

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Katedra geomatiky
Program: Geodézie a kartografie



Vývoj zásuvného modulu QGIS pro určení využití území a potřeby analýz odtokových poměrů

Development of a QGIS Plugin for Land Use Determination and Purposes of Runoff Analysis

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Josef Jehlička
Vedoucí práce: Ing. Martin Landa, Ph.D.
doc. Ing. Petr Kavka, Ph.D.
Rok: 2025

ABSTRAKT

Tato práce popisuje vývoj zásuvného modulu open-source softwaru QGIS, který provádí přípravu dat a následnou analýzu odtoků SCS-CN na automatizovaně získávaných volně dostupných geo datech v ČR jako jsou ZABAGED, LPIS a data poskytovaná projektem rain.fsv.cvut.cz. Data jsou ohodnocena podle způsobu využití území a v kombinaci s daty hydrologických skupin půd a hodnotou úhrnu návrhové srážky vstupují do následné analýzy.

KLÍČOVÁ SLOVA

QGIS, SCS-CN, využití území, zásuvný modul, Python, odtok, povodí, GIS, ZABAGED, LPIS

ABSTRACT

This master's thesis describes the development of a plugin for the open-source software QGIS, which performs data preparation and subsequent runoff analysis using the SCS-CN method on automatically acquired freely available geodata in the Czech Republic, such as ZABAGED, LPIS and data provided by the rain.fsv.cvut.cz project. The data are evaluated based on land use and, in combination with data of hydrologic soil groups and the total design rainfall amount, serve as inputs for the subsequent analysis.

KEY WORDS

QGIS, SCS-CN, land use, plugin, Python, runoff, watershed, GIS, ZABAGED, LPIS

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem "Vývoj QGIS zásuvného modulu pro potřeby výpočtu objemu přímého odtoku metodou SCS-CN" vypracoval samostatně s odborným vedením pana Ing. Martina Landy, Ph.D a doc. Ing. Petra Kavky, Ph.D. Použitá literatura a další podklady, které byly použity pro tuto diplomovou práci, jsou uvedeny v seznamu literatury. Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů.

V Praze dne

.....
Bc. Josef Jehlička

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat

Bc. Josef Jehlička

Obsah

Úvod

Technologie GIS usnadňuje práci v nejrůznějších odvětvích průmyslu od precizního zemědělství až po působení bezpečnostních složek. Což může být motivací pro ušlechtilé úsilí určité skupiny vývojářů, takovou pomoc poskytnout zdarma jako otevřený software s možností dodatečného přizpůsobení nebo integrace do externích aplikací.

Tvorbou zásuvného modulu (pluginu) pro GIS s otevřeným zdrojovým kódem QGIS se zabývá i tato práce. Zmíněný zásuvný modul poskytuje možnost usnadnit práci uživatelům působícím v oblasti hydrologie, konkrétně při výpočtu objemu přímého odtoku metodou SCS-CN na území České Republiky. Takové modelování může například být využito při vymezování záplavových území nebo návrzích protipovodňových opatření.

Cílem bylo vytvořit nástroj pro získání dat, ohodnocení území dle jeho využití, kombinaci těchto dat s vrstvou hydrologických skupin půd, doplnění hodnot CN z tabulky a z nich získání objemu přímého odtoku. Uživateli je umožněno v každé části procesu editovat jakékoliv vstupní hodnoty, či upravit nebo použít vlastní geo data. Tento zásuvný modul realizovaný pomocí programovacího jazyka Python je doplněn o dokumentaci a softwarové testy.

Ačkoliv existují nástroje pro modelování odtokových poměrů metodou SCS-CN, v prostředí volně dostupných GIS řešení chybí specializovaný nástroj, který by kombinoval snadnou použitelnost, integraci s českými datovými zdroji a možnost úprav vstupních parametrů.

Samotná práce popisuje metodu odtokových křivek SCS-CN, software QGIS a s ním propojené softwarové nástroje jako jsou WFS, WPS, jazyk YAML, knihovna PyQt a další. Následně se pak zaměřuje na datové zdroje volně dostupné v České Republice, kterými jsou ZABAGED a LPIS. Obsahuje též popis prací při vývoji zásuvného modulu. Závěrečná část shrnuje dosažené výsledky, zhodnocuje přínos práce a nabízí možnosti dalšího rozšíření.

Kapitola 1

Metoda SCS-CN

Metoda odtokových křivek (SCS-CN) se používá pro určení objemu přímého odtoku při návrhových přívalových deštích. Výhody této metody spočívají v její jednoduchosti a schopnosti reagovat na vlastnosti povodí jako je typ půdy či využití pozemku (land use). Metoda byla vyvinuta v roce 1954 a publikována v roce 1986 organizací USDA Natural Resources Conservation Service (dříve nazývána Soil Conservation Service). [1] Vývoj probíhal na empirických datech získaných v USA, nicméně později byla modifikována na různé typy využití pozemku typické i pro jiné podmínky. [2][3]

Tato metoda může být využita i v menších částech jednotlivých povodí, jejichž rozloha by neměla překročit 10 km^2 a není vhodná pro výpočet odtoku z tání sněhu. V České republice se využívá hlavně pro návrhy protierozních opatření, a to v souladu s ČSN 75 1300. [4]

Výstupem metody CN křivek je hodnota efektivní srážkové výšky dle vzorce (1) [5]:

$$H_0 = \frac{(H_s - I_a)^2}{H_s - I_a + A} \quad (1.1)$$

kde:

H_0	je výška přímého odtoku (mm)
H_s	je celkový srážkový úhrn (mm)
I_a	je počáteční ztráta (mm)
A	je maximální potenciální retence (mm)

Hodnota počáteční ztráty (I_a) se určí jako:

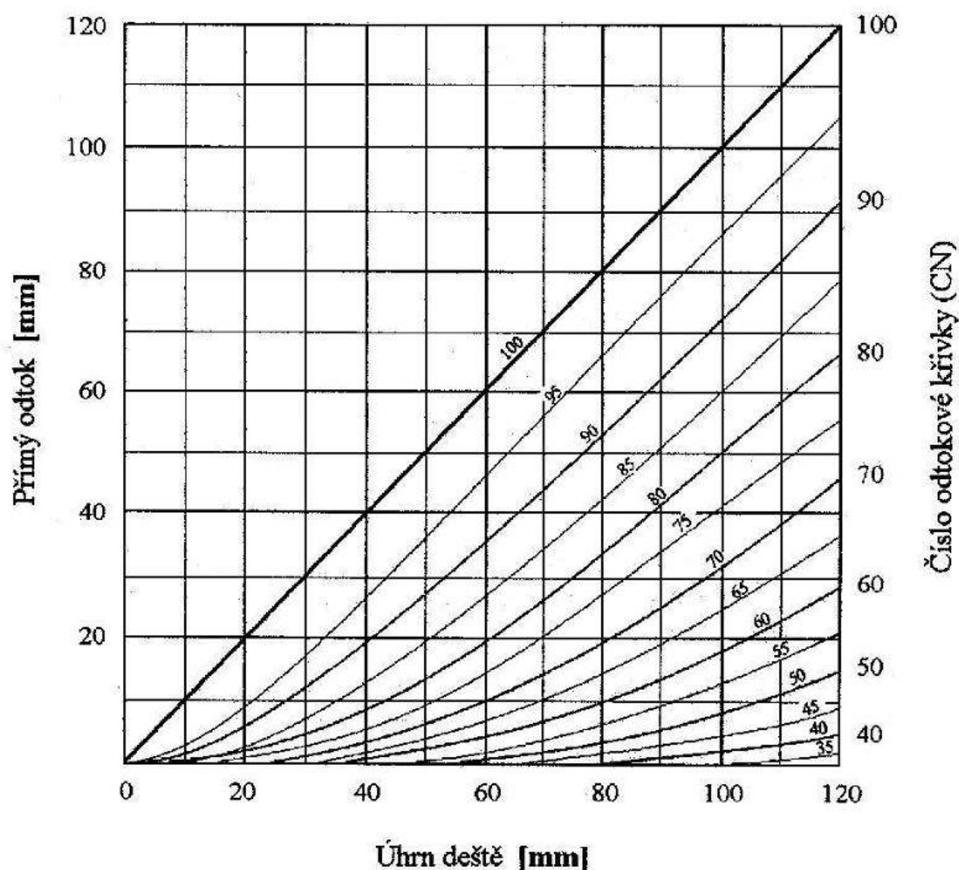
$$I_a = \lambda A \quad (1.2)$$

Kde λ je poměrový koeficient, který se v základu volí 0.2. Tato hodnota byla empiricky odvozena na povodích na území USA. [3][5] Takto zvolená hodnota se stala jedním důvodem pro kritiku této metody. [1]

Maximální potenciální retence (A) je dále určena na základě CN (curvature number) křivek ze vztahu [4] :

$$A = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (1.3)$$

Hodnota CN se pohybuje mezi 0 (prakticky 30) až 100. Čím vyšší je hodnota CN, tím větší je pravděpodobnost, že dojde k povrchovému odtoku. Pokud se CN rovná nule, potom představuje teoretickou horní hranici potenciální retence, což by znamenalo, že takové povodí je nekonečně propustné. [6]



Obrázek 1.1: Závislost výšky přímého odtoku (H_o) na úhrnu deště (H_s) a číslech odtokových křivek (CN) [4]

Tato čísla jsou tabelována pro dvojici jevů. Těmi jsou hydrologické skupiny půd (HSP) a způsob využití území (land use). [6][7]. V České Republice existuje několik tabulek CN hodnot odvozených z originálních USDA hodnot, a to hodnoty dle metodiky Ochrana zemědělské půdy před erozí (rain.fsv.cvut.cz) [4], hodnoty CN křivek doporučené v softwaru HydroCad nebo hodnoty CN křivek z projektu QD1368 [8].

CN hodnoty jsou také děleny pro více počátečních podmínek nasycenosti, a to CN1 pro suché podmínky, CN2 (také pouze CN) pro průměrné podmínky a CN3 pro podmínky vlhké. [9] Hodnoty CN1 a CN3 lze získat z hodnoty CN2 následovně [10]:

$$CN1 = \frac{4.2 \text{ CN2}}{10 - 0.058 \text{ CN2}}, CN3 = \frac{23 \text{ CN2}}{10 + 0.13 \text{ CN2}} \quad (1.4)$$

Hydrologické skupiny půd (HSP) existují čtyři: A,B,C,D. Do těchto skupin se řadí půda dle minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu a po dlouhodobém nasycení.[4]

Tabulka 1.1: Tabulka rozdělení do hydrologických skupin půd (HSP) [4]

Skupina	Charakteristika hydrologických vlastností [m]	Rychlost infiltrace [mm.min ⁻¹]	Rychlost infiltrace [mm.den ⁻¹]
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky.	> 0,12	> 172
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.	0,06–0,12	86,4–172
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.	0,02–0,06	28,8–86,4
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující především 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.	< 0,02	< 28,8

Kapitola 2

QGIS

QGIS (dříve známý jako Quantum GIS) je jeden z geografických informačních systémů (GIS), tj. informační systém zabývající se informacemi, které se týkají jevů přidružených k místu vztaženému k Zemi. [11]



Obrázek 2.1: Logo softwaru QGIS

Tento software je podporován v prostředí Windows, Mac OS, Linux i Unix. Na rozdíl od komerčních alternativ, jako je například ArcGIS, je QGIS zcela zdarma k použití a řadí se mezi takzvaný otevřený software, který je spravován neziskovou organizací The Open Source Geospatial Foundation (OSGeo).



Obrázek 2.2: Logo organizace OSGeo

OSGeo stojí i za řadou dalších projektů na poli otevřeného softwaru, jako jsou například:

- GRASS GIS
- gvSIG - GIS software
- PROJ - knihovna pro transformaci souřadnic a kartografických projekcí
- GDAL/OGR - knihovna pro čtení a zápis GIS formátů
- PostGIS - SQL pro práci s geoprostorovými daty

- GeoServer - Serverová platforma umožňující publikaci prostorových dat
- OpenLayers - JavaScript knihovna pro tvorbu webových mapových aplikací

QGIS funguje pod licencí GNU GPL a je postaven na knihovně Qt jazyka C++. QGIS vznikl iniciativou Garyho Shermana, který ji započal v roce 2002 jako prohlížeč software geoprostorových dat pro operační systém Linux. Jeho první verze vyšla až v roce 2009. [12]

2.1 Zásuvné moduly

QGIS je pravidelně jeho vývojáři rozšiřován o nejrůznější funkce, často přejímané z dalších otevřených softwarů jako je například: GRASS GIS, GDAL nebo SAGA GIS.[13]

Nespornou výhodou je i fakt, že jakákoliv nezávislá organizace, či jednotlivec může vyvinout vlastní rozšíření tohoto softwaru pomocí zásuvných modulů (tzv. pluginů) využívajících QGIS Python API (PyQGIS). Pokud takto vytvořený modul splní požadavky OSGeo, může být vydán pod její záštitou. Jinak může být distribuován neoficiálně například v komprimovaném adresáři.

Vytvoření takového pluginu zjednodušuje plugin již existující, a to Plugin Builder. Ten je vyvinut společností GeoApt LLC jejímž vlastníkem je již zmíněný Garry Sherman zakladatel samotného softwaru QGIS. Tento nástroj vytvoří šablonu potřebných souborů pro potřebu vytvoření zásuvného modulu. [14]

Mezi další významné pluginy patří například: OpenLayers Plugin pro zobrazení vrstev Google Maps nebo OpenStreetMap, QuickMapServices pro načítání různých mapových služeb a datových setů, Semi-Automatic Classification Plugin pro řízenou klasifikaci družicových snímků nebo qgis2web pro exportování vrstev do formátu webových stránek. [14]

V prostředí QGIS již existuje zásuvný modul pro analýzu SCS-CN zvaný *Curve Number Generator*, který vytvořil Abdul Raheem Siddiqui. Ten umožňuje volit vstupní datové sady pro Spojené státy americké, globální, či si uživatel může zvolit vlastní rastrová data. Americká datová sada využívá National Land Cover Database, což je rastrová vrstva využití území s rozlišením pixelu 30m a půdní data Soil Survey Geographic Database v měřítku 1:12 000. I dataset pro globální výpočet má na vstupu pouze rastrové vrstvy a to ESA Land Cover 2021 a ORNL Hydrologic Soil Group dataset. Tento zásuvný modul neobsahuje dokumentaci a neumožňuje navázat výpočtem objemu přímého odtoku. [15]

Kapitola 3

Datové zdroje

Vstupem pro metodu SCS-CN je kombinace informací o využití území a hydrologických skupinách půd v daném území. Vrstva využití území je v zásuvném modulu získána kombinací vrstev ZABAGED a LPIS.

3.1 ZABAGED[®]

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED[®]) je vektorová geografická datová sada ve správě Zeměměřického úřadu ve veřejném zájmu. Skládá se z 140 různých polohopisných geografických objektů, které spadají do následujících kategorií [16] :

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

Kromě polohopisných dat obsahuje ZABAGED[®] i data výškopisná (vrstevnice, DMR 4G, DMR 5G, DMP 1G) a data spadající pod rámec INSPIRE (Vodstvo, Dopravní sítě, Nadmořská výška GRID, Nadmořská výška TIN). [16]

Polohopisné objekty jsou distribuována v různých geometrických zobrazeních:

- bod

- centroid plochy
- linie
- linie - osa objektu
- obvodová linie
- plocha

Každý objekt obsahuje atribut o jeho střední polohové chybě vyjádřené v metrech. Původním zdrojem těchto polohových dat je Základní mapa České republiky 1:10 000 (ZM 10). Ta byla několikrát aktualizována pomocí aktuálního Ortofota ČR. Dále se v menší míře využívají data z přímého geodetického měření, data z leteckého laserového skenování či data od externích subjektů. [16]

3.2 LPIS

LPIS (Land Parcel Identification System) je geografický informační systém sloužící hlavně k evidenci zemědělské půdy, za který je odpovědné Ministerstvo zemědělství. Obsahem jsou zemědělské parcely zobrazující vlastnické vztahy. Ty jsou výchozí pro udělování dotací pro zemědělskou půdu. [17]

Základní datovou jednotkou je díl půdního bloku (DPB), které jsou zcelovány do souvislých obhospodařovaných ploch tzv. půdních bloků (PB). [17]

LPIS je veden ve všech státech Evropské unie, ale v různých státech se pozemky uchovávají v jiných druzích parcel (katastrální parcely, zemědělské parcely, zemědělské půdní bloky nebo fyzické bloky). [18]

Takové plochy obsahují údaje o druhu zemědělské kultury, a to [19]:

- orná půda, kterou je
 - standardní orná půda,
 - travní porost a
 - úhor,
- trvalý travní porost,
- trvalá kultura, kterou je
 - vinice,
 - chmelnice,
 - ovocný sad,
 - školka,
 - rychle rostoucí dřeviny pěstované ve výmladkových plantážích,

- plocha s víceletými produkčními plodinami,
- plocha s lanýží a
- jiná trvalá kultura,
- ostatní kultura, kterou je
 - zalesněná půda,
 - rybník,
 - plocha s kontejnery,
 - mimoprodukční plocha a
 - jiná kultura.

Databáze také obsahuje ekologicky významné prvky a další objekty. [19] Přístup k těmto datům je zprostředkován webovými službami (iLPIS a pLPIS) a WMS či WFS službou. [17]

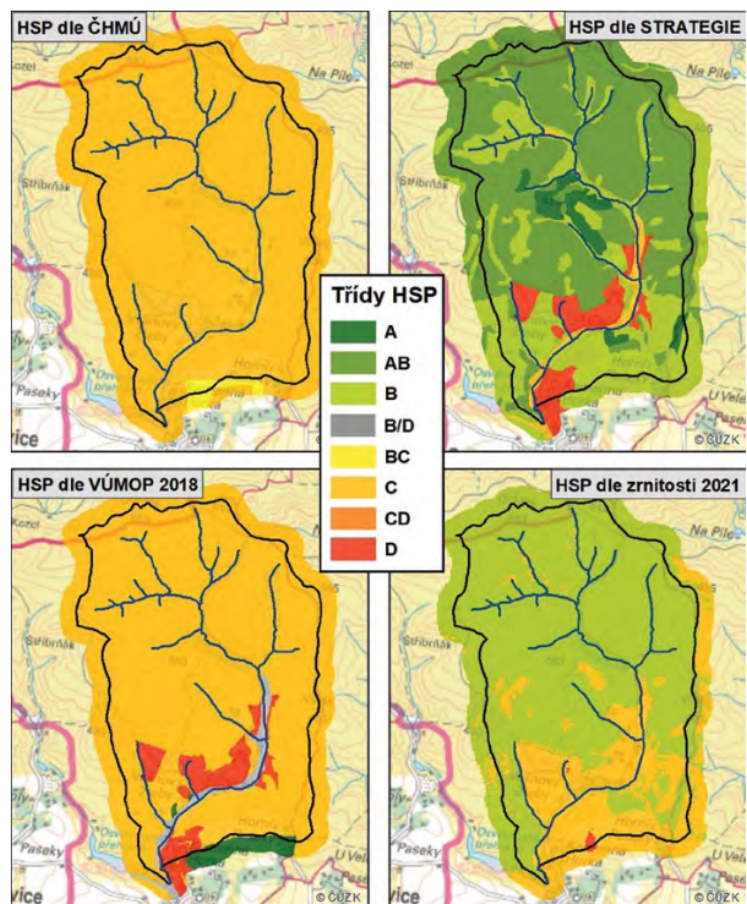
3.3 Hydrologické skupiny půd (HSP)

Význam hydrologických skupin půd (hydrology soil groups) a jejich dělení je popsáno v první kapitole.

Zdroje hydrologických skupin půd v České republice existují celkem čtyři [20]:

- CN (s metodikou výpočtu) dle ČHMÚ (2004)
- HSP dle projektu „Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice“ (2015)
- HSP dle VÚMOP (2018)
- HSP dle půdní zrnitosti, dle projektu "Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR"(2021)

Volba zdroje půdních dat může ovlivnit výsledky analýz, nicméně neexistuje způsob, jak určit spolehlivost těchto rozdílných zdrojů dat, i přestože se poměrně značně liší.[16] To je vizualizováno níže.



Obrázek 3.1: Plošné rozdělení jednotlivých HSP na povodí Hruškovice podle různých podkladů [20]

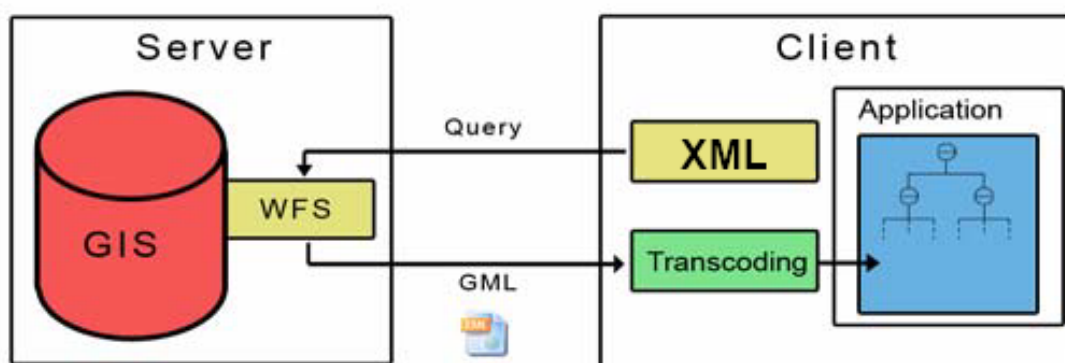
Kapitola 4

Použité technologie

4.1 Web Feature Service (WFS)

Web Feature Service je internetová služba pro šíření geografických informací, která nahradila šíření celých datových souborů například pomocí File Transporn Protocol (FTP). Služba je standardizována organizací Open Geospatial Consortium (OGC) v dokumentu ISO 19119. [21] WFS je napsáno v jazyce XML a data jsou reprezentována primárně v jazyce GML. [22]

Na rozdíl od Web Map Service (WMS), která připojuje vrstvy jako needitovatelné rastrové podkladové vrstvy, WFS slouží ke sdílení vektorových dat s možností následné editace. Uživatel zašle požadavek ve formátu XML na WFS server, který vrátí odpověď opět V XML. [22]



Obrázek 4.1: Schéma služby WFS [23]

Pro komunikaci se serverem poskytující WFS službu může uživatel využít následujících jedenáct operací:

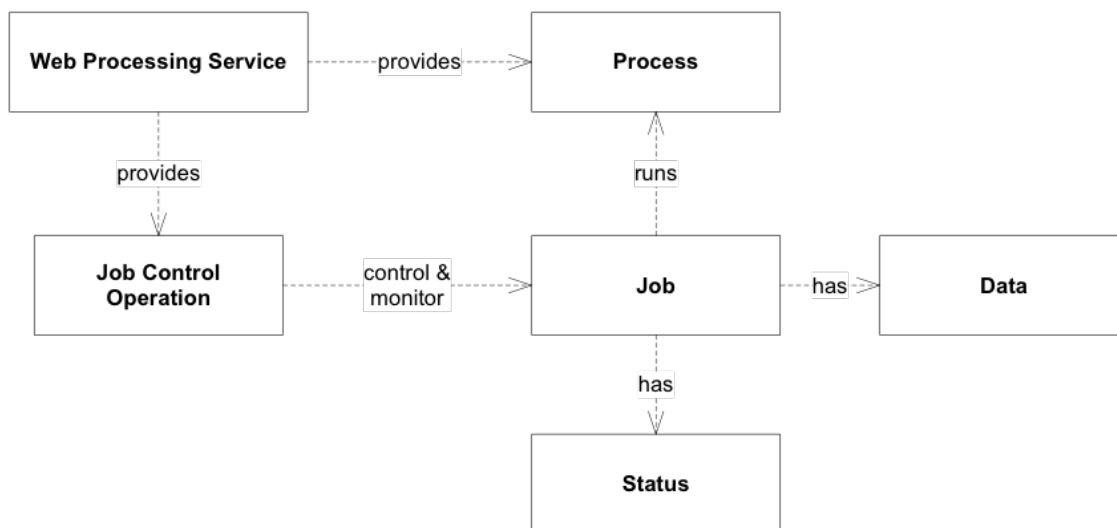
Tabulka 4.1: Tabulka WFS operací

Operace	Volitelný	Popis
GetCapabilities	NE	Načte metadata o službě, včetně podporovaných operací a parametrů, a seznam dostupných typů prvků.
DescribeFeatureType	NE	Vrací popis struktury typů prvků a jejich vlastností, které WFS poskytuje nebo přijímá.
GetFeature	NE	Vrací výběr instancí prvků z datového úložiště publikovaného prostřednictvím WFS.
ListStoredQueries	NE	Vrací seznam dotazů, které byly uloženy v instanci WFS.
DescribeStoredQueries	NE	Vrací popis dotazů, které byly uloženy v instanci WFS.
GetPropertyValue	ANO	Načítá hodnotu vlastnosti prvku nebo část hodnoty složité vlastnosti pro sadu prvků.
GetFeatureWithLock	ANO	Podobné jako GetFeature, ale s možností uzamknout prvek pro následné úpravy.
LockFeature	ANO	Uzamkne sadu instancí prvků tak, aby je jiné operace nemohly měnit, dokud je zámek aktivní.
Transaction	ANO	Umožňuje modifikaci nebo odstranění instancí prvků a jejich vlastností.
CreateStoredQuery	ANO	Vytvoří a uloží dotaz, který může klient snadno vyvolat později.
DropStoredQuery	ANO	Odstraní dříve uložený dotaz ze serveru.

4.2 Web Processing Service (WPS)

Web Processing Service (WPS) je služba umožňující nad poskytnutými daty provést jakoukoliv GIS operaci, a to od bufferu až po generování analytických modelů. Komunikace probíhá stejně jako u WFS pomocí XML. K tomu může být využita knihovna OWSLib.

Tato služba standardizovaná OGC může komunikovat s jednou a více WFS službami, pro získání dodatečných geo dat. [24] WPS může také poskytované procesy monitorovat a případně je ukončit. [25]



Obrázek 4.2: Konceptuální model WPS [25]

4.3 YAML formát

YAML (YAML Ain't Markup Language) je jazyk pro serializaci dat. Je tvořen tak, aby byl čitelný a pohodlný pro užívání s řadou novodobých programovacích jazyků. Informace uchovává v Unicode charakterů strukturovaných v hodnotových párech a odrážkových seznámech. [26]



Obrázek 4.3: Logo projektu YAML (zdroj: Wikimedia Commons)

YAML se od XML liší tím, že je vytvořen hlavně pro ukládání dat, zatímco XML slouží k uložení uspořádaných dokumentů. YAML je lépe čitelný díky odsazení a chybějícím znaménkům zatímco XML používá složitější syntaxi. [26]

YAML je také jednodušší pro editaci člověkem než JSON, který je vhodnější pro zpracování strojem. YAML může mít složitější datové struktury a využívá komentáře, ale JSON má jednodušší pravidla. [26]

4.4 Python knihovna PyQt

PyQT je sada Python příkazů pro multiplatformní aplikační vývojovou platformu, která kombinuje všechny výhody Qt a Pythonu. [27]



Obrázek 4.4: Kombinace log Python a Qt (zdroj: Wikimedia Commons)

Qt je aplikační rámec pro tvorbu uživatelských prostředí podporující řadu hardwaru a operačních systémů. Tvorbu uživatelského prostředí zprostředkovávají softwary jako jsou QtCreator nebo QtDesigner, jehož specializovaná verze je součástí instalace QGIS.

PyQt umožňuje propojit Python kód s množstvím prvků uživatelského prostředí, jako jsou tlačítka, popisky, přepínače, zaškrtačací políčka, rozbalovací seznamy nebo okna pro vstup textu.

4.5 Python knihovna pytest

Robustní knihovna pytest se používá pro všechny druhy testování softwarů. Od konkurenční knihovny unittest na tuto přešla spousta projektů, jakou jsou třeba Mozilla nebo Dropbox. [28]



Obrázek 4.5: Logo knihovny pytest [24]

Výhody knihovny jsou například nezávislost na verzi Pythonu, snadná čitelnost a implementace nebo otevřenost zdrojového kódu pod licencí MIT. Díky tomu byla pro knihovnu vyvinuta řada zásuvných modulů pro specifitější použití. [28]

Testy je možné spouštět přímo v příkazové řádce, přičemž je uživatel informován o prostředí ve kterém je test spuštěn, době jeho trvání a počtu procházejících a selhávajících úkonů.

4.6 GitHub

Tato vývojářská platforma umožňuje vzdálené uložení a editaci kódu. Na její pozadí stojí Git, což je systém pro správu verzí. Ten byl původně vytvořen Linusem Torvaldsem, aby usnadnil vývoj jádra operačního systému Linux. [29]



Obrázek 4.6: Logo platformy GitHub (vlevo) a systému Git (vpravo) [29]

Na stránkách GitHub je možné po založení účtu vytvořit repozitář pro daný projekt. Při vývoji lze vytvářet nové vývojové větve (branch), které je možné zařadit do větve hlavní. Tímto způsobem může na projektu spolupracovat více lidí najednou a nezávisle. Výhodou je také fakt, že v každé větvi je možné provedené změny vrátit do původního stavu. Tento proces lze zjednodušeně přiblížit na úpravě textového dokumentu více uživateli ve službě Google Docs. [29]

Při zapojení (*merge*) vedlejší větve s úpravami do hlavní lze vytvořit žádost o začlenění změn (*pull-request*), kde může více uživatelů diskutovat o provedených změnách. [29]

Github je možné propojit s velkým množstvím vývojových prostředí nebo je možné využít aplikaci GitHub Desktop pro klonování repozitářů na lokální úložiště. Nicméně stejné funkcionality lze dosáhnout užitím pouze příkazové řádky.

Pomocí služby GitHub Actions lze repozitář propojit s nějakou externí funkcionalitou, mezi které patří: vytvoření Python knihovny, vytvoření Dockeru, propojení s externími cloudovými službami, spouštění testů nebo vytvoření webových stránek ze souborů repozitáře.

Kapitola 5

Postup implementace

Všechny kroky implementace byly uskutečněny v rámci GitHub repozitáře v spadající pod organizaci GeoForAll Lab at CTU in Prague.

5.1 Návrh pracovního postupu

Nejprve bylo nutné zajistit způsob, jakým bude uživatel definovat zájmovou oblast pro průběh analýzy. Vhodně se jevílo, aby bylo možné zvolit oblast buď uvnitř již existujícího polygonu nebo zjednodušeně ve výřezu okna obrazovky.

Geometrické a polohové vlastnosti těchto objektů bylo nutné následně předat službám WPS a WFS zajišťující získávání dat od třetích stran. Po získání vektorových dat ze služeb WFS poskytovaných správci datových sad ZABAGED a LPIS se jevílo žádoucí aplikovat buffer na liniové či bodové prvky s předpokladem že tyto buffery se budou řídit atributovými hodnotami takových vrstev (například třída nebo typ pozemní komunikace).

Všem polygonovým vrstvám je následně potřeba přiřadit kód využití území. Základní dle názvu vrstvy a detailnější hodnotu dle různých hodnot atributů (příkladem může být třeba vrstva lesa, které byla přidána základní hodnota a přírůstky k této hodnotě dle atributu druhu lesa).

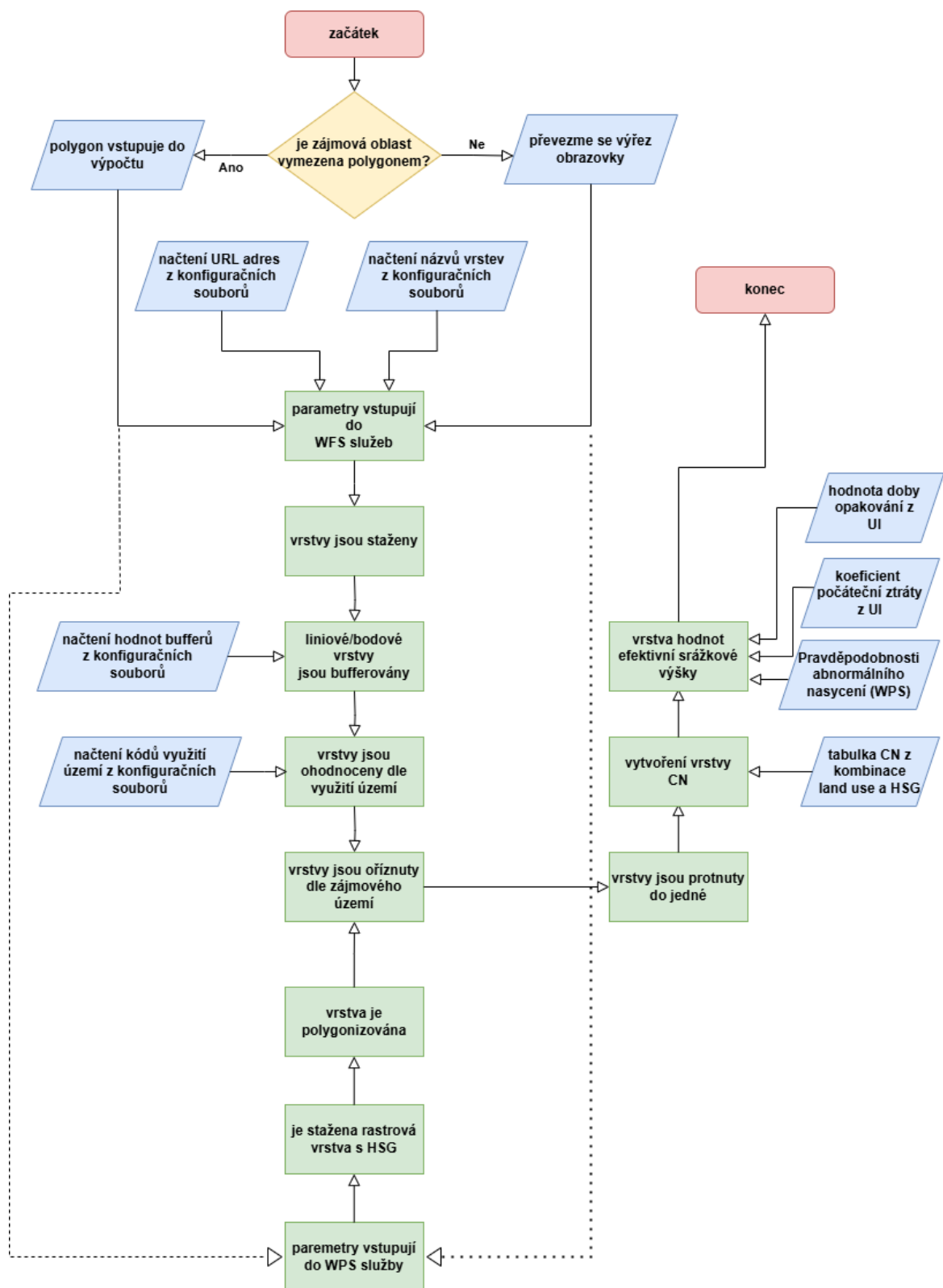
Po těchto úpravách následuje proces oříznutí vrstev, tak aby přesně kopírovaly definiční polygon zájmového území na vstupu a aby prvky po aplikovaném bufferu tento polygon či výřez obrazovky nepřesahovaly.

Dále existuje potřeba tyto vrstvy spojit do jedné dle dané priority. Například tak, aby komunikace vedly nad vodními toky, budovy se nacházely nad zastavěnou plochou a podobně.

Druhou potřebnou vrstvou vstupující do výpočtu je vrstva obsahující hydrologické skupiny půd (HSG). Ta je získávána z WPS služby umístěné na adrese rain.fsv.cvut.cz. Tato služba umožňuje získávat půdní data v rastrové podobě, a proto následuje proces jejich polygonizace. Taková vrstva je také oříznuta dle zájmového území.

Pomocí geometrického sjednocení vstupních prvků jsou obě vrstvy spojeny do jedné se zachovanými atributy o hydrologických skupinách půd a využití území. Z jejich kombinace se poté dle zvolené tabulky přiřadí hodnoty CN.

...



Obrázek 5.1: Vývojový diagram pracovního postupu

5.2 Tvorba grafického uživatelského rozhraní



Obrázek 5.2: Ikona zásuvného modulu

5.3 Získávání vrstvy využití území (land use)

Nejprve je nutné získat územní rozsah ve kterém se budou získávat potřebné vrstvy. Podle volby uživatele v grafickém uživatelském rozhraní se použije buď výřez obrazovky nebo ohraničující obdélník vybraného polygonu.

Kód 5.1: Získání územního rozsahu

```
1 if not self.AreaFlag:
2     extent = iface.mapCanvas().extent()
3 elif self.polygon and self.polygon.isValid():
4     extent = self.polygon.extent()
5 else:
6     QgsMessageLog.logMessage("Invalid polygon layer!",
7                               "CzLandUseCN", level=Qgis.Warning, notifyUser=True)
```

Z konfiguračních souborů je poté načten seznam názvů a URL adresy WFS služeb stahovaných vrstev. Všechny tyto parametry jsou přesunuty do jiného vlákna softwaru QGIS, kvůli zachování responsivity samotné aplikace QGIS při procesu stahování. Na pozadí je potom stažena z WFS služby každá vrstva z dříve získaného seznamu vrstev v požadovaném rozsahu. Každou získanou vrstvou se také přiřadí nová hodnota v ukazateli průběhu v uživatelském rozhraní.

Kód 5.2: Stažení vrstvy z WFS služby

```
1 def process_wfs_layer(self, layer_name: str, ymin: float, xmin:
2     float, ymax: float, xmax: float,
3     extent: QgsGeometry,
4     URL: str) -> Optional[QgsVectorLayer]:
5     """Load and clip a WFS layer to the given extent"""
6     uri = (
7         f"{URL}?"
8         f"&version=2.0.0&request=GetFeature&typename={layer_name}"
9         f"&bbox={xmin},{ymin},{xmax},{ymax},EPSG:5514"
10    )
11    vlayer = QgsVectorLayer(uri, f"Layer: {layer_name}", "WFS")
12
13    clipped_layer = self.clip_layer(vlayer, extent, layer_name)
14    if clipped_layer.isValid():
15        return clipped_layer
```


Takto získané vrstvy se uchovají v paměti počítače a nyní je potřeba provést kroky, aby jednotlivé vrstvy reprezentovaly využití území. K jednoznačné identifikaci typu využití území se využije kód, který se zároveň bude vyskytovat v tabulce pozdější funkcionality určení hodnoty CN. V první fázi přiřazení se u každé vrstvy vytvoří atribut pro hodnotu kódu využití území a doplní se jeho základní hodnota dle názvu vrstvy. Rozlišné vrstvy mohou mít i totožný kód využití území, jako například silnice a parkoviště, jelikož se v obou případech jedná o antropogenní nepropustné povrchy. Tato hodnota je přiřazena pomocí klíčového slova v názvu vrstvy, ke kterému je v konfiguračním souboru přiřazena hodnota kódu využití území. Díky tomu bude tato funkcionality zachována i v případě, že správce WFS služby obmění názvy poskytovaných vrstev.

Kód 5.3: Přiřazení kódu využití území

```
1 for entry in data["land_use"]:
2     names = entry["keywords"] # Get keyword list
3     code = entry["code"] # Get land use code
4
5     if any(name.lower() in layer_name.lower() for name in names):
6         layer.startEditing()
7         for feature in layer.getFeatures():
8             feature["LandUse_code"] = code
9             layer.updateFeature(feature)
10        layer.commitChanges()
11
12 updated_layers.append(layer) # Always append the layer
13 return updated_layers
```

Některé stahované vrstvy jsou liniové nebo bodové a právě na ty je aplikován buffer. Pro mnohé je aplikován jen pouze dle názvu vrstvy a pro některé je hodnota bufferu přiřazena dle vybraného řídicího atributu. Pokud řídicí atribut obsahuje nečekané hodnoty nebo neobsahuje hodnotu žádnou, je zvolena definovaná implicitní velikost bufferu.

Kód 5.4: Přiřazení velikosti bufferu

```
1 for feature in layer.getFeatures():
2     value = feature[controlling_atr_name]
3     if value in flat_values:
4         index = flat_values.index(value)
5         buffer_distance = distances[index // len(values[0])]
6     else:
7         buffer_distance = default_buffer
```

Další implementovanou funkcí pluginu je zpřesnit kód využití území dle nějakého atributu vrstvy. Jelikož atribut u vrstvy nemění přiřazený kód z názvu vrstvy, tak se k již přiřazené hodnotě pouze přičte žádané číslo. Jestliže atribut obsahuje neočekávanou hodnotu, zůstane u prvku pouze základní kód.

Po těchto úpravách je na řadě oříznutí vrstev tak, aby po aplikovaném bufferu nezasahovaly mimo zájmové území. Následně je potřeba všechny vrstvy spojit do jedné podle požadovaného pořadí. Na finální spojenou vrstvu využití území je pak aplikována tabulka symbologie a je přidána do projektu.

5.4 Získání vrstvy HSP a její propojení s vrstvou využití území

Data hydrologických skupin půd využitých v zásuvném modulu jsou získávány z WPS služby umístěné na doméně *rain.fsv.cvut.cz*. Tato služba má na vstupu polygonovou vrstvu s maximálním rozsahem 20 km a názvy požadovaných vrstev. Tato služba totiž nabízí kromě dat hydrologických skupin půd i míru zastoupení písku, naplavenin, jílu a texturu půdy podle USDA. Nicméně tyto další poskytované vrstvy nejsou ve výpočtu využity. Všechny tyto vrstvy poskytovány v rastrové podobě byly vytvořeny v rámci projektu Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd ČR.

Zájmová oblast je uživatelem zadávána stejně jako u dat získávaných pro vrstvu využití území buď polygonem nebo výřezem obrazovky, a proto musí být v druhém případě tento vstup převeden do polygonu.

Kód 5.5: Převod výřezu obrazovky na polygon

```
1 rect = QgsRectangle(xmin, ymin, xmax, ymax)
2 layer = QgsVectorLayer("Polygon?crs=EPSG:5514", "Rectangle_Layer",
3     "memory")
4 provider = layer.dataProvider()
5 fields = QgsFields() # Define attributes
6 fields.append(QgsField("id", QVariant.Int))
7 provider.addAttributes(fields)
8 layer.updateFields()
9 feature = QgsFeature() # Create a feature with rectangle geometry
10 feature.setGeometry(QgsGeometry.fromRect(rect))
11 feature.setAttributes([1]) # Assign an ID
12 provider.addFeature(feature)
13 layer.updateExtents() # Refresh the layer
14 return layer
```

Tato služba WPS vrací pouze matici pixelů, které jsou v celém rozsahu uvnitř definičního polygonu, proto aby byly použity pixely na obvodu polygonu je na vstupní polygon aplikován buffer o hodnotě dvojnásobném rozlišení rastrové vrstvy.

Jelikož po předání vektorové vrstvy WPS službě tato služba stahuje data uvnitř geometrií každého prvků této vrstvy je pro urychlení procesu na vrstvu aplikována funkce sloučení (*dissolve*), tak aby byly předány pouze souřadnice vrcholových bodů celé vrstvy, což také zjednodušuje kontrolu celkového rozsahu zájmového území.

Pro komunikaci se službou je potřeba jí předat požadavek ve formátu XML. To se vytvoří doplněním ohraničujícího obdélníku, body a atributy definičního polygonu do XML šablony uložené ve složce s konfiguračními soubory. Toto XML se předá s identifikátorem pro stažení vrstvy hydrologických skupin půd funkcí (*execute*) knihovny OWSLib.

Kód 5.6: Spuštění komunikace s WPS službou

```
1 execution = wps.execute(self.process_identifier, [], request=
2     requestXML.encode('utf-8'))
3 monitorExecution(execution)
```

Výstupem služby je rastrová vrstva v komprimované složce, ta je uložena do dočasné složky vytvořené v systému. Ta je poté extrahována a soubor formátu TIF je uložen do paměti počítače. Ten je polygonizací převeden do vektorové podoby a uložen do stejné dočasné složky ve formátu GeoPackage.

Kód 5.7: Polygonizace rastrové vrstvy

```
1 feedback = QgsProcessingFeedback() # Add feedback for processing
2     temp_dir = tempfile.mkdtemp()
3     output_path = os.path.join(temp_dir, "polygonized.gpkg")
4     try:
5         result = processing.run("gdal:polygonize", {
6             'INPUT': raster_path,
7             'BAND': 1,
8             'FIELD': 'HSG',
9             'EIGHT_CONNECTEDNESS': False,
10            'OUTPUT': output_path
11        }, feedback=feedback)
```

Vektorová vrstva je poté oříznuta dle původního polygonu na vstupu, na který nebyl aplikován buffer. Nicméně tato vrstva HSP může obsahovat díry. To nastává hlavně na místech, kde se nachází nějaká vodní plocha. Takové díry jsou poté vyplněny hodnotou 0 a je s nimi nakládáno jako s vodní plochou. Na výslednou vrstvu je aplikován barevný styl.

Po přidání vrstvy využití území i vrstvy hydrologických skupin se tyto vrstvy zároveň propojí s rozevíracími seznamy na druhé záložce v grafickém uživatelském rozhraní. Odtud je potom možné obě vrstvy propojit do jedné.

Pokud je jedna z vrstev rozsahem větší než druhá, je ta větší oříznuta dle té menší. Vrstvy jsou potom i s atributy spojeny do jedné a je na ně aplikována symbologie.

Kód 5.8: Propojení vrstev využití území a HSP

```
1 combined_layer = processing.run("native:union", {
2     'INPUT': self.LandUse_layer,
3     'OVERLAY': self.Soil_layer,
4     'OUTPUT': 'memory:'
5 })['OUTPUT']
```

5.5 Analýza odtoků SCS-CN

Vstupem do vyhodnocení vrstvy hodnot CN je vrstva obsahující kódy využití území a hodnoty hydrologických skupin půd pro jednotlivé prvky. Dále je pro převod načíst tabulku CN2 hodnot z konfiguračního CSV souboru definovanou v uživatelském rozhraní. Takové hodnoty je vhodné uložit v slovníku s korespondujícími kódy využití území a ignorovat hlavičku souboru, pokud ji obsahuje.

Kód 5.9: Vytvoření slovníku z CSV souboru

```

1 with open(self.CN_table_path, newline='', encoding='utf-8') as
  csvfile:
2     reader = csv.reader(csvfile)
3     for i, row in enumerate(reader):
4         if i == 0:
5             try:
6                 int(row[0])
7             except ValueError:
8                 continue # skip header
9
10        landuse = int(row[0])
11        cn_values = list(map(float, row[1:]))
12        cn_dict[landuse] = cn_values
13    return cn_dict

```

Následně je vytvořena nová vrstva v paměti počítače, která si převezme všechny objekty z vrstvy na vstupu. K této nové vrstvě je následně připojena hodnota CN2 ze slovníku a z ní je vypočtena i hodnota CN3.

Této vrstvě je také automaticky generován styl symbologie. Jelikož odstupňovaný typ symbologie nepodporuje stylizaci NULL hodnot, proto jsou nejprve vypočteny hranice kvantilů a z nich jsou vytvořeny pravidla pro kategorizovanou symbologie doplněnou od pravidlo pro prázdné hodnoty.

5.6 Výpočet objemu přímého odtoku

5.7 Popis konfiguračních souborů

5.7.1 layers_merging_order.csv

Tento jednoduchý csv soubor obsahuje v každém řádku název vrstvy poskytované ZABAGED WFS službou. Jejich pořadí určuje pořadí, ve kterém budou spojeny do jedné vrstvy využití území. Vrstvy uvedené dříve budou připojeny nad vrstvy pod nimi. označení *LPIS_layer* neslouží ke stažení vrstvy, ale pouze určuje pořadí vrstvy z WFS LPIS služby.

Kód 5.10: Ukázka layers_merging_order.csv

```

1 ZABAGED_POLOHOPIS:Heliport
2 ZABAGED_POLOHOPIS:Budova_jednotlivá_nebo_blok_budov__plocha_
3 ZABAGED_POLOHOPIS:Silnice__dálnice
4 LPIS_layer
5 ZABAGED_POLOHOPIS:Okrasná_zahrada__park

```

5.7.2 zabaged_to_LandUseCode_table.yaml

Toto je YAML soubor, který obsahuje seznam obsahující mapy vždy s dvěma stejnými klíči *keywords* a *code*. *Keywords* obsahuje seznam řetězců a *code* jedno celé

číslo.

Soubor je využit k mapování kódů využití území. Pokud se alespoň jedne řetězec uvnitř seznamu *keywords* nachází v názvu získané ZABAGED vrstvy, je takové vrstvě přiřazen kód využití území z korespondujícího klíče *code*.

Tento postup je volen tak, aby při změně názvů vrstev poskytovatelem bylo toto přiřazení stále funkční.

Kód 5.11: Ukázka `zabaged_to_LandUseCode_table.yaml`

```
1 land_use:
2   - keywords: [Orná, orná, Orna, orna]
3     code: 10000
4   - keywords: [Travní, travní, Travni, travni]
5     code: 20000
6   - keywords: [Lesní, lesní, Lesni, lesni]
7     code: 30000
```

5.7.3 ZABAGED.yaml

Tento soubor obsahuje informace o vrstvách stahovaných ze ZABAGED WFS služby a slouží k jejich úpravě. Jmenovitě to je aplikace bufferu a zpřesnění kódu využití území.

Na prvním řádku soubor obsahuje URL adresu v řetězci pod klíčem *URL*, kde se nachází WFS služba poskytující ZABAGED data. Dále seznam vrstev, pro které se mají vytvářet buffery podle určitých hodnot v attributech. Každý objekt obsahuje sadu klíčů.

První *input_layer_name* obsahuje název stažené WFS vrstvy, *controlling_attr_name* název atributu dané vrstvy podle kterého se řídí přiřazení bufferu, *default_buffer* který se přiřazuje pokud žádný atribut vrstvy neodpovídá žádnému v tomto souboru a *buffer_levels* obsahující tři úrovně *priority*, *values* a *distance*.

Klíč *priority* obsahuje číselný řetězec pro určení pořadí při výběru hodnot, klíč *values* hodnoty v atributu, které spadají do této úrovně a *distance* obsahuje vzdálenost bufferu v metrech.

Pokud *controlling_attr_name* není poskytnut, potom se všem objektům vrstvy přiřadí velikost buffer z hodnoty *default_buffer*.

Další seznam obsahuje názvy vrstev, pro které je žádoucí zpřesnit hodnotu kódu pod klíčem *name*. Dále pak základní hodnotu kódu využití území *base_use_code*. Ten je zde znovu přiřazen pro případ, že není přiřazen ze souboru *zabaged_to_LandUseCode_table.yaml*. Opět se tu nachází název *controlling_attribute*, který musí vrstva na vstupu obsahovat a dle jeho hodnot se přičte celočíselná hodnota ze seznamu *value_increments*, kde se nachází pod klíčem totožným s hodnotou atributu vrstvy.

Kód 5.12: Ukázka `ZABAGED.yaml`

```

1 URL: "https://ags.cuzk.cz/arcgis/services/ZABAGED_POLOHOPIS/
   MapServer/WFSServer"
2
3 buffer_layers:
4   - input_layer_name: "ZABAGED_POLOHOPIS:Silnice__dálnice"
5     controlling_atr_name: "typsil_k"
6     buffer_levels:
7       - priority: "1"
8         values: ["D1", "D2", "M", "D1p", "Mp", "Mv"]
9         distance: 20
10      - priority: "2"
11        values: ["S1", "S1v", "S1p"]
12        distance: 12.5
13      - priority: "3"
14        values: ["S2", "S3", "D2p", "S2p", "S2v", "S3p", "S3v"]
15        distance: 10
16      default_buffer: 7.5
17
18   - input_layer_name: "ZABAGED_POLOHOPIS:Silnice_neevidovaná"
19     controlling_atr_name: "NaN"
20     default_buffer: 7.5
21
22 layers:
23   - name: "ZABAGED_POLOHOPIS:Lesní_půda_se_stromy_kategorizovaná
   _plocha_"
24     base_use_code: 30000
25     controlling_attribute: "druh_k"
26     value_increments:
27       N: 0
28       J: 3200 # jehlicnaty
29       L: 3100 # listnaty
30       S: 3300 # smíseny

```

5.7.4 LPIS.yaml

LPIS.yaml obsahuje informace o vrstvě stahované z LPIS WFS služby. Pod klíčem *URL* se obdobně jako u souboru *ZABAGED.yaml* nachází adresa k LPIS WFS. Z té je stahována pouze jedna vrstva a její název je uložen pod klíčem *layer_name*.

Aby bylo možné použít totožný proces editace kódu využití území jako u ZABAGED vrstev, je dále v listu *layers* uložen název vrstvy v klíči *name*. Ten je definován jako *LPIS_layer*, který je stahované vrstvě dříve přiřazen, aby byla spojena s ostatními vrstvami ve správném pořadí dle souboru popsáném v části 5.7.2.

Ze stejného důvodu je také přiřazena základní hodnota kódu využití území pod klíčem *base_use_code*, název řídicího atributu *controlling_attribute*, který je očekáván ve stahované vrstvě a dále seznam *value_increments* s hodnotovými páry, kde klíčem je hodnota atributu vrstvy. Dle klíče je přiřazen přírůstek k základní hodnotě *base_use_code*.

Kód 5.13: Ukázka LPIS.yaml

```

1 URL: "https://mze.gov.cz/public/app/wms/plpis_wfs.fcgi"
2 layer_name: "LPIS_DPB_UCINNE"
3
4 layers:
5   - name: "LPIS_layer"
6     base_use_code: 10000
7     controlling_attribute: "kultura"
8     value_increments:
9       "standartní_orná_půda": 0
10      "chmelnice": 3100
11      "vinice": 3200

```

5.7.5 Soil.yaml

Tento soubor obsahuje pouze dvě hodnotové páry, a to *URL* s adresou WPS služby poskytující data HSP a *process_identifier* který obsahuje řetězec , který obsahuje název požadované vrstvy stahované z této služby.

5.7.6 Soil_template.xml

Tento soubor obsahuje šablonu XML souboru pro komunikaci s WPS službou stahující vrstvu hydrologických skupin půd. Do této šablony jsou před odesláním WPS službě doplněny hodnoty souřadnic definičního polygonu, souřadnice jeho ohrazujícího obdélníku a jeho atributy.

5.7.7 CN_table.csv

Tato CSV tabulka je využita pro přiřazení hodnoty CN pro kombinaci hodnot kódu využití území a typu hydrologických skupin půd. Pro každou hodnotu kódu využití území je dedikován jeden řádek. V každém řádku existuje pět sloupců. V prvním sloupci je definován kód využití území a v dalších čtyřech číselné hodnoty CN pro typy hydrologických skupin půd A,B,C a D. V některých řádcích se u hodnot CN vyskytují desetinná čísla, což značí jejich větší přesnost.

Tabulku není nutné využít pro přiřazení hodnot CN a uživatel má možnost si vybrat jinou stejně strukturovanou tabulku.

Kód 5.14: Ukázka CN_table.csv

```

1 LANDUSE_CODE , CN_A , CN_B , CN_C , CN_D
2 10000 , 65 , 75 , 82 , 86
3 20000 , 52 , 62 , 75 , 81
4 33100 , 40.5 , 59.5 , 69.5 , 76

```

5.8 Kontroly

5.9 Testování

5.10 Tvorba dokumentace

Literatura

- [1] PONCE, V. M. and HAWKINS R. H. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering* 1(1):11-19. Dostupné z: <https://ponce.sdsu.edu/runoff11view.html>
- [2] HOLMAN, I.P.; HOLLIS, J.M.; BAMLEY, M.E. a THOMPSON, T.R.E. The contribution of soil structural degradation to catchment flooding: a preliminary investigation of the 2000 floods in England and Wales. *Hydrology and earth system sciences*. 2003, roč. 7, č. 5, s. 754-765.
- [3] LIAN, Huishu; YEN, Haw; HUANG, Jr-Chuan; FENG, Qingyu; QIN, Lihuan et al. CN-China: Revised runoff curve number by using rainfall-runoff events data in China. *Water Research*. 2020, roč. 2020, č. 177, s. 115767. ISSN 0043-1354. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420303043>.
- [4] JANEČEK, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. *Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9*.
- [5] KAVKA, Petr a KAŠPAR, Marek. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině: Certifikovaná metodika. *Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2023. ISBN 978-80-01-07115-1*
- [6] JANEČEK, M. a P. KOVÁŘ. Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek – CN“ k určování přímého odtoku z malého povodí. *Vodní hospodářství*. 2010, č. 7, s. 187-189.
- [7] Urban hydrology for small watersheds: Technical Release 55 (TR-55) (Second ed.). *Natural Resources Conservation Service. Conservation Engineering Division, 1986*.
- [8] KULASOVÁ, B.; ŠERCL, P. a BOHÁČ, M. *Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní: závěrečná zpráva projektu QD1368*. ČHMÚ Praha, 2004.
- [9] Dile, Yihun Taddele, Louise Karlberg, Raghavan Srinivasan, and Johan Rockström. Investigation of the Curve Number Method for Surface Runoff Estimation in Tropical Regions. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 2016, pages 1–15. DOI: 10.1111/1752-1688.12446.

- [10] BATVARI, B. Prabhu Dass a NAGAMANI, K. GIS-Based Surface Runoff Modeling Using Empirical Technique For A River Basin In South India. Online. *Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal*. 2021, vol. 20, no. 5, s. 2117-2123. ISSN 2395-3454. Dostupné z: <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i05.029>. [cit. 2025-04-17].
- [11] ČSN P ISO/TS 19104, *Geografická informace - Terminologie*. 2010.
- [12] MATEJOVÁ, Vlasta. *Quantum GIS*. Diplomová práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta, 2019.
- [13] BAGHDADI, Nicolas; MALLET, Clément a ZRIBI, Mehrez. *QGIS and Generic Tools*. Volume 1. John Wiley & Sons, 2018. ISBN 9781119457091.
- [14] QGIS DEVELOPMENT TEAM. *QGIS geographic information system*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.qgis.org>. [cit. 2025-01-26].
- [15] Siddiqui, Abdul Raheem. *Curve Number Generator: A QGIS Plugin to Generate Curve Number Layer from Land Use and Soil*. 2020. [cit. 2025-04-17]. Available at: https://github.com/ar-siddiqui/curve_number_generator.
- [16] *Katalog objektů ZABAGED®*. Verze 4.4. Zeměměřický úřad, 2024.
- [17] DEVÁTÝ, Jan. *Klasifikace území pro erozní modely pomocí GIS a veřejně dostupných datových zdrojů*. Disertační práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, 2018.
- [18] KOCUR-BERA, Katarzyna. Data compatibility between the Land and Building Cadaster (LBC) and the Land Parcel Identification System (LPIS) in the context of area-based payments: A case study in the Polish Region of Warmia and Mazury. *Land Use Policy*. 2019, roč. 2019, č. 80, s. 370-379. ISSN 0264-8377.
- [19] *Nařízení vlády č. 307/2014 Sb. o stanovení podrobností evidence využití půdy podle užívatelských vztahů*. 2014. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-307>.
- [20] STROUHAL, Luděk a KAVKA, Petr. Hydrologické skupiny půd — rozevřené nůžky hydrologických výpočtů (2. část). *Vodní hospodářství*. 2022, roč. 72, č. 9, s. 7-12.
- [21] VRETANOS, Panagiotis (Peter) A. *OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard — With Corrigendum*. 2.0.2. Open Geospatial Consortium, 2014.
- [22] ZHANG, Chuanrong a LI, Weidong. The Roles of Web Feature and Web Map Services in Real-time Geospatial Data Sharing for Time-critical Applications. Online. *Cartography and Geographic Information Science*. 2005, roč. 32, č. 4, s. 269-283. ISSN 1523-0406. Dostupné z: <https://doi.org/10.1559/152304005775194728>. [cit. 2025-02-25].

- [23] SCHALL, Gerhard, MENDEZ, Erick, KRUIJFF, Ernst, VEAS, Eduardo, JUNGHANS, Sebastian, REITINGER, Bernhard a SCHMALSTIEG, Dieter. Hand-held Augmented Reality for underground infrastructure visualization. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2009, roč. 13, s. 281-291. DOI: 10.1007/s00779-008-0204-5.
- [24] STOLLBERG, Beate a ZIPF, Alexander. OGC Web Processing Service Interface for Web Service Orchestration Aggregating Geo-processing Services in a Bomb Threat Scenario. In: J. WARE, Mark, E. TAYLOR, George (ed.). *Web and Wireless Geographical Information Systems*. Anglie, Cardiff: Springer, 2007, s. 239-251. ISBN 978-3-540-76923-1.
- [25] *OGC® WPS 2.0.2 Interface Standard Corrigendum 2*. 2.0.2. Open Geospatial Consortium, 2015.
- [26] BEN-KIKI, Oren; EVANS, Clark a DÖT NET, Ingy. *YAML Ain't Markup Language (YAML) Version 1.2*. 3rd Edition, Patched at 2009-10-01.
- [27] SUMMERFIELD, Mark. *Rapid GUI Programming with Python and Qt: The Definitive Guide to PyQt Programming*. Pearson Education, 2007. ISBN 978-0132703062.
- [28] OKKEN, Brian. *Python Testing with pytest: Simple, Rapid, Effective, and Scalable*. Pragmatic Bookshelf, 2017. ISBN 9781680502404.
- [29] GUTHALS, Sarah. *GitHub® For Dummies®*. 2nd Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2023. ISBN 978-1-394-15917-8.