhul.cz/kdo-jsme/o-uhul>

VLČEK, L. *Retence vody organozemí*. Praha, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie.

VOŽENÍLEK, V., KAŇOK, J. a kol. *Metody tematické kartografie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, 216 s.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i. *Nabídka mapových a datových produktů*. Hydrologické charakteristiky [online]. 2016 [cit. 2019-07-30]. Dostupné z: https://www.vumop.cz/sites/default/files/2016_katalogMap.pdf

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i. *O ústavu* [online]. 2019. [cit. 2019-07-30]. Dostupné z: <https://www.vumop.cz/o-ustavu>

WANG, L., QU, J. J. NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*. 2007, 34, L20405. Dostupné z: doi:10.1029/2007GL031021.

ZELNÍČKOVÁ, H. *Metoda čísel odtokových křivek (CN křivky) a její použití v modelech a programech využitelných v rámci projektování KPÚ*. České Budějovice, 2014. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu.

ZUMR, D., NEUMANN, M., DEVÁTÝ J., DOSTÁL, T. Vliv kinetické energie deště na transport částic na půdním povrchu. In *Hydrologie, GIS a životní prostředí*. 2018, s. 35.

Další internetové zdroje:

<http://webgis.nature.cz/mapomat/>

mapy.nature.cz

<https://voda.gov.cz>

<http://www.uhul.cz/mapy-a-data/katalog-mapovych-informaci>

<https://support.esri.com/en/>

<https://www.researchgate.net/>

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

- Příloha 1: Tabulka CN křivek podle využití půdy, zdroj: Janeček a kol, 2012
- Příloha 2: Mapa rozložení CN čísel v povodí Dřevnice ve středních hydrologických podmínkách
- Příloha 3: Objem odtečené vody a podíl na ploše pro CN – dobré hydrologické podmínky
- Příloha 4: Objem odtečené vody a podíl na ploše pro CN – špatné hydrologické podmínky
- Příloha 5: Tabulka zadržetí odtoku ve vegetačním období
- Příloha 6: Tabulka zadržetí odtoku mimo vegetační období
- Příloha 7: Mapa hydrologických skupin půd podle standardní metodiky CN křivek
- Příloha 8: Mapa hydrologických skupin půd podle modifikace VÚMOP
- Příloha 9: Mapa hydrologických skupin půd podle datové vrstvy VÚMOP
- Příloha 10: Mapa CN pro les – standardní metodika CN křivek, střední hydrologické podmínky
- Příloha 11: Mapa CN pro les – dodaná vrstva od ÚHÚL
- Příloha 12: Mapa CN pro les – výpočet podle metodiky ÚHÚL
- Příloha 13: Mapa vláhových podmínek lesů podle NDMI
- Příloha 14: Mapa vláhových podmínek lesů podle WI
- Příloha 15: Mapa vláhových podmínek lesů podle NMDI
- Příloha 16: Mapa srovnání vymezení lesů – OSM, ÚHÚL, CLC

Volné přílohy:

- Příloha 17 Poster
- Příloha 18 CD

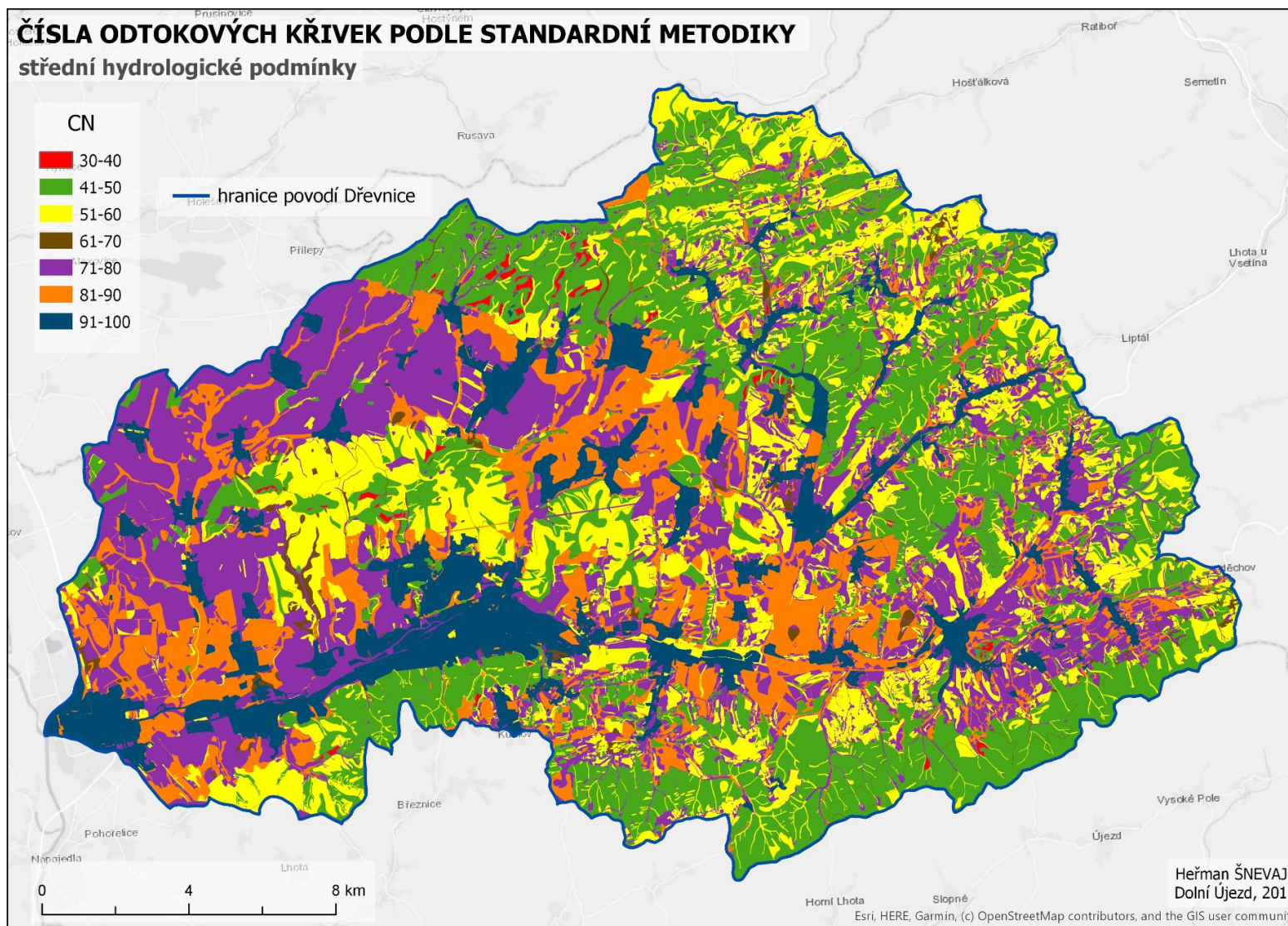
Popis struktury CD:

- poster
- text_prace
- vstupni_data
- vystupni_data
- webova_stranka

Příloha 1: Tabulka CN křivek podle využití půdy, zdroj: Janeček a kol. (2012)

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek – CN podle hydrologických skupin půd			
			A	B	C	D
Úhor, čerstvě kypřený	Pz	Sp	77	86	91	94
		Dp	76	85	90	93
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Sp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Sp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Sp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Sp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Pr	Sp	66	74	80	82
	Vř + Pr	Db	62	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Sp	65	73	79	81
	Vř + Pr + Pz	Db	61	70	77	80
	Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Sp	65	76	84
Př		Db	63	75	83	87
Př + Pz		Sp	64	75	83	86
Př + Pz		Db	60	72	80	84
Vř		Sp	63	74	82	85
Vř		Db	61	73	81	84
Vř + Pz		Sp	62	73	81	84
Vř + Pz		Db	60	72	80	83
Vř + Pr		Sp	61	72	79	82
Vř + Pr		Db	59	70	78	81
Vř + Pr + Pz		Sp	60	71	78	81
Vř + Pr + Pz	Db	58	69	77	80	
Víceleté pícniny, luštěniny	Př	Sp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Sp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Sp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
Pastviny s pokryvem	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 75 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
Louky	Sklizené	-	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 75 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73
Sady se zatravněným mezířadím		Sp	57	73	82	86
		Stř.	43	65	76	82
		Db	32	58	72	79
Lesy		Sp	45	66	77	83
		Stř.	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86
Komunikace s příkopy	dlažděné, živičné, makadamové, šterkové,		83	89	92	93
	nezpevněné, hliněné		76	85	89	91
			72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

Příloha 2: Mapa rozložení CN čísel v povodí Dřevnice ve středních hydrologických podmínkách



Příloha 3: Objem odtečené vody a podíl na ploše pro CN – dobré hydrologické podmínky

Dobré hydrologické podmínky				
CN	Plocha [%]	Objem odtoku pro návrhovou srážku [m³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
30	0,76	0	0	0
42	27,27	0	0	0
55	11,55	0	0	70918
56	0,47	0	0	999
58	7,20	0	0	30189
62	0,58	0	0	9374
63	0,13	0	0	1765
69	0,20	0	0	4598
70	1,04	0	0	35325
71	0,61	0	1	17137
72	0,05	0	0	2161
73	0,75	0	0	32993
74	0,66	0	0	24476
75	16,38	0	0	723631
77	0,47	0	26	24037
78	5,96	0	163	309023
79	0,25	0	264	17458
82	0,09	0	99	6362
83	4,71	0	10870	377539
84	0,36	0	834	28959
85	0,21	0	670	18360
86	0,43	0	1784	39695
87	8,13	0	54230	848495
88	0,06	0	388	6066
89	0,34	0	2789	37431
91	0,36	0	4405	44835
98	10,79	50854	480454	2089026
100	0,20	3502	13134	43781
celkem	100,00	54356	570110	4844631

Příloha 4: Objem odtečené vody a podíl na ploše pro CN – špatné hydrologické podmínky

Špatné hydrologické podmínky				
CN	Plocha [%]	Objem odtoku pro návrhovou srážku [m³]		
		4 mm	15 mm	50 mm
30	0,02	0	0	0
45	0,74	0	0	0
55	27,27	0	0	0
56	0,47	0	0	999
58	6,92	0	0	26822
66	11,55	0	0	70918
69	0,20	0	0	4598
70	0,03	0	0	688
71	1,17	0	0	25863
72	0,13	0	0	1765
73	0,22	0	0	3165
74	0,66	0	0	24476
76	0,05	0	0	2301
77	1,31	0	0	48584
78	5,98	0	163	310218
79	0,01	0	2	599
80	0,75	0	0	32993
81	16,38	0	0	723631
82	0,14	0	99	8523
83	0,18	0	26	10090
84	0,36	0	834	28959
85	0,21	0	670	18360
86	0,67	0	2047	56554
88	12,89	0	65487	1232099
89	0,34	0	2789	37431
91	0,36	0	4405	44835
98	10,79	50854	480454	2089026
100	0,20	3502	13134	43781
celkem	100,00	54356	570110	4847277

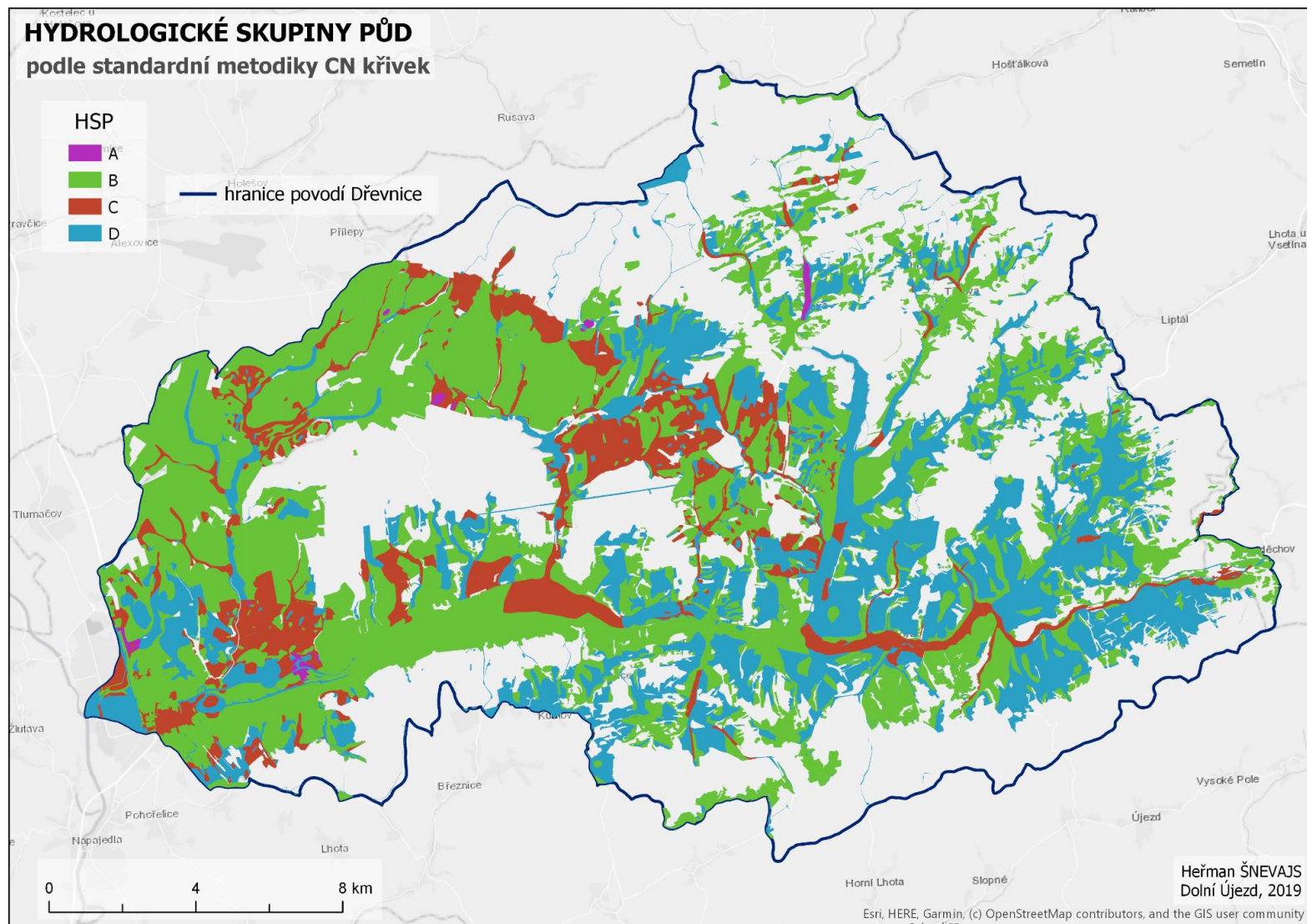
Příloha 5: Tabulka zadržení odtoku ve vegetačním období

CN	Objem zadržení [m ³] pro návrhovou srážku			Procento zadržení [%] pro návrhovou srážku		
	4 mm	15 mm	50 mm	4 mm	15 mm	50 mm
30	385	1444	4813	0,0	0,0	0,0
36	12935	48507	161691	0,8	0,8	0,9
48	477099	1789123	5963742	28,1	29,8	34,9
56	8235	30882	101940	0,5	0,5	0,6
58	122050	457689	1498606	7,2	7,6	8,8
60	202133	757998	2455740	11,9	12,6	14,4
65	6129	22983	71682	0,4	0,4	0,4
66	10213	38298	118286	0,6	0,6	0,7
69	3518	13194	39382	0,2	0,2	0,2
70	474	1776	5233	0,0	0,0	0,0
71	10655	39958	116055	0,6	0,7	0,7
73	17801	66752	187871	1,0	1,1	1,1
74	11497	42845	119240	0,7	0,7	0,7
76	300499	1125841	2997455	17,7	18,8	17,6
77	5092	19094	49701	0,3	0,3	0,3
78	104244	390754	994031	6,1	6,5	5,8
79	3339	12494	31046	0,2	0,2	0,2
82	5822	21472	49557	0,3	0,4	0,3
84	88704	320936	702299	5,2	5,3	4,1
85	3745	13372	28447	0,2	0,2	0,2
86	7575	26622	54993	0,4	0,4	0,3
88	143176	482292	935137	8,4	8,0	5,5
89	5621	19274	36111	0,3	0,3	0,2
91	6147	18899	32848	0,4	0,3	0,2
98	137874	227278	270078	8,1	3,8	1,6
100	3502	13134	43781	0,2	0,2	0,3
celkem	1698465	6002909	17069765	100	100	100

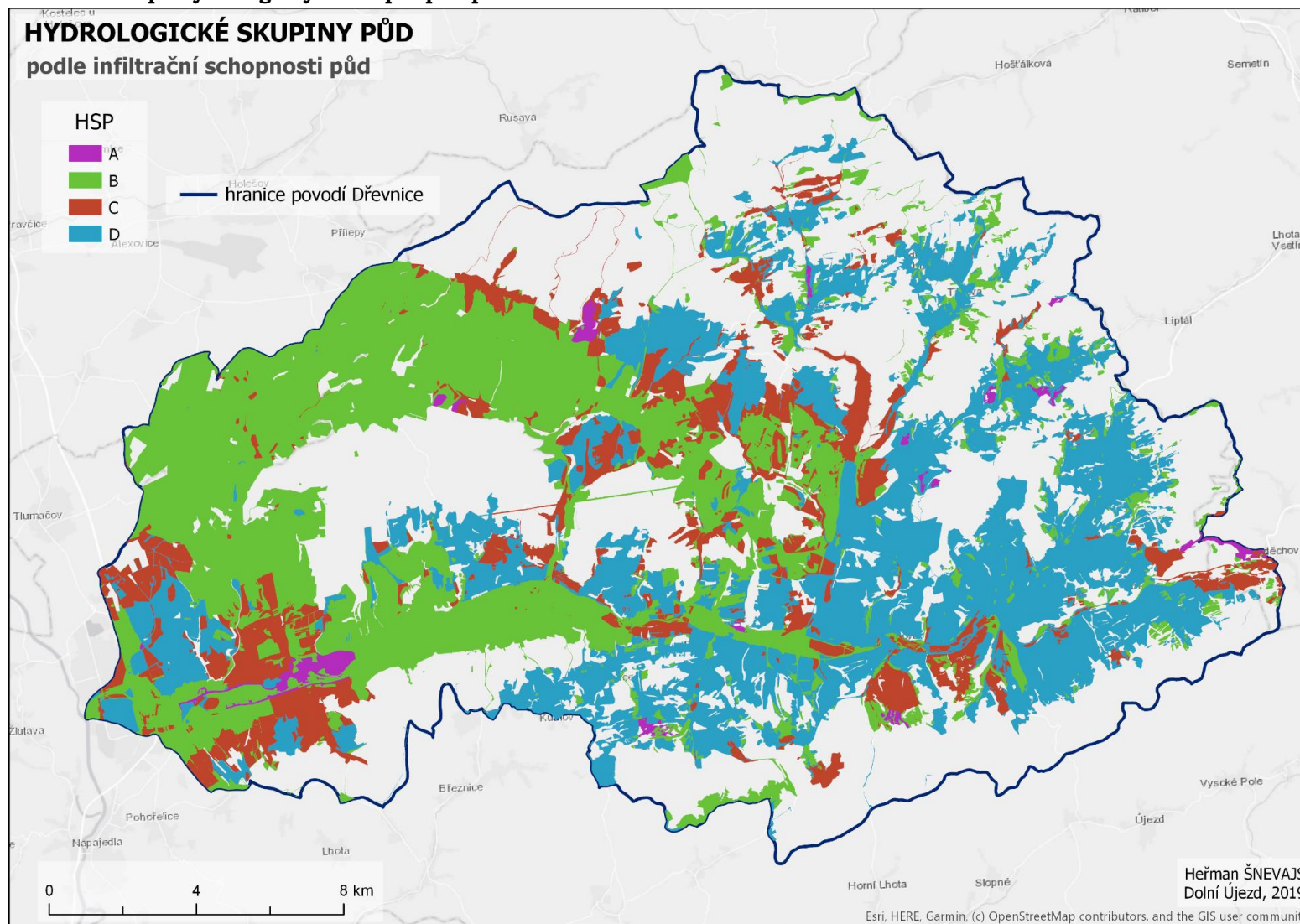
Příloha 6: Tabulka zadržení odtoku mimo vegetační období

CN	Objem zadržení [m ³] pro návrhovou srážku			Procento zadržení [%] pro návrhovou srážku		
	4 mm	15 mm	50 mm	4 mm	15 mm	50 mm
30	385	1444	4813	0,0	0,0	0,0
36	12935	48507	161691	0,8	0,8	0,9
48	477099	1789123	5963742	28,1	29,9	35,0
56	8235	30882	101940	0,5	0,5	0,6
58	122050	457689	1498606	7,2	7,6	8,8
60	202133	757998	2455740	11,9	12,7	14,4
65	6129	22983	71682	0,4	0,4	0,4
66	10213	38298	118286	0,6	0,6	0,7
69	3518	13194	39382	0,2	0,2	0,2
70	474	1776	5233	0,0	0,0	0,0
71	10655	39958	116055	0,6	0,7	0,7
73	17801	66752	187871	1,1	1,1	1,1
74	11497	43115	119240	0,7	0,7	0,7
76	300499	1126872	2997455	17,7	18,8	17,6
77	5092	19094	49701	0,3	0,3	0,3
78	104244	390754	994031	6,1	6,5	5,8
79	3339	12494	31046	0,2	0,2	0,2
82	5822	21472	49557	0,3	0,4	0,3
84	88704	320936	702299	5,2	5,4	4,1
85	3745	13372	28447	0,2	0,2	0,2
86	7575	26622	54993	0,4	0,4	0,3
88	143176	482292	935137	8,4	8,1	5,5
89	5883	19274	36111	0,3	0,3	0,2
91	6215	18899	32848	0,4	0,3	0,2
98	137874	227278	270078	8,1	3,8	1,6
100	0	0	0	0,0	0,0	0,0
celkem	1695293	5991075	17025984	100	100	100

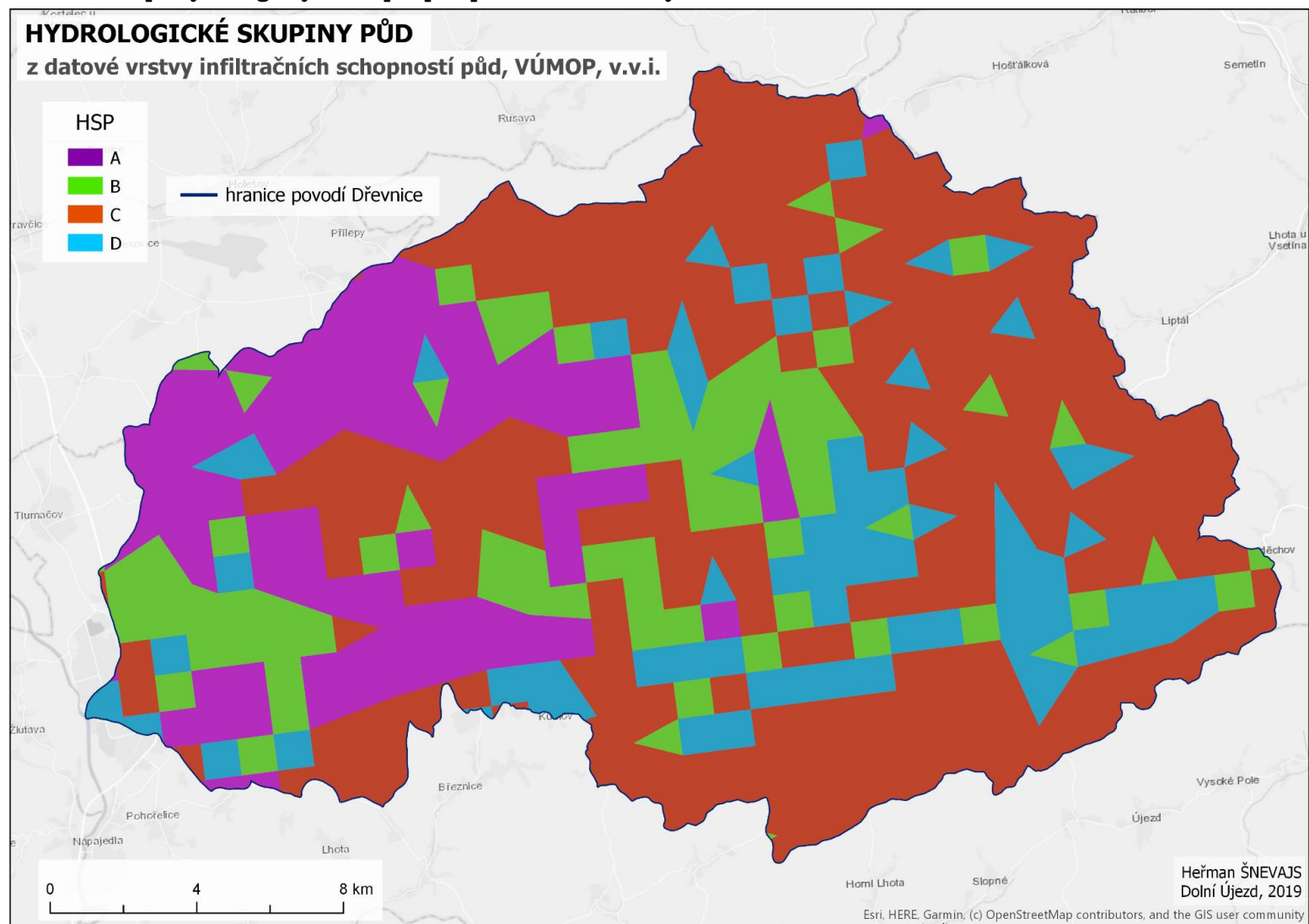
Příloha 7: Mapa hydrologických skupin půd podle standardní metodiky CN křivek



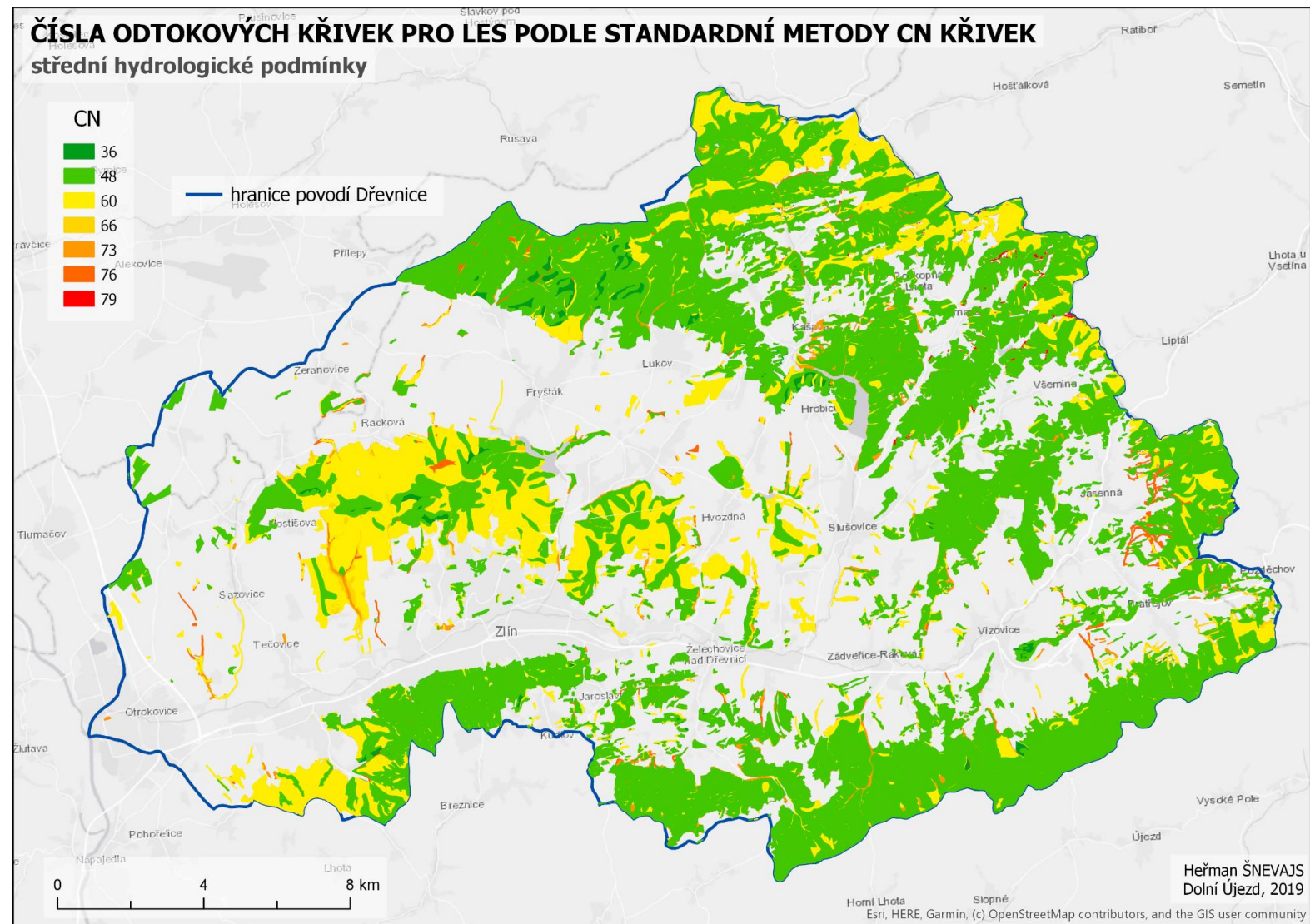
Příloha 8: Mapa hydrologických skupin půd podle modifikace VÚMOP



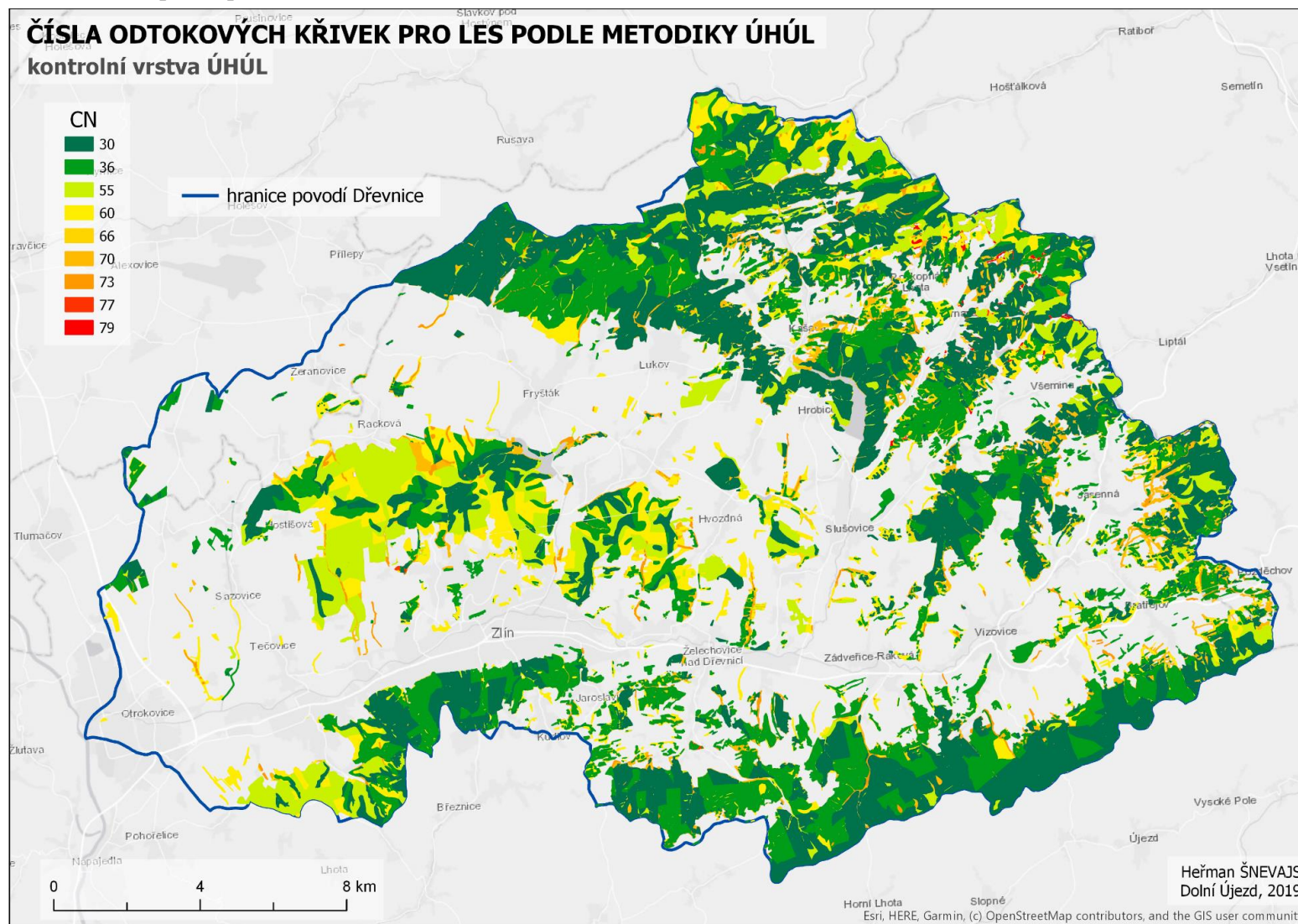
Příloha 9: Mapa hydrologických skupin půd podle datové vrstvy VÚMOP



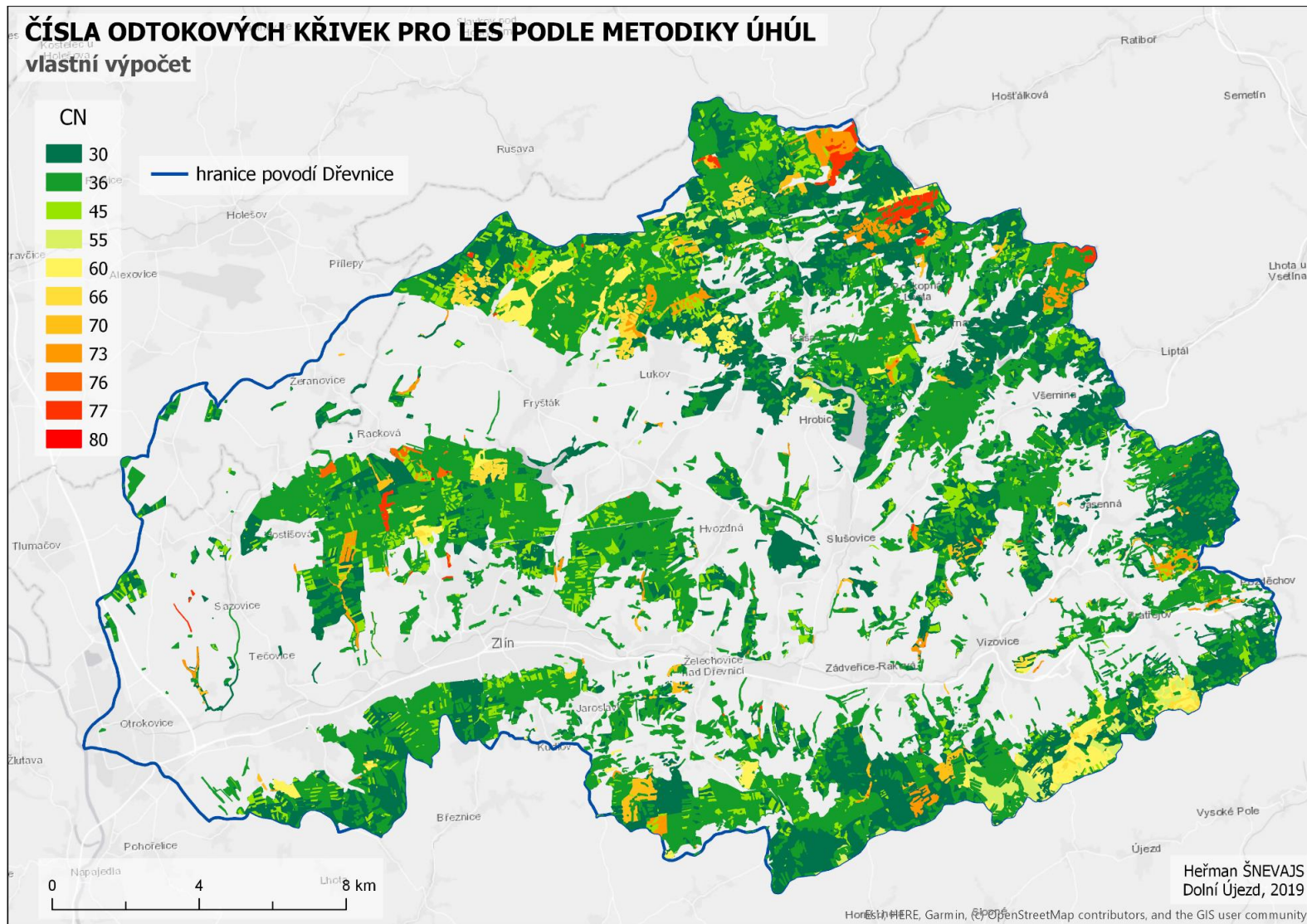
Příloha 10: Mapa CN pro les – standardní metodika CN křivek, střední hydrologické podmínky



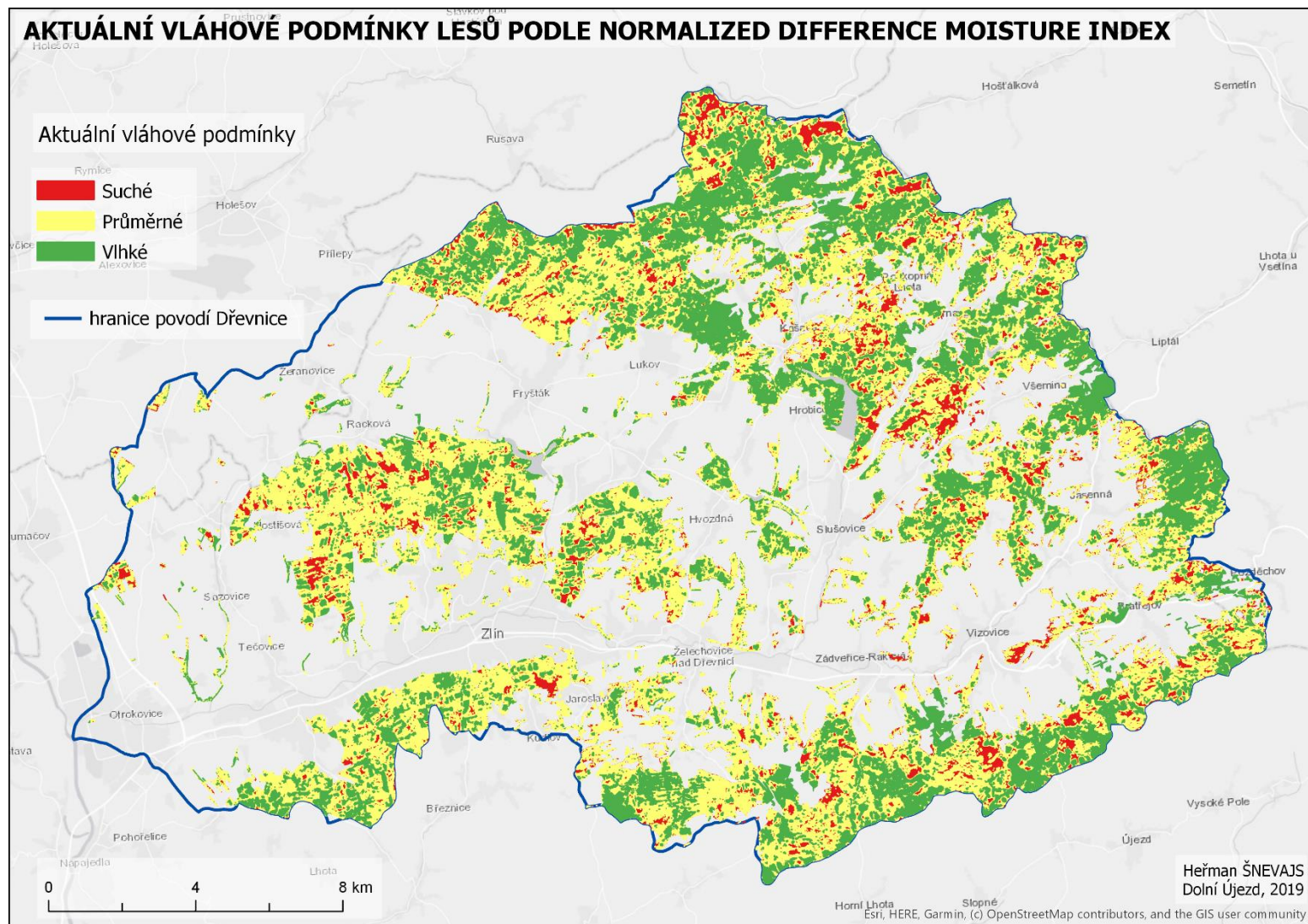
Příloha 11: Mapa CN pro les – dodaná vrstva od ÚHÚL



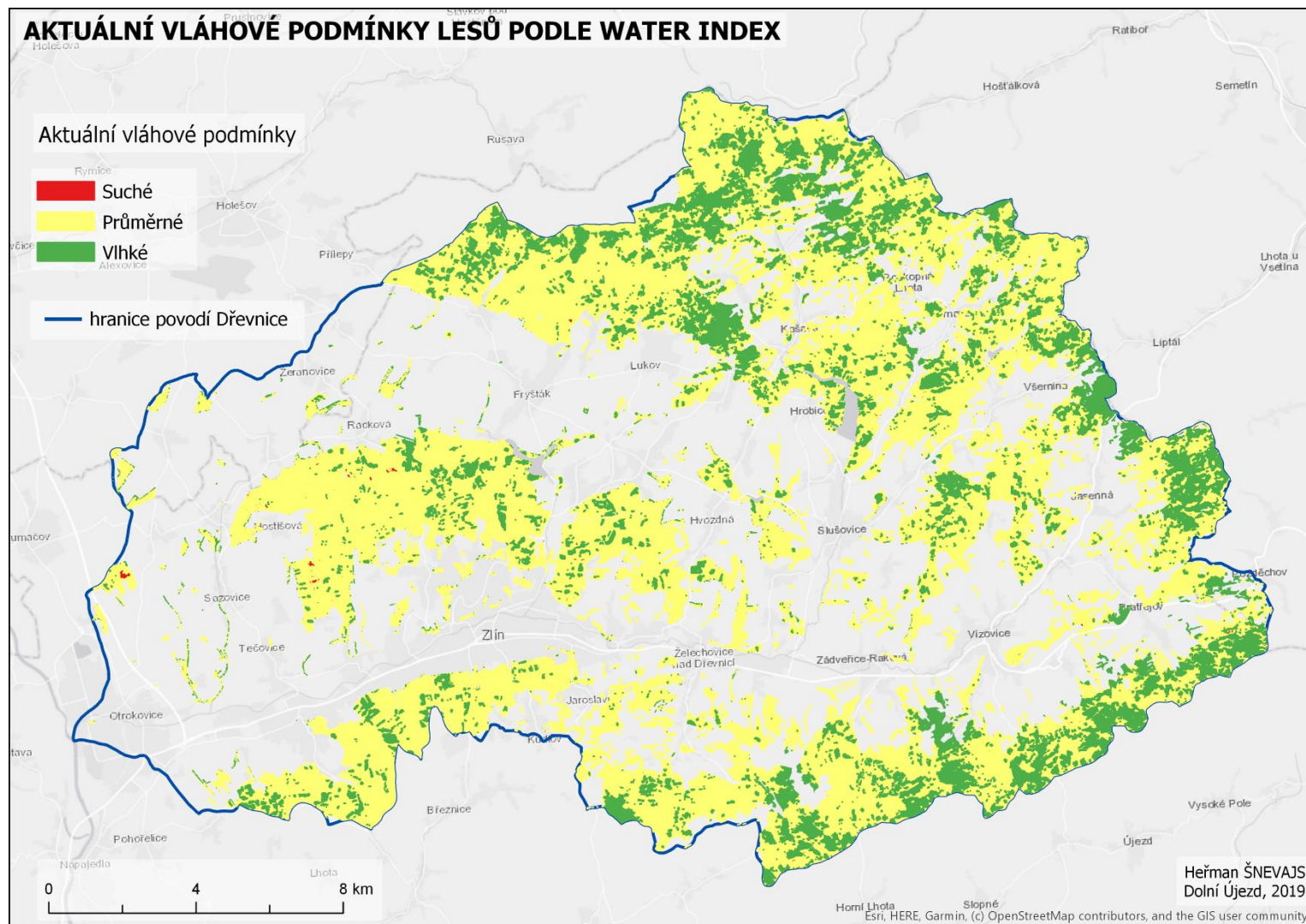
Příloha 12: Mapa CN pro les – výpočet podle metodiky ÚHÚL



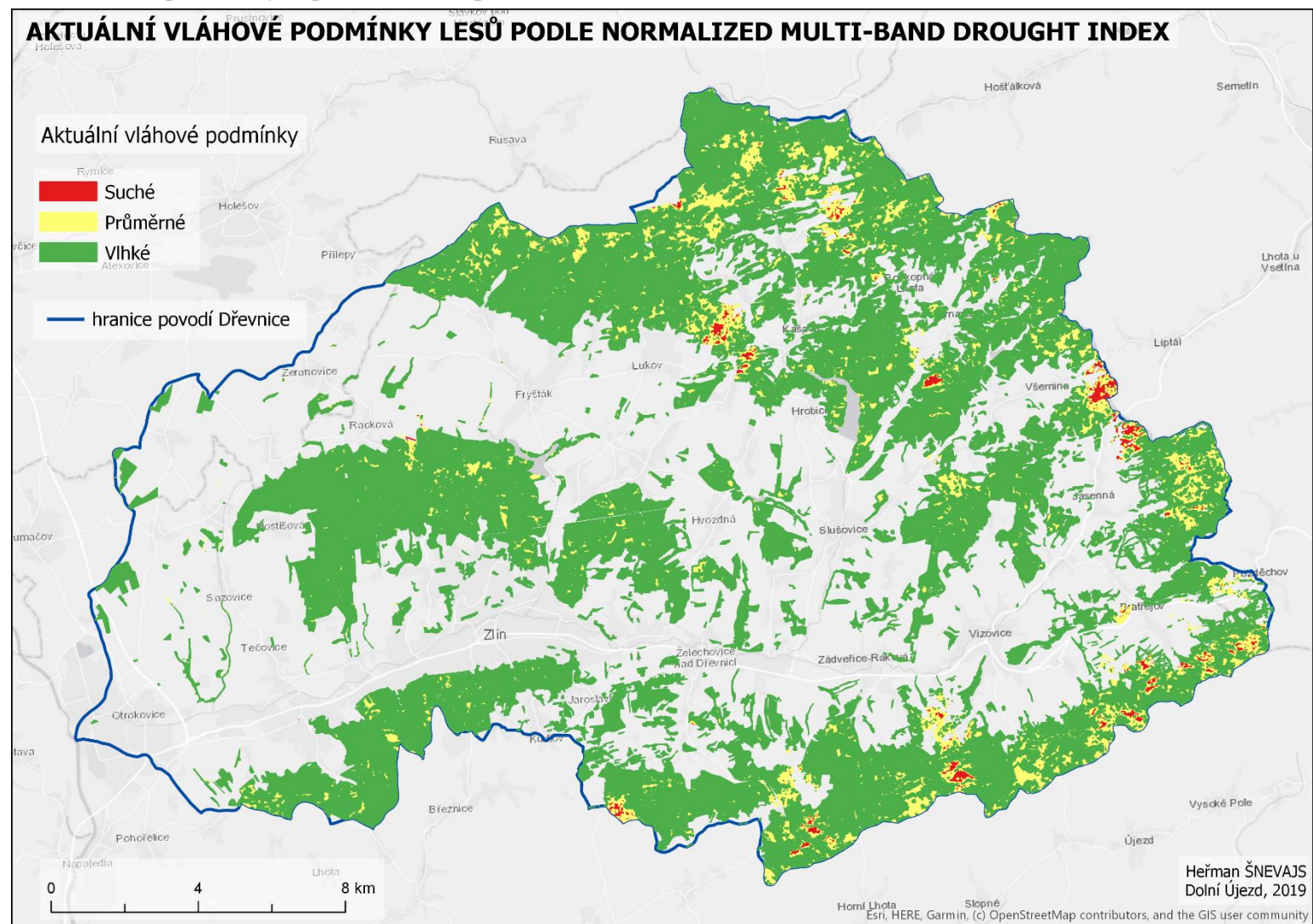
Příloha 13: Mapa vláhových podmínek lesů podle NDMI



Příloha 14: Mapa vláhových podmínek lesů podle WI



Příloha 15: Mapa vláhových podmínek lesů podle NMDI



Příloha 16: Mapa srovnání vymezení lesů – OSM, ÚHÚL, CLC

