

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra geomatiky

# **Bakalářská práce**

## **Využitelnost dostupných dat pro prognózu intenzity dopravy generované územím**

Plzeň, 2022

Pavel Blahník

## **Prohlášení**

Tímto předkládám k posouzení a obhajobě bakalářskou práci vypracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího bakalářské práce a s výhradním využitím uvedených zdrojů.

V Plzni dne 25. května 2022

.....

podpis

## **Poděkování**

Mé poděkování patří vedoucímu práce Ing. Danielu Beranovi za jeho ochotu, trpělivost, cenné připomínky a hlavně za odborné vedení. Dále bych chtěl poděkovat společnosti EDIP s.r.o. za odborné konzultace a poskytnutí dat a materiálů. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu, které se mi dostávalo z jejich strany během celého studia.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá výpočtem intenzit generované dopravy s použitím volně dostupných dat. Text obsahuje shrnutí současných způsobů prognózy dopravních intenzit a popisuje strukturu vybraného datového zdroje. V další části se práce zabývá propojením metodiky výpočtu s datovým zdrojem a podrobně popisuje výpočet dopravních intenzit. Cílem práce bylo navrhnout a ověřit automatizovaný proces pro výpočet generovaných dopravních intenzit z otevřených dat pro libovolné zájmové území. V rámci ověření kvality výsledků tohoto procesu bylo využito dopravních modelů pro zájmové území Plzeň-město a Klatovy.

## **Klíčová slova**

GIS, dopravní modelování, prognóza dopravy, OpenStreetMap, otevřená data

## **Abstract**

This thesis deals with the calculation of traffic intensities using freely available data. The text contains a summary of current methods of traffic intensity prognosing and describes the structure of the selected data source. In the next part, the work deals with the connection of the calculation methodology with the data source and describes in detail the calculation of traffic intensities. The aim of the work was to design and verify an automated process for calculating the generated traffic intensities from open data for any area of interest. As part of the verification of the quality of the results of this process, transport models were used for the area of interest Plzeň-město and Klatovy.

## **Keywords**

GIS, traffic modeling, traffic prognosis, OpenStreetMap, open data

## **Obsah**

<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>5</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>6</b>
<b>Seznam zkratk.....</b>	<b>6</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Výpočet intenzit generované dopravy.....</b>	<b>8</b>
1.1 Dopravní inženýrství.....	8
1.2 Metody prognózy intenzit generované dopravy .....	9
1.3 Data pro výpočet intenzit generované dopravy .....	10
<b>2. Výpočet generované dopravy z otevřených dat .....</b>	<b>14</b>
2.1 Aplikace metodiky na vybraný datový zdroj.....	14
2.2 Implementace výpočtu parametrů.....	25
2.2.1 Postup výpočtu .....	25
2.2.2 Výsledky pro oblast Plzeň-město .....	40
2.2.3 Kalibrace výpočtu.....	41
2.3 Ověření kvality výpočtu a kalibrace .....	43
2.3.1 Porovnání dopravních intenzit pro oblast Plzeň-město .....	45
2.3.2 Porovnání dopravních intenzit pro oblast Klatovy .....	47
2.3.3 Porovnání výsledků z obou zájmových území .....	48
<b>3. Diskuze.....</b>	<b>49</b>
<b>4. Závěr .....</b>	<b>50</b>
<b>Zdroje .....</b>	<b>52</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>54</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Ohraničení zájmového území – webová aplikace.....	26
Obrázek 2: Ohraničení zájmového území – prostředí QGIS.....	27
Obrázek 3: Nastavení nástroje QuickOSM pro stažení vrstvy budov pro město Plzeň .....	28
Obrázek 4: Výsledná vrstva budov uvnitř katastrálního území Plzně.....	29
Obrázek 5: Geodatabáze s polygonovou vrstvou budov pro město Plzeň .....	30
Obrázek 6: Vytvořený Toolbox s Modelem.....	30
Obrázek 7: Model se specifikovanou vrstvou a funkcí Delete Field.....	31
Obrázek 8: Model po přidání funkcí Add Field.....	31
Obrázek 9: Nastavení Calculate Field pro výpočet výměry budov .....	32
Obrázek 10: Nastavení Calculate Field pro převod textu na číslo .....	33
Obrázek 11: Model po přidání funkcí Calculate Field pro převod počtu podlaží a bytů .....	34
Obrázek 12: Nastavení Calculate Field pro rozdělení budov do skupin .....	34
Obrázek 13: Skript pro rozdělení budov do skupin v jazyce Python .....	35
Obrázek 14: Nastavení Calculate Field pro výpočet atributu U .....	36
Obrázek 15: Skript pro výpočet atributu U v jazyce Python.....	37
Obrázek 16: Nastavení Calculate Field pro výpočet atributu I_iad.....	38
Obrázek 17: Skript pro výpočet atributu I_iad v jazyce Python.....	39
Obrázek 18: Analýza dopravních generátorů oblasti Plzeň-město .....	45
Obrázek 19: Analýza dopravních generátorů oblasti Klatovy.....	47

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Propojení datového modelu EDIP a OSM.....	15
Tabulka 2: Jednotky výchozího ukazatele U .....	16
Tabulka 3: Nastavení jednotlivých funkcí Add Field .....	32
Tabulka 4: Úprava koeficientu dopravní obslužnosti MHD.....	41
Tabulka 5: Počet Blíže neurčených budov v zájmových oblastech.....	44
Tabulka 6: Odchytky dopravních generátorů pro Plzeň-město .....	46
Tabulka 7: Odchytky dopravních generátorů pro Klatovy .....	48

## Seznam zkratk

ČR	Česká republika
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DI	Dopravní inženýrství
EU	Evropská unie
GIS	Geografické informační systémy
KU	Katholieke Universiteit
OSM	OpenStreetMap
RÚIAN	Registr územní identifikace, adres a nemovitostí
TU	Technická univerzita
VGI	Volunteered geographic information

# Úvod

Vzhledem k větší dostupnosti osobních automobilů se postupem času stala z automobilové dopravy běžná součást naší společnosti, a díky tomu jsou kladeny stále větší nároky na silniční síť, kdy zejména v zastavěných oblastech, kde je modernizace a úprava silniční sítě omezena zástavbou, narážíme na limity komunikací z hlediska jejich kapacit. V reakci na tyto skutečnosti se stále častěji setkáváme s termíny jako modelování dopravy, dopravní prognózy apod. Společnost se snaží na základě měření dopravy, převážně provedeného ručním sčítáním, analyzovat současný stav dopravy a vytiženost silniční sítě zkoumaného území a provádět prognózy, jak bude dané území z hlediska dopravy vypadat v budoucnu, nebo jak danou silniční síť ovlivní výstavba objektu s vysokými nároky na dopravu, jako jsou obytné budovy, obchodní zařízení nebo průmyslové areály. Abychom mohli počítat tyto prognózy, potřebujeme znát dopravní intenzitu generovanou zkoumaným územím.

Tato práce se věnuje výpočtu generované dopravní intenzity, kdy je cílem mít automatizovaný proces, který by poskytl generované dopravní intenzity pro jednoduchý dopravní model jakéhokoliv města, který by bylo možné dále zpřesňovat. Výpočty v této práci nevychází z předchozích dopravních průzkumů, ale využívají pouze volně dostupná data v podobě polygonů budov a předchozí dopravní průzkumy jsou použity až v závěru práce pro kontrolu a porovnání výsledků.

První kapitola práce popisuje dopravní inženýrství jako obor, věnuje se současným metodám používaným pro dopravní prognózy, popisuje výpočty pro jednotlivé skupiny budov a strukturu datového modelu využitého pro získání dat pro praktickou část práce.

V druhé kapitole je popsáno, jakým způsobem došlo k provázání metodiky s vybranými daty. Dále je podrobně popsáno, jakým způsobem byl vytvořen automatizovaný proces výpočtu, jeho kalibrace a v závěru kapitoly jsou popsány výsledky výpočtu a následné porovnání s daty odvozenými z předchozích dopravních měření.

# 1. Výpočet intenzit generované dopravy

## 1.1 Dopravní inženýrství

*Dopravní inženýrství (DI) je vědní obor, který se zabývá studiem, průzkumem, rozbořem a prognózou jevů a zákonitostí v dopravě z hlediska komunikace [1]. Obor se nezabývá jen silniční dopravou, ale věnuje se i ostatním druhům dopravy jako letecké, železniční nebo námořní. Nicméně část DI, věnující se dopravě silniční, je považována za nejvíce komplikovanou a nejméně předvídatelnou. U letecké a železniční dopravy existují záznamy rozpisů cest nebo letů, které popisují počáteční a cílové destinace a leckdy i samotné trasy, což DI dává určitou možnost předvídatelnosti. U silniční dopravy se s takovými záznamy setkáváme jen velmi zřídka, příkladem může být kamionová doprava.*

Jedním z cílů DI je vytvářet podklady pro silniční plánování a projektování, tím je myšleno například rozdělení výstavby na etapy a určení jejich pořadí. Dalším cílem je uplatňování okamžitých dopravních řešení, tím jsou myšleny regulační a organizační opatření, která mají za cíl optimální využití současných dopravních zařízení vzhledem k rostoucím nárokům na dopravu. Posledním cílem DI je hledání výhledových dopravních řešení, kdy DI podává návrhy k úpravám, přestavbám a výstavbám jednotlivých komunikací ale i celých silničních sítí [1] a [2]. Aby mohlo DI těchto cílů dosáhnout, pokládá si 4 okruhy otázek týkajících se:

- a) Uživatelů komunikace – Kdo se po dané komunikaci pohybuje nebo bude pohybovat.
- b) Dopravních charakteristik – Rychlost, rozměry, dopravní proud, kapacita, parkování, chování na křižovatce, atd.
- c) Dopravních průzkumů – Kde a kolik je dopravy v současnosti, složení dopravního proudu, změny v prostoru a čase.
- d) Dopravních prognóz – Kdy a jakých hodnot v budoucnu doprava dosáhne.

Tato práce se věnuje využitelnosti volně dostupných dat pro zodpovězení otázek, kde a kolik je v současnosti generováno dopravy. Pro popis následující kapitoly teoretické části práce je potřeba nejprve popsat základní názvosloví.

- Běžný pracovní den – úterý, středa nebo čtvrtek, pokud jsou pracovními dny a pokud jim předchází i po nich následuje pracovní den [3].



- Dopravní model – nástroj pro hodnocení dopadů plánovaných změn ve městech nebo regionech, kdy se hodnocení dopadů změn může týkat plynulosti dopravy, vlivům na životní prostředí apod.
- Generovaná doprava – *doprava vyvolaná existencí zástavby na daném území* [3].
- Generátor dopravy – element reprezentující příbytek dopravy v dopravní síti.
- Intenzita dopravy – *počet silničních vozidel nebo chodců (cyklistů), který projede nebo projde určitým příčným řezem pozemní komunikace nebo jeho částí za zvolené časové období* [3].
- Intenzita generované dopravy – *počet cest, který má jako zdroj (anebo cíl) dané vymezené území (za jednotku času)* [3].
- Intenzita motorové dopravy – *počet motorových vozidel, který projede určitým příčným řezem pozemní komunikace nebo jeho částí za zvolené časové období* [3].
- Intenzita dopravy špičkové hodiny – *nejvyšší hodinová intenzita dopravy v běžný pracovní den* [3].
- Variace intenzit dopravy – *průběh intenzity dopravy v čase* [3].

## 1.2 Metody prognózy intenzit generované dopravy

Dopravní intenzity je možné odhadovat i jinak, než ze sčítání dopravy a krátkodobých nebo dlouhodobých průzkumů, u kterého je třeba časově náročného měření nebo jeho vyhodnocování. Generovanou dopravu je možné získat výpočtem z geoprostorových dat. Tato generovaná doprava je reprezentována generátorem dopravy, kdy generátor může reprezentovat jednotlivé budovy, bloky budov, městské čtvrti nebo celá města a určuje tak výslednou podrobnost dopravního modelu, kde budou výsledky použity.

Vybranou metodikou v této práci byla publikace *Metody prognózy intenzit generované dopravy* (dále jen EDIP metodika), hlavním důvodem je certifikace Ministerstvem dopravy ČR. *Metodika se zaměřuje na ta území vymezená danou funkcí a typem zástavby, které dlouhodobě představují největší zdroje dopravní zátěže a generují tak velké množství dopravy, (...)* [3]. Dlouhodobostí je v tomto případě myšleno monofunkční využití daného území, to znamená, že je dané území využíváno dlouhodobě ke stejnému účelu. EDIP metodika se nevěnuje územím s nárazovým nebo jinak nepravidelným využíváním, jedná se pak zejména o dětské tábory, kempy nebo zahrádkářské osady.

## Postup výpočtu EDIP metodiky

Metodika celý výpočet rozděluje na pět kroků:

- 1) *Volba území vymezeného danou funkcí a typem zástavby* [3] – Zájmové území je v tomto kroku, na základě územně plánovacích podkladů, přiřazeno jedné z 12 skupin vymezených danou funkcí a typem zástavby, a následně je přiřazeno typu v rámci zvolené skupiny. Přiřazení skupiny probíhá na základě členění území v územním plánu. *Tím metodika plně reflektuje obsahový standard územních plánů resp. regulačních plánů daný platnou legislativou* [3]. Vybrání typu v rámci vybrané skupiny probíhá na základě zhodnocení: prostorového uspořádání zástavby, plošného rozsahu zástavby, osídlení, typu uživatelů zástavby (obyvatelé, zaměstnanci,...) a dalších specifických vlastnostech.
- 2) *Výpočet hodnoty výchozího ukazatele území U* [3] – Tato hodnota charakterizuje území z hlediska zdroje a cíle cest. Hodnoty výchozího ukazatele **U** se liší v závislosti na zvolené kategorii v předchozím kroku.
- 3) *Denní intenzita generované dopravy* [3] – Výpočet celkové intenzity generované dopravy z výchozího ukazatele **U**.
- 4) *Rozdělení celkové intenzity generované dopravy na její jednotlivé druhy* [3] – Rozdělení dopravy na automobilovou, MHD, cyklistickou a pěší.
- 5) *Variace intenzit dopravy* [3] – Výpočet hodinových intenzit dopravy.

### 1.3 Data pro výpočet intenzit generované dopravy

Z předchozí kapitoly víme, že pro vypracování prognózy generované dopravy jsou potřeba geoprostorová data. Práce s těmito daty probíhá v prostředí geografických informačních systémů (GIS).

Pro oblast ČR je tak možné využít data ČÚZK, ČSÚ, Cenia, RÚIAN a další. Výhodou těchto dat je vysoká kvalita a konzistence po celém území ČR, avšak ne všechna data jsou přístupná bez poplatku. Další nevýhodou je omezenost pouze na ČR, proto se nabízí možnost využití dat z INSPIRE Geoportal, kde potřebná data nalezneme pro všechny státy EU na jednom místě. Problém ale nastává u nekonzistence datové struktury, kdy stále většina států EU používá svou strukturu dat a to znemožňuje použití výpočtů na

libovolném území bez zásahů do výpočtu. Dalším limitujícím faktorem je obsah dat, který je také nekonzistentní a informace poskytované jedním státem už nemusí být obsahem dat státu jiného [4].

Existuje ale datová sada celého světa, která je volně editovatelná a je vydána pod otevřenou licenci, její název je OpenStreetMap. Jde o datovou sadu s obsahem tzv. Voluntered geographic information (VGI), jde o rozšiřující obsah map, který byl vytvořen samotnými uživateli. Síla těchto rozšiřujících dat spočívá v poskytnutí podrobnějších informací o daném území, kdy tyto informace představují kritickou část vstupních dat při odhadování a výpočtech generované dopravy a to z toho důvodu, že je díky těmto informacím možné přesněji určit místa s vyšší mírou návštěvnosti a pohybem obyvatel, což má vliv na výsledné hodnoty dopravních intenzit. Může se nabízet otázka, jak přesné a obecně validní tyto informace jsou. Není možné garantovat jakoukoli přesnost, ale *v zájmu každého uživatele je mít přesná data. Pokud jedna osoba vloží nepřesná data, ať už omylem nebo záměrně, zbylých 99,9% uživatelů je může zkontrolovat, opravit, nebo vymazat* [6]. Tato datová sada obsahuje velké množství různorodých dat, která jsou k dispozici na jednom místě. Data obsažená v OSM by bylo možné dohledat i ručně, ale pravděpodobně by neexistovaly v jedné datové vrstvě a nebylo by možné je stáhnout z jedné adresy [5] a [6]. V řadě států se podílí na tvorbě této mapy přímo státní instituce, jen v ČR do OSM přispívají organizace jako ČÚZK, RÚIAN, ŘSD a další [7]. Nicméně i OSM má své negativní vlastnosti, jednou z nich je občasná nekonzistentnost dat, databáze OSM je tvořena lidmi, takže není možné se vyhnout občasným omylům v datech [7].

Hlavními důvody, proč byl jako datový zdroj vybrán právě OSM, jsou jednotná struktura dat, která je stejná pro celý svět, snadné filtrování a stahování dat, kdy je možné najít a stáhnout hledaná data v řádu jednotek minut. Tyto aspekty zároveň otevřely možnost aplikovat výpočet na libovolnou oblast na světě. O tom, že je OSM v posledních letech stále častěji považován za cenný zdroj dat, lze usoudit z faktu, že je OSM používán jako zdroj dat i v jiných vědeckých pracích, zaměřujících se na modelování dopravy. Příkladem může být disertační práce, zabývající se novými metodami pro určování dopravních intenzit při použití volně dostupných dat, kterou vytvořil Hayden Griffiths z KU Leuven v Belgii [8]. Dalším příkladem využití OSM v dopravním modelování pochází z TU v Berlíně, kdy autor Michael Zilske využil silniční síť OSM pro dopravní simulace [9].

## Struktura datového modelu OSM

Struktura datového modelu je tvořena třemi prvky, které je možné použít k popisu reálného světa. Tyto prvky slouží k popisu dat v prostoru a obsahují informace o své zeměpisné délce a šířce, které jednoznačně definují jejich polohu na Zemi. Navíc každý z prvků je možné blíže specifikovat pomocí značek, které mohou blíže popsat vlastnosti prvku (budova, komunikace, zastávka MHD), případně mohou daný prvek konkrétně specifikovat (divadlo, dálnice D5, zastávka autobusu č. 20).

*Prvky (elements) jsou základní stavební součásti datového modelu OpenStreetMap sloužící k popisu reálného světa. Základní prvky jsou uzel (Node) (popisující bod v prostoru), cesta (Way) (popisující linie a hranice ploch) a relace (Relation) (která popisuje, jak spolu jiné prvky souvisí) [10].*

Základním prvkem je uzel, který označuje konkrétní místo na povrchu Země. Každý uzel má své unikátní identifikační číslo (id) a obsahuje dvojici souřadnic, která určuje jeho zeměpisnou šířku a délku. Uzel se používá k zakreslení samostatného objektu (zastávky MHD, semaforey, lampy,...). Druhým prvkem je cesta, která je definována jako seznam 2 až 2000 uzlů. Cesty se používají pro lineární prvky, jako jsou třeba železnice, silnice nebo řeky. Cesty jsou také používány pro určení hranic plošných objektů, jako jsou vodní plochy, lesy nebo budovy, v tomto případě ale cesta začíná a končí ve stejném uzlu, taková cesta je pak nazývána uzavřená cesta nebo plocha. Třetím prvkem je relace, která popisuje vztahy mezi jednotlivými prvky (uzly a cestami). Příkladem relace je trasa, která sdružuje cesty, které dohromady tvoří nějakou označenou silnici (například dálnici D1), linku MHD, nebo trasu lyžařské sjezdovky. Dalším příkladem relace může být přikázaný směr jízdy, který sděluje, že je v daném místě možné odbočit jen do určité ulice. Speciální relací je multipolygon, který umožňuje kreslit plochy s dírami, kdy jsou vnější a vnitřní okraje plochy označeny rolemi 'outer' a 'inner'. Posledním prvkem je Značka, která jde přidat ke všem datovým prvkům. Značka blíže popisuje vlastnost daného prvku, ke kterému je připojena [10]. *Značka se skládá z dvojice textových polí - 'klíč (key)' a 'hodnota (value)'. Každé z nich může obsahovat libovolný text v kódování Unicode o délce až 255 znaků. Například značka highway=residential má klíč 'highway', hodnotu 'residential' a označuje silnici v zastavěné oblasti. Prvek nemůže mít dvě značky se stejným 'klíčem', 'klíče' musí být unikátní [10].* V OSM jsou uloženy i obecné vlastnosti pro

všechny prvky, jedná se o informace o uživateli, který objekt naposledy změnil, jeho id, časové razítko, které zaznamenává datum poslední změny apod.

## **Vhodná data pro výpočet generované dopravy**

Pro výpočet generované dopravy bylo třeba stáhnout všechna data související s budovami. K výběru těchto dat z celé databáze OSM byla použita značka s klíčem **building**. Budovy mají i jiné značky, které blíže specifikují danou budovu, mezi tyto značky patří například `height`, `building:levels` a další, nicméně jen určité procento budov, které se liší pro každou oblast, má tyto doplňující značky vyplněné. Výběru a stažení dat se značkami se blíže věnuje kapitola 2.2.1.

## **Úprava výpočtu pro data z vybraného datového zdroje**

Vzhledem ke zvolenému zdroji dat v kapitole 1.3 bylo nutné výše zmíněný postup výpočtu pozměnit. Rozdíl je ve struktuře dat, kdy použitá data pro samotný výpočet obsahují jednotlivé budovy. To znamená, že je po úpravě výpočtu možné s každou budovou pracovat jako s monofunkčním územím a je tedy možné každou budovu jednoznačně přiřadit ke konkrétní skupině i typu.

První změnou ve výpočtu je snížení počtu těchto skupin z 12 na 8 a přidání nové skupiny pro Blíže neurčené budovy, výsledný počet skupin se tedy rovná 9. Důvod ke snížení počtu skupin souvisí s obecností budov s atributem 'Civic', tento problém je podrobněji popsán v kapitole 2.1. Další změna přichází ve výpočtu generované dopravy a s tím spojeným rozdělením intenzit generované dopravy na jednotlivé druhy, kdy metodika popisuje přímý výpočet automobilové dopravy, což odstraní celý krok věnující se přerozdělování dopravních intenzit mezi jednotlivé druhy dopravy. Z hlediska variace intenzit dopravy si v našem výpočtu vystačíme pouze s výpočtem intenzity dopravy špičkové hodiny, která je rovna přibližně jedné desetíně denní intenzity dopravy.

## **2. Výpočet generované dopravy z otevřených dat**

Na samotném počátku celého výpočtu bylo nezbytné propojit vybranou metodiku obsahující vzorce pro výpočet jednotlivých skupin se zvoleným datovým zdrojem, kterým je OSM. Popis tohoto propojení je popsán v kapitole 2.1, následující kapitola 2.2 se věnuje již samotné implementaci vzorců pro výpočet generované dopravy.

### **2.1 Aplikace metodiky na vybraný datový zdroj**

EDIP metodika pracuje s konkrétními typy monofunkčních území, po úpravě výpočtu je možné metodiku aplikovat i na jednotlivé budovy. Bylo tedy možné propojit oba datové modely, kdy toto propojení bylo důležité pro další výpočet, který byl odlišný pro každou z 9 níže uvedených skupin. Připojení OSM budovy ke skupině v EDIP metodice proběhlo na základě definic jednotlivých OSM budov v dokumentaci a zvolení vhodné skupiny, která co nejlépe koresponduje s daným popisem OSM budovy. Následující tabulka ukazuje propojení jednotlivých OSM budov se skupinami EDIP metodiky.

Datový model	
EDIP metodika	OSM
<b>Skupina:</b>	<b>Building:</b>
Individuální obytná zástavba	Cabin, Detached, Farm, Static Caravan, House, Bungalow, Houseboat, Semidetached house, Terrace
Hromadná obytná zástavba	Apartments, Residential
Hromadné ubytování	Dormitory, Hotel
Obchodní zařízení	Commercial, Kiosk, Retail, Supermarket, Brewery
Administrativa a veřejná správa	Office, Government, Civic, Hospital, Public
Školství a vzdělávání	Kindergarten, School, University
Průmysl a výroba	Barn, Farm auxillary, Greenhouse, Industrial
Skladové areály	Warehouse
Bližší neurčené	Yes

**Tabulka 1: Propojení datového modelu EDIP a OSM**

Během tohoto kroku se objevilo pár nedostatků v OSM, které zkomplikovaly jednoznačné přiřazení OSM budovy ke skupině EDIP metodiky, jedná se o budovy 'Civic' a 'Hospital'.

U budov označených v OSM jako 'Civic' je problém v obecnosti tohoto atributu, pod daným označením se může vyskytovat kino, knihovna, sportovní hala, bazén, ale i veřejné toalety [11]. Po konzultaci s dopravním inženýrem bylo rozhodnuto, že budovy s tímto označením budou zařazeny do skupiny „Administrativa a veřejná správa“ a to z důvodu, že jejich návštěvnost a generovaná doprava se obecně nejvíce přibližuje této skupině budov.

U budov v datovém modelu OSM označených jako 'Hospital' se setkáváme s problémem, že ne všechny budovy, které jsou ve skutečnosti součástí nemocnic, mají toto označení. Značná část budov v nemocničních areálech nese označení 'Civic' nebo 'Yes', hlavním důvodem proč i takto označené budovy zařadíme do skupiny „Administrativa a veřejná správa“ je to, abychom udrželi konzistenci výpočtu z důvodu vzájemné provázanosti budov s atributem 'Civic' a 'Hospital'.

Poslední komplikací byly „Blíže neurčené“ budovy nesoucí v OSM označení 'Yes', u zmíněného typu budov nejsou známy žádné bližší informace o dané budově, jedinou informací, se kterou se dalo pracovat, byla vypočtená hodnota výměry budovy. Tato skupina budov byla počítána specifickým výpočtem, který je blíže popsán na konci této kapitoly.

Propojením datových modelů vzniklo 9 skupin budov, nad kterými byl proveden výpočet dopravních generátorů. Každá z těchto skupin měla více či méně odlišný postup výpočtu dvou hlavních atributů. Prvním z nich je atribut **U**, který byl brán jako výchozí ukazatel pro danou skupinu budov. Tento atribut nešlo určit pro skupinu „Blíže neurčené“, protože nebylo možné specifikovat jeho jednotky. Následující tabulka zobrazuje jednotlivé skupiny a jednotky výchozího atributu **U**.

Skupina	U
Individuální obytná zástavba	Počet obyvatel
Hromadná obytná zástavba	Počet obyvatel
Hromadné ubytování	Počet lůžek
Obchodní zařízení	Prodejní plocha (m <sup>2</sup> )
Administrativa a veřejná správa	Kancelářská plocha v (m <sup>2</sup> )
Školství a vzdělávání	Počet studentů
Průmysl a výroba	Počet zaměstnanců
Skladové areály	Skladová plocha v (m <sup>2</sup> )
Blíže neurčené	-

**Tabulka 2: Jednotky výchozího ukazatele U**

Výše zmíněný atribut **U** následně vstupoval do druhé části výpočtu jako hlavní proměnná. Výsledkem této části byl atribut **I<sub>IAD</sub>**, což je druhý hlavní atribut, který již vyjadřoval denní intenzitu dopravy, kterou generovala konkrétní budova, a jednalo se tak o výsledek celého výpočtu.

Výše popsané odstavce se věnují teoretickému provázání metodiky výpočtu a datového modelu OSM. Provázání tak ukazuje plný potenciál takového postupu. V praxi ovšem



takového potenciálu nebylo možné dosáhnout z důvodu jen částečného vyplnění hodnot datového modelu OSM, jednalo se o dva atributy, kde jeden udával počet podlaží a druhý počet bytů. Oba tyto atributy jsou velice důležité zejména pro výpočet skupin „Individuální obytná zástavba“, „Hromadná obytná zástavba“ a „Hromadné ubytování“, kde je pro přesný výsledek vyžadován alespoň jeden ze dvou zmíněných atributů. Dalším faktorem snižujícím přesnost bylo chybné vyplnění atributů, kde nejčastější chybou bylo vyplnění počtu bytů do atributu určeného pro počet pater.

Jediným možným řešením je zlepšení kvality vstupních dat. Zlepšení v takovém případě nemusí znamenat průzkum každé budovy, ale pouze větších celků, kde by bylo možné na základě homogenity výšky či výměry budov, odhadnout počet pater nebo počet bytů okolních budov v závislosti na výchozí budově nebo skupině budov v daném celku s vyplněnými atributy pro počet pater a počet bytů.

Následující podkapitoly se věnují popisu výpočtu atributu **U** a **I\_iad** pro jednotlivé skupiny budov. Uvedené hodnoty jednotlivých koeficientů vstupujících do výpočtu byly zvoleny na základě publikace Metody prognózy intenzit generované dopravy od firmy EDIP s.r.o., jedinou výjimku tvoří koeficient  $k_{MHD}$ , který byl v první fázi výpočtu před kalibrací ponechán na neutrální hodnotě 1,0. Kalibraci tohoto atributu se věnuje kapitola 2.2.3.

### **Obytné budovy:**

Do této skupiny můžeme obecně zařadit všechny budovy patřící v OSM do kategorie Accommodation. Nicméně jednotlivé budovy se od sebe odlišují ve způsobu bydlení. Na jedné straně zde máme budovy, které slouží k bydlení převážně jedné rodině, a na straně druhé zde jsou budovy, kde pod jednou střechou mohou žít až desítky rodin v závislosti na typu bytového domu. Dalším faktorem, který od sebe budovy navzájem odlišuje, je míra tendence využívání automobilu, kdy lidé bydlící v rodinných domech mají vyšší tendenci používat automobil oproti lidem žijícím v bytových domech. Z výše uvedeného důvodu je zřejmé, že nebude možné počítat stejně rodinný domek a panelový dům na sídlišti, bude nutné budovy rozdělit do více kategorií, kde budou společně budovy, které si jsou vzájemně podobné z hlediska způsobu obydlí. Zde se ukazuje dobrá kompatibilita EDIP metodiky a OSM, protože EDIP metodika bere v úvahu typ bydlení v daných budovách a rozděluje je velmi vhodně do kategorií a to na již dříve zmíněnou „Individuální obytnou zástavbu“, „Hromadnou obytnou zástavbu“ a „Hromadné ubytování“.

## Individuální obytná zástavba

První ze skupin slouží k bydlení povětšinou jedné rodině případně menší skupině lidí. Do této skupiny se řadí celkem 8 typů budov z OSM a to: 'Bungalow', 'Cabin', 'Detached', 'Farm', 'Houseboat', 'Semidetached house' a 'Static caravan'.

Z hlediska výpočtu atributu **U**, který udává počet obyvatel, se jedná o nejlehčí skupinu, protože u všech těchto typů budov se  $U = 3,0$

Druhý atribut **I<sub>IAD</sub>** vypočteme následujícím způsobem:

$$I_{IAD} = U * k_{IAD} * k_{MHD} / k_{OBS} ,$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na jednoho obyvatele = 2,3

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1,0

**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,3

## Hromadná obytná zástavba

Druhou skupinou spadající do kategorie Obytných budov je hromadná obytná zástavba, nalezneme zde: 'Apartments' a 'Residential', tento typ ze všech obytných budov je nejvíce citlivý na vstupní data a jejich správnost. Esenciální pro přesný výpočet jsou atributy udávající počet podlaží nebo počet bytů.

Výpočet atributu **U**, který udává opět počet osob, je možné vypočítat třemi způsoby:

1. Známe počet podlaží:

$$U_1 = S * L / B_{VYM} * OB ,$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**L** = počet podlaží

**B<sub>VYM</sub>** = průměrná výměra bytu = 85 m<sup>2</sup> [12]

**OB** = průměrný počet osob na byt = 2,48 (zdroj SLDB 2021 [12])

2. Známe počet bytů:

$$U_2 = \mathbf{PB} * \mathbf{OB} ,$$

kde:

**PB** = počet bytů

**OB** = průměrný počet osob na byt = 2,48 (zdroj SLDB 2021 [12])

3. Neznáme počet podlaží ani bytů:

$$U_3 = \mathbf{S} * \mathbf{L} / \mathbf{B}_{\mathbf{VYM}} * \mathbf{OB} ,$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**L** = počet podlaží = 3

**B<sub>VYM</sub>** = průměrná výměra bytu = 85 m<sup>2</sup>

**OB** = průměrný počet osob na byt = 2,48 (zdroj SLDB 2021 [12])

Druhý atribut **I<sub>IAD</sub>** vypočteme následovně:

$$\mathbf{I}_{\mathbf{IAD}} = \mathbf{U} * \mathbf{k}_{\mathbf{IAD}} * \mathbf{k}_{\mathbf{MHD}} / \mathbf{k}_{\mathbf{OBS}} ,$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na jednoho obyvatele = 0,8

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1,0

**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,2

## Hromadné ubytování

Poslední skupinou budov z kategorie obytné budovy jsou budovy sloužící k hromadnému ubytování. Řadíme sem: 'Dormitory' a 'Hotel'. Tyto dva typy budov se potýkají se stejným problémem jako budovy hromadné obytné zástavby, a to s velkou citlivostí na atributy udávající podlažnost budovy a počet pokojů. V případě, že neznáme ani počet podlaží a ani počet pokojů, uvažujeme, že má budova 3 podlaží.

Výpočet atributu  $U$ , jenž udává počet lůžek, je opět možné provést třemi způsoby:

1. Známe počet podlaží:

$$U_1 = S * L / P_{VYM} * OB ,$$

kde:

$S$  = celková výměra budovy

$L$  = počet podlaží

$P_{VYM}$  = průměrná výměra pokoje = 40 m<sup>2</sup>

$OB$  = průměrný počet osob na pokoj = 2,0

2. Známe počet pokojů:

$$U_2 = PP * OB ,$$

kde:

$PP$  = počet pokojů

$OB$  = průměrný počet osob na pokoj = 2,0

3. Neznáme počet podlaží ani pokojů:

$$U_3 = S * L / P_{VYM} * OB ,$$

kde:

$S$  = celková výměra budovy

$L$  = počet podlaží = 3

$P_{VYM}$  = průměrná výměra pokoje = 40 m<sup>2</sup>

$OB$  = průměrný počet osob na pokoj = 2,0

Výpočet  $I_{IAD}$  vypočteme následujícím způsobem:

$$I_{IAD} = U * k_{IAD} * k_{MHD} / k_{OBS} ,$$

kde:

$k_{IAD}$  = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na jednoho obyvatele = 0,8

$k_{MHD}$  = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1,0

$k_{OBS}$  = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,2

## Obchodní zařízení:

Zmíněnou kategorií jsou obecně označeny budovy, které primárně slouží ke komerčnímu využití a prodeji. Do této kategorie spadá 5 druhů OSM budov: 'Commercial', 'Kiosk', 'Retail', 'Supermarket' a 'Brewery'. Pro výpočet atributu **U** je potřebné budovy nějakým způsobem odlišit. Pro toto odlišení nám poslouží výměra objektu. Budovy rozdělíme na 2 kategorie:

1. Malé budovy - Výměra budovy do 1500m<sup>2</sup>. Do této kategorie tedy spadá většina malých prodejen potravin, večerky a prodejny zaměřené na prodej konkrétního sortimentu. Dále se do této kategorie řadí většina restaurací, hospod a jiných stravovacích zařízení.

2. Velké budovy - Výměra nad 1500m<sup>2</sup>. Tato kategorie obsahuje obchodní domy, nákupní centra a halové prodejny.

Samotný výpočet atributu **U**, který udává metry čtvereční prodejní plochy, pak vypadá následovně:

$$U = S * A_{PP},$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**A<sub>PP</sub>** = podíl prodejní plochy z celkové výměry:

1. Malé budovy = 0,65
2. Velké budovy = 0,50

Výpočet **I<sub>IAD</sub>** je následující:

$$I_{IAD} = U/100 * k_{IAD} * k_{MHD} / k_{OBS},$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na 100m<sup>2</sup> prodejní plochy:

1. Malé budovy = 30
2. Velké budovy = 35

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1

**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,4

## Administrativa a veřejná správa:

Do kategorie administrativních budov a budov veřejné správy řadíme tyto objekty: 'Office', 'Civic', 'Government', 'Hospital' a 'Public'. Pro výpočet atributu **U**, který udává metry čtvereční kancelářské plochy, budeme opět vycházet z celkové výměry budovy, díky které rozlišíme budovy na dvě kategorie a to:

1. Budovy s nižší návštěvností - Výměra budovy do 1000m<sup>2</sup>. Do této kategorie spadá většina menších administrativních budov s menším počtem kanceláří, kde je obecně menší návštěvnost.

2. Budovy s vyšší návštěvností - Výměra budovy nad 1000m<sup>2</sup>. Tato kategorie pokryje budovy, kde je obecně vyšší návštěvnost lidí jako například budovy městského úřadu, úřad práce, velké kancelářské budovy a další.

Výpočet atributu **U**, který udává metry čtvereční kancelářské plochy, pak vypadá následovně:

$$U = S * A_{KP},$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**A<sub>KP</sub>** = podíl kancelářské plochy z celkové výměry:

1. Budovy s nižší návštěvností = 0,65

2. Budovy s vyšší návštěvností = 0,45

Výpočet **I<sub>IAD</sub>** je následující:

$$I_{IAD} = U/100 * k_{IAD} * k_{MHD} / k_{OBS},$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na 100m<sup>2</sup> kancelářské plochy:

1. Budovy s nižší návštěvností = 2

2. Budovy s vyšší návštěvností = 5

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1

**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,2

## Školství a vzdělávání:

V dané skupině jsou zahrnuty veškeré budovy související se školstvím a vzděláváním, jedná se o školky, základní, střední i vysoké školy. Pokud budeme mluvit o typech budov z hlediska OSM, jedná se pak o: 'Kindergarten', 'School' a 'University'.

Výpočet atributu **U**, který udává počet studentů, je následující:

$$U = S / \text{HPP}_S,$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**HPP<sub>S</sub>** = hrubá podlažní plocha na jednoho studenta v m<sup>2</sup> = 15

Výpočet **I<sub>IAD</sub>** je následující:

$$I_{IAD} = U * k_{IAD} * k_{MHD} / k_{OBS},$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na jednoho studenta = 0,55

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1

**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,8

## Průmysl a výroba:

Tato kapitola zastřešuje všechny budovy spojené s průmyslovou nebo zemědělskou výrobou. Z hlediska OSM se jedná o následující typy budov: 'Barn', 'Farm auxillary', 'Greenhouse' a 'Industrial'. Budovy opět bylo potřeba rozdělit na základě jejich výměry na 3 kategorie:

1. Budovy do 10000m<sup>2</sup> – Jedná se o menší průmyslové nebo zemědělské budovy, kam můžeme řadit menší podnikatele, lokální malovýroby apod.
2. Budovy od 10000m<sup>2</sup> do 30000m<sup>2</sup> – Do této kategorie můžeme zařadit menší halové závody a menší budovy rozlehlejších průmyslových i zemědělských závodů.
3. Budovy nad 30000m<sup>2</sup> – Poslední kategorie zahrnuje především velké halové výrobní a budovy související s těžkým průmyslem, zejména pak s hutnictvím nebo strojírenstvím.

Atribut **U** udává počet zaměstnanců pro daný objekt a výpočet je následující:

$$U = S / \text{HPP}_{\text{ZAM}},$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**HPP<sub>ZAM</sub>** = hrubá podlažní plocha na jednoho zaměstnance v m<sup>2</sup>:

1. Budovy do 10000m<sup>2</sup> = 30
2. Budovy od 10000m<sup>2</sup> do 30000m<sup>2</sup> = 50
3. Budovy nad 30000m<sup>2</sup> = 85

Výpočet **I<sub>IAD</sub>** je následující:

$$I_{IAD} = U * k_{IAD} * k_{ND} * k_{MHD} / k_{OBS},$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na 100m<sup>2</sup> průmyslové plochy = 1,1

**k<sub>ND</sub>** = koeficient intenzit dopravy (nákl. voz.) na 100m<sup>2</sup> průmyslové plochy:

1. Budovy do 10000m<sup>2</sup> = 1,0
2. Budovy od 10000m<sup>2</sup> do 30000m<sup>2</sup> = 1,2
3. Budovy nad 30000m<sup>2</sup> = 1,35

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1,0

**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,3

## **Skladové areály:**

Poslední kapitolou jsou skladové areály, kam spadá pouze jeden typ OSM budovy a to: 'Warehouse'. Sklady jsou rozděleny do 2 skupin:

1. Sklady s výměrou do 2500m<sup>2</sup> – Jedná se o menší firemní sklady nebo menší logistická centra s menší obrátkou zboží.
2. Sklady s výměrou nad 2500m<sup>2</sup> – Zde spadají veškerá logistická centra, kontejnerová překladiště a budovy s vyšší obrátkou zboží.



Atribut **U** udává metry čtvereční skladové plochy a výpočet se liší na základě výměry budovy:

$$U = S * A_{SP},$$

kde:

**S** = celková výměra budovy

**A<sub>SP</sub>** = podíl čisté skladové plochy:

1. Sklady s výměrou do 2500m<sup>2</sup> = 0,6
2. Sklady s výměrou nad 2500m<sup>2</sup> = 0,8

Výpočet **I<sub>IAD</sub>** je následující:

$$I_{IAD} = U/100 * k_{IAD} * k_{ND} * k_{MHD} / k_{OBS},$$

kde:

**k<sub>IAD</sub>** = koeficient intenzit dopravy (os. voz.) na 100m<sup>2</sup> skladové plochy:

1. Sklady s výměrou do 2500m<sup>2</sup> = 1,7
2. Sklady s výměrou nad 2500m<sup>2</sup> = 2,2

**k<sub>ND</sub>** = koeficient intenzit dopravy (nákl. voz.) na 100m<sup>2</sup> skladové plochy:

1. Sklady s výměrou do 2500m<sup>2</sup> = 1,1
2. Sklady s výměrou nad 2500m<sup>2</sup> = 1,35

**k<sub>MHD</sub>** = koeficient dopravní obslužnosti MHD = 1,0

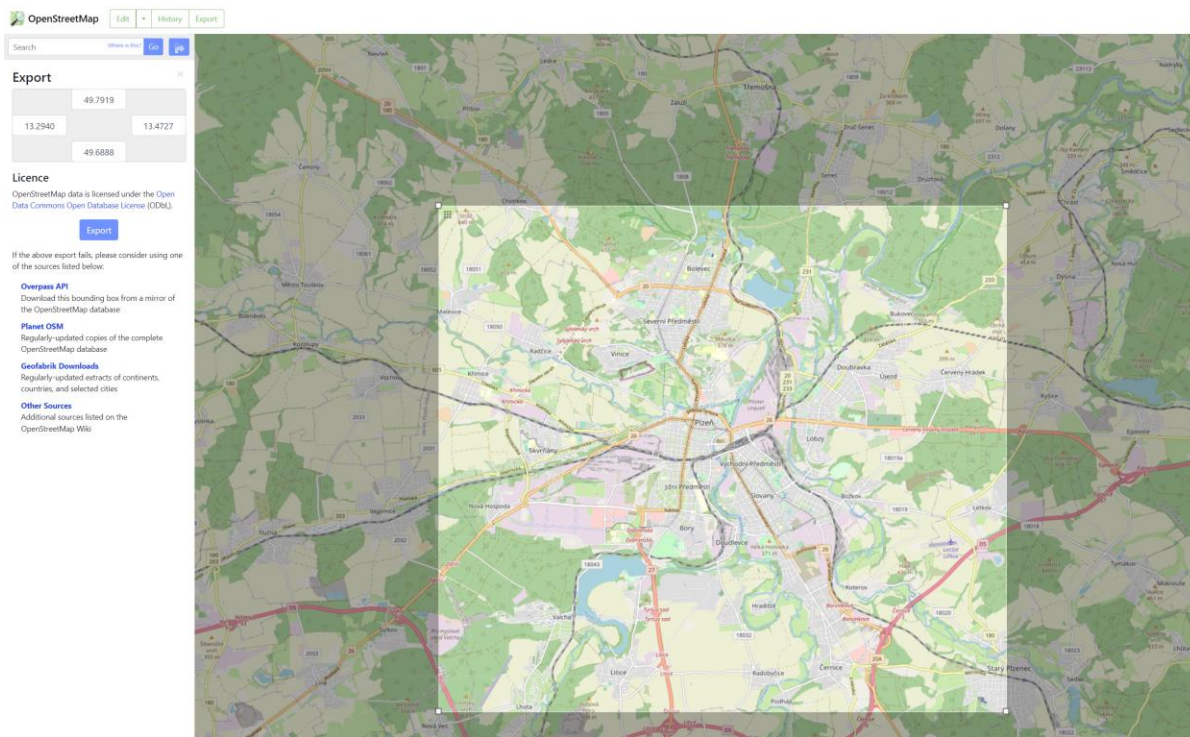
**k<sub>OBS</sub>** = koeficient obsazenosti osobního vozidla = 1,3

## 2.2 Implementace výpočtu parametrů

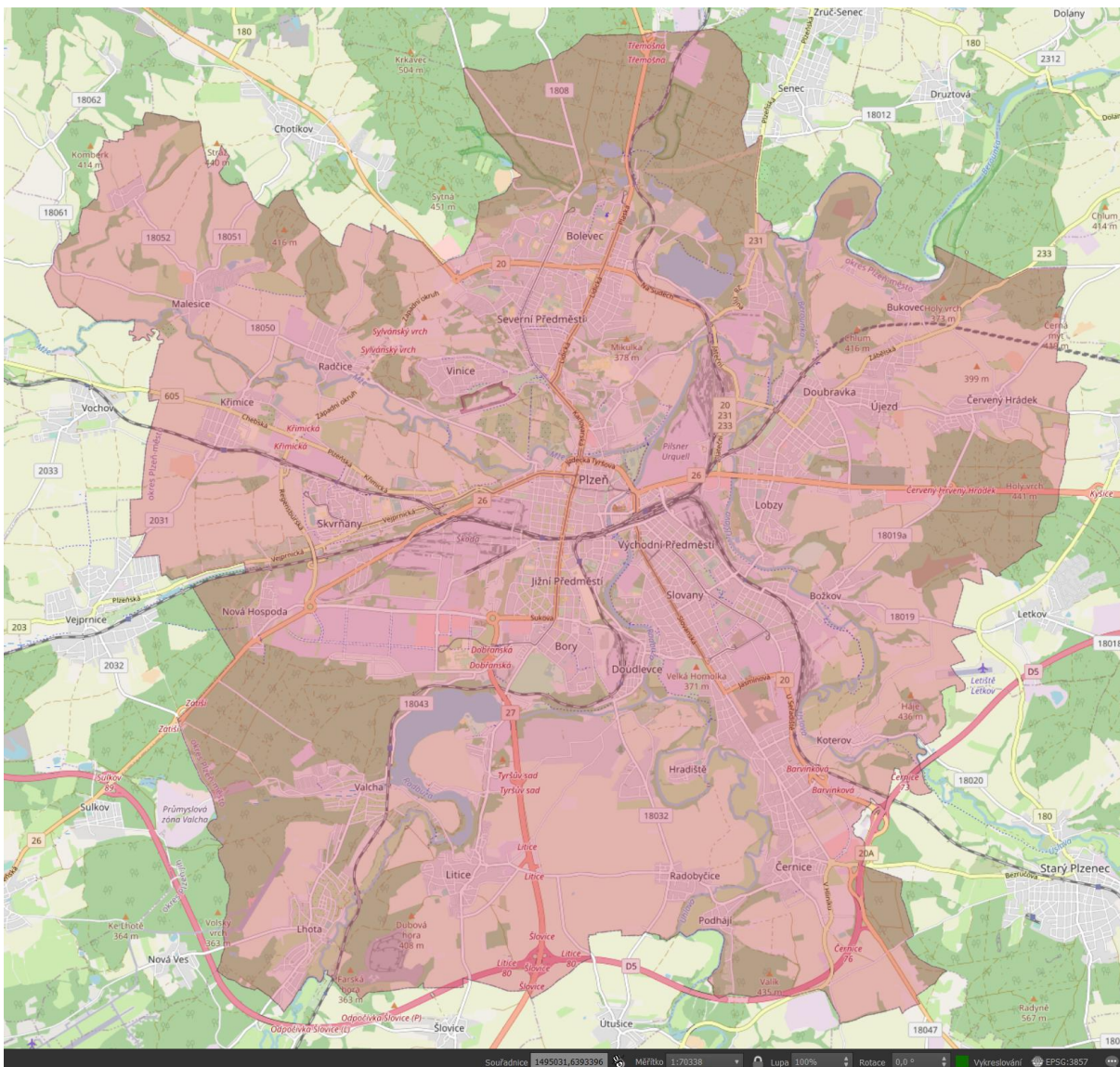
### 2.2.1 Postup výpočtu

Výpočet začínal stažením OSM dat pro vybranou oblast, na kterou byl aplikován náš výpočet, v našem případě se jednalo o město Plzeň. Ke stažení dat byl použit program QGIS s volně dostupným nástrojem QuickOSM. Tento nástroj měl několik výhod oproti webovým aplikacím na stahování OSM dat. První výhodou tohoto nástroje byla možnost stažení většího množství dat, kdy webové aplikace byly omezené na určitý počet objektů. Druhou výhodou oproti webové aplikaci byl způsob ohraničení zájmové oblasti, webové aplikace ve většině případů exportují data v obdélníkovém ohraničení. QuickOSM umožňuje exportovat data s libovolným ohraničením, případně s ohraničením pouze katastrálního území dané obce. Toto ohraničení se nám hodilo, protože se nám nemohlo

stát, že by ve výsledných dopravních generátorech byly započteny budovy ležící v katastrálním území jiné obce. Rozdíl v ohrazení mezi webovou aplikací (OpenStreetMap.org) a nástrojem QuickOSM můžeme vidět na obrázcích 1 a 2.



**Obrázek 1: Ohrazení zájmového území – webová aplikace**

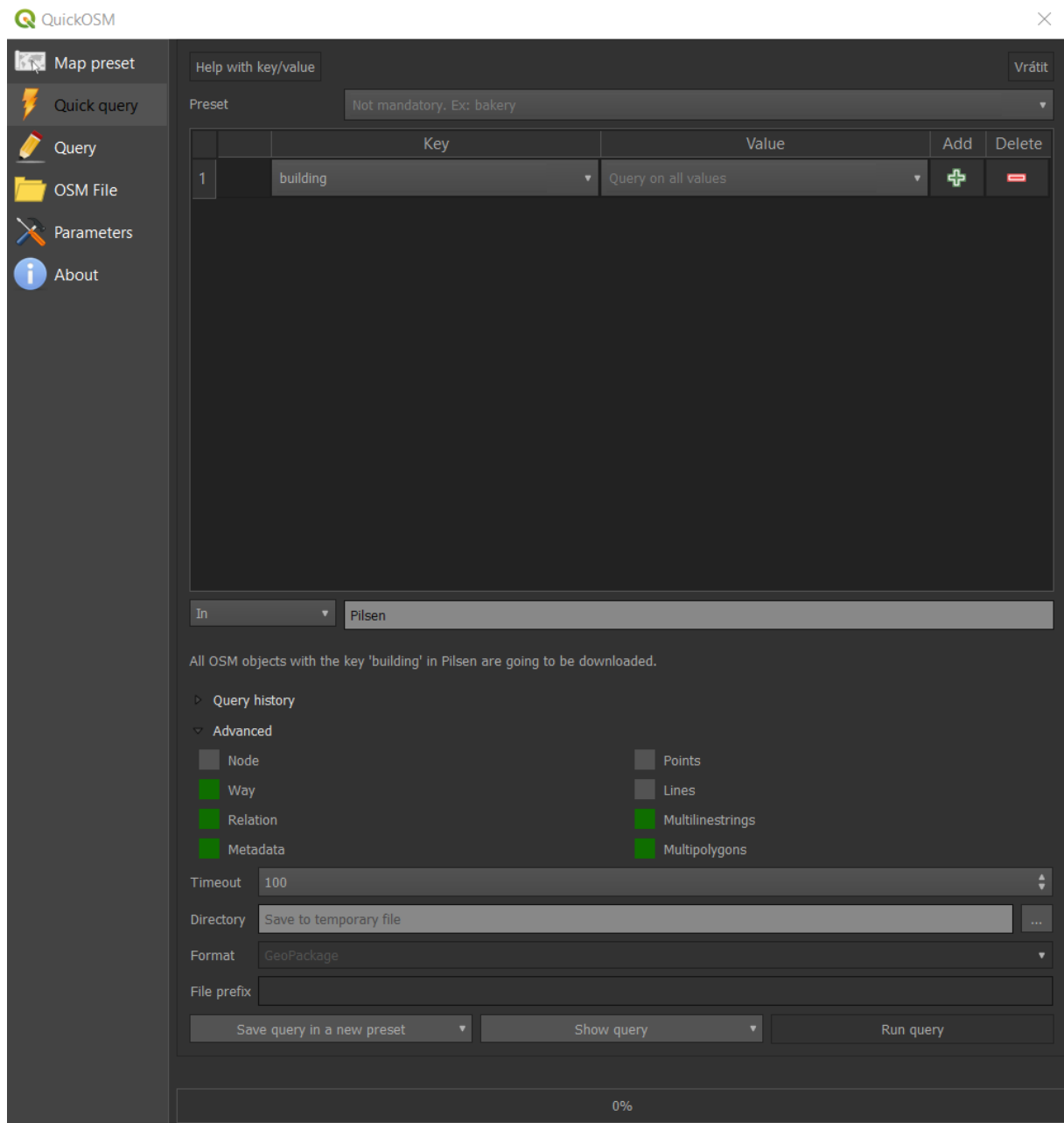


**Obrázek 2: Ohraničení zájmového území – prostředí QGIS**

Výhodou byla možnost exportovat data na základě atributového výběru, v případě této práce byly exportovány pouze budovy. Poslední výhodou byla možnost uložit vyexportovaná data do libovolného formátu (SHP, GML, KML, GeoJSON a další) pro následnou práci, zatímco webové aplikace většinou umožňovaly uložit exportovaná data pouze jako PBF nebo GeoJSON.

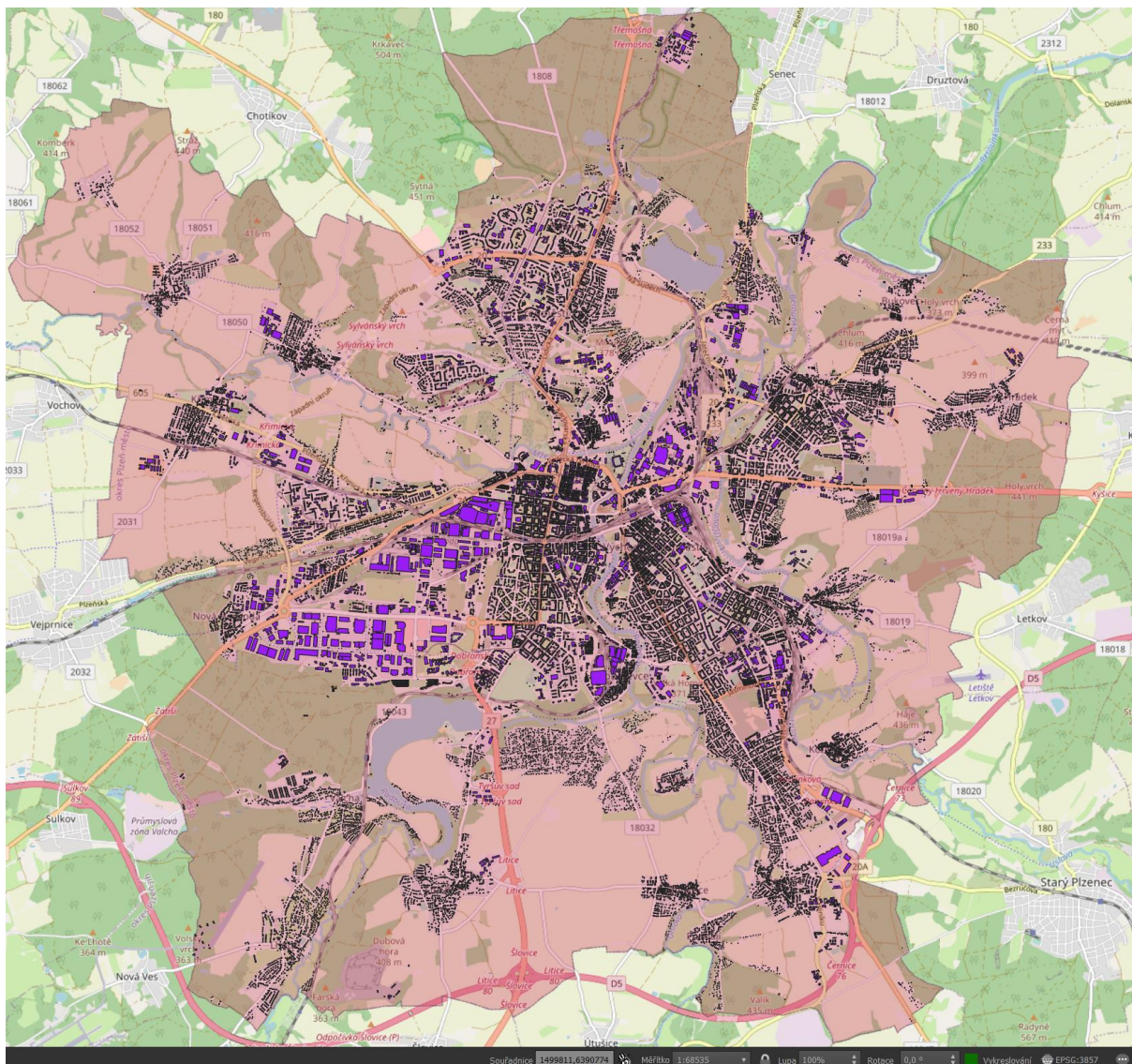
Další krok zpracování dat byl proveden v nástroji QuickOSM, po otevření nástroje byla vybrána možnost **Quick query**, kde v horní části bylo nutné vyplnit **Key:** building, **Value** byla ponechána na možnosti Query on all values. V další části s rolovací nabídkou bylo možné přizpůsobit ohraničení zájmové oblasti, zvolena byla možnost **In** a do řádku byl vyplněn název obce Pilsen. Ohraničit zájmové území bylo možné i jinou vektorovou

vrstvou pomocí možnosti **Layer Extent**, kde by byla z nabídky vybrána vrstva pro ohraničení. V nabídce **Advanced** byly vybrány pouze možnosti Way, Relation, Metadata, Multilinestrings a Multipolygons. Spuštění exportu bylo provedeno stisknutím tlačítka **Run query**.



Obrázek 3: Nastavení nástroje QuickOSM pro stažení vrstvy budov pro město Plzeň

Po stažení zvolených dat se vrstva automaticky přidala do projektu a níže na obrázku 4 je vidět, že všechny budovy ležely uvnitř katastrálního území Plzně.

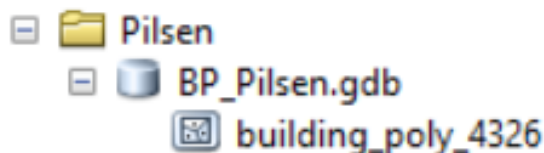


**Obrázek 4: Výsledná vrstva budov uvnitř katastrálního území Plzně**

Posledním krokem byl export vrstvy do ESRI Shapefile, se kterým se následně pracovalo v prostředí ArcGIS. Při exportu byl zvolen souřadnicový systém WGS84, protože se jedná o souřadnicový systém, který lze aplikovat na libovolnou zájmovou oblast. Toto byl poslední krok v programu QGIS, pro zbytek výpočtu byly použity programy z prostředí ArcGIS, zejména pak ArcMap a ArcCatalog.

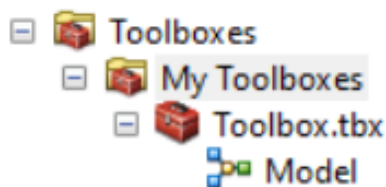
Nejprve bylo třeba vytvořit geodatabázi, k tomu posloužil ArcCatalog, kde byla vytvořena nová geodatabáze pomocí pravého tlačítka **New - File Geodatabase**. Poté byla

importována naše vrstva s budovami pomocí pravého tlačítka **Import – Feature Class (single)**. Jako **Input Features** byl zvolen náš vyexportovaný shapefile. **Output Feature Class** bylo nutné pojmenovat jako: **building\_poly\_4326**. Na obrázku 5 vidíme výsledek výše popsaných kroků.



**Obrázek 5: Geodatabáze s polygonovou vrstvou budov pro město Plzeň**

Cílem bylo mít proces výpočtu dopravních generátorů automatizovaný, proto byl v ArcCatalogu vytvořen ještě Model, do kterého byly vkládány jednotlivé kroky výpočtu. Tento model nám na konci umožnil spouštět všechny kroky výpočtu automaticky. Pro vytvoření Modelu si v záložce **Toolboxes – My Toolboxes**, kde byla pomocí pravého tlačítka vybrána možnost **New – Toolbox**, který byl vhodně pojmenován. Následně byl do Toolboxu přidán model opět pomocí pravého tlačítka myši **New – Model**, pojmenování modelu bylo libovolné. Obrázek 6 ukazuje nově vytvořený Toolbox s Modelem.

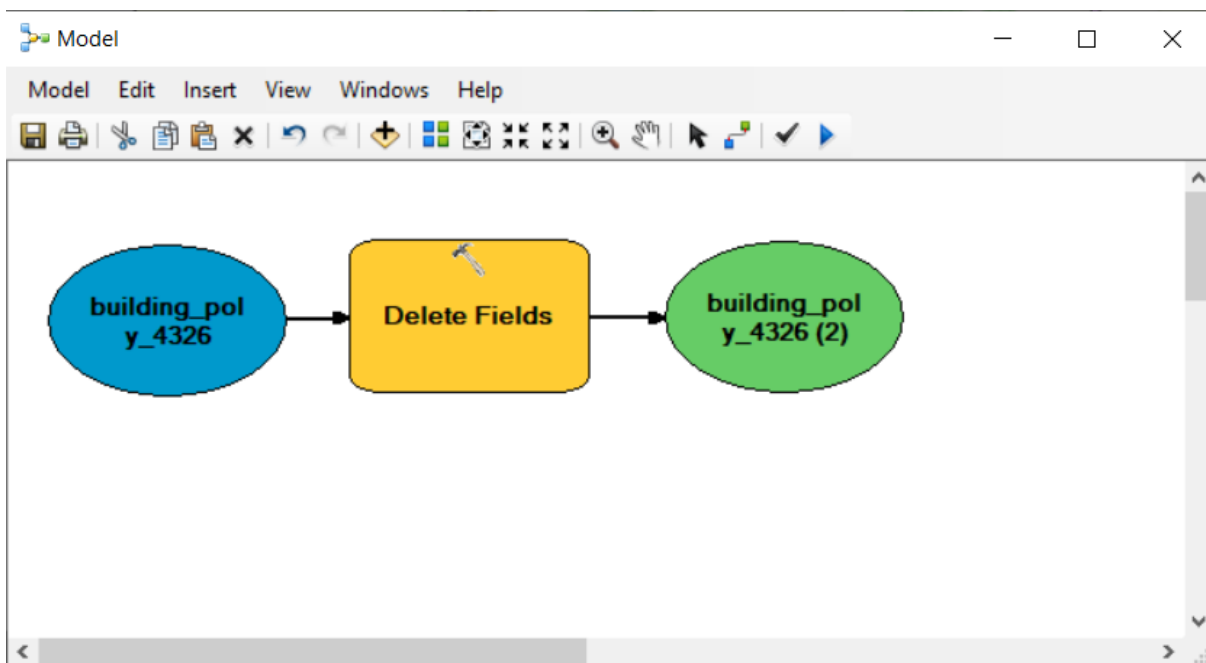


**Obrázek 6: Vytvořený Toolbox s Modelem**

Do programu ArcMap byla přidána vrstva **building\_poly\_4326** a následovalo otevření editačního okna modelu pomocí možnosti **Edit...**, do okna byly postupně přidávány jednotlivé funkce.

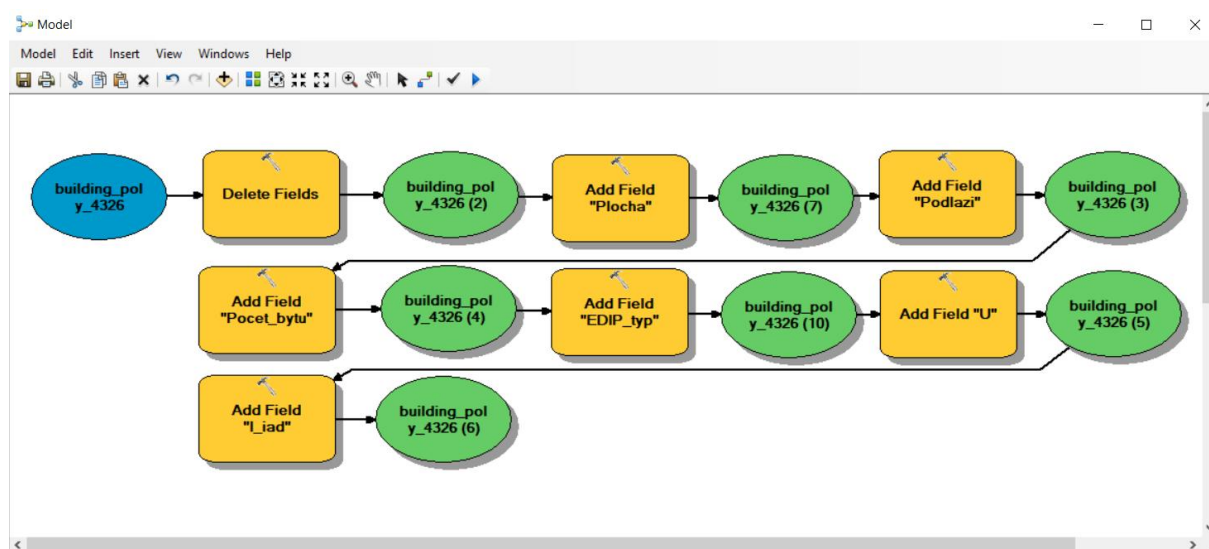
Nejprve se Modelu specifikovalo, nad jakou vrstvou měl provádět budoucí výpočty. Z okna Table Of Contents, nacházejícího se v levé části programu ve výchozím nastavení, byla přesunuta vrstva **building\_poly\_4326** do okna s Modelem. První funkce, která byla přidána do modelu, byla **Delete Field**, po přesunutí funkce byl vybrán z horní nabídky nástroj **Connect**, k propojení **building\_poly\_4326** s funkcí **Delete Field** byla zvolena možnost **Input Table**, po propojení funkce změnila barvu na žlutou. Nastavení funkce bylo

následující, v nabídce Drop Field byla označena všechna pole kromě: *full\_id*, *osm\_id*, *osm\_type*, *building*, *amenity*, *building\_l*, *name*, *building\_r* a *building\_f*. Tímto krokem byly odstraněny všechny nepotřebné atributy a došlo ke zrychlení dalších výpočtů. Obrázek 7 ukazuje současný stav Modelu.



Obrázek 7: Model se specifikovanou vrstvou a funkcí Delete Field

Další krok sestával z přípravy nových atributů, do kterých byly ukládány vypočtené hodnoty, byla proto přidána 6x funkce **Add Field**. Funkce byly propojeny tak, aby výsledný model vypadal jako na obrázku 8 níže.



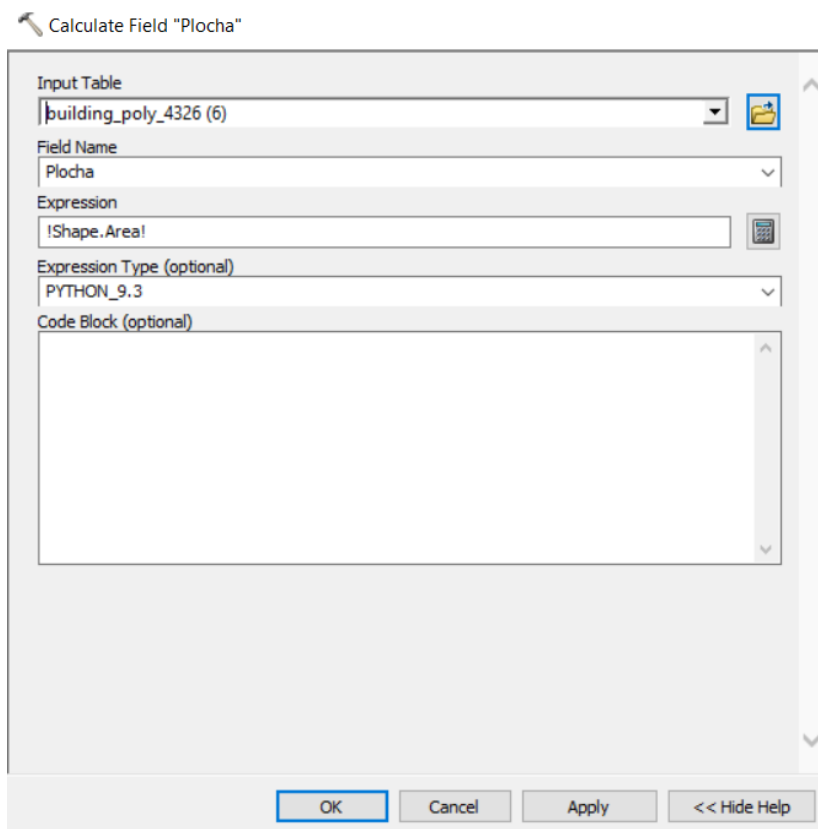
Obrázek 8: Model po přidání funkcí Add Field

V nastavení funkce vyplníme pouze Field Name a Field Type a to následovně:

	Field Name	Field Type
1	Plocha	DOUBLE
2	Podlazi	DOUBLE
3	Pocet_bytu	DOUBLE
4	EDIP_typ	TEXT
5	U	DOUBLE
6	I_iad	DOUBLE

Tabulka 3: Nastavení jednotlivých funkcí Add Field

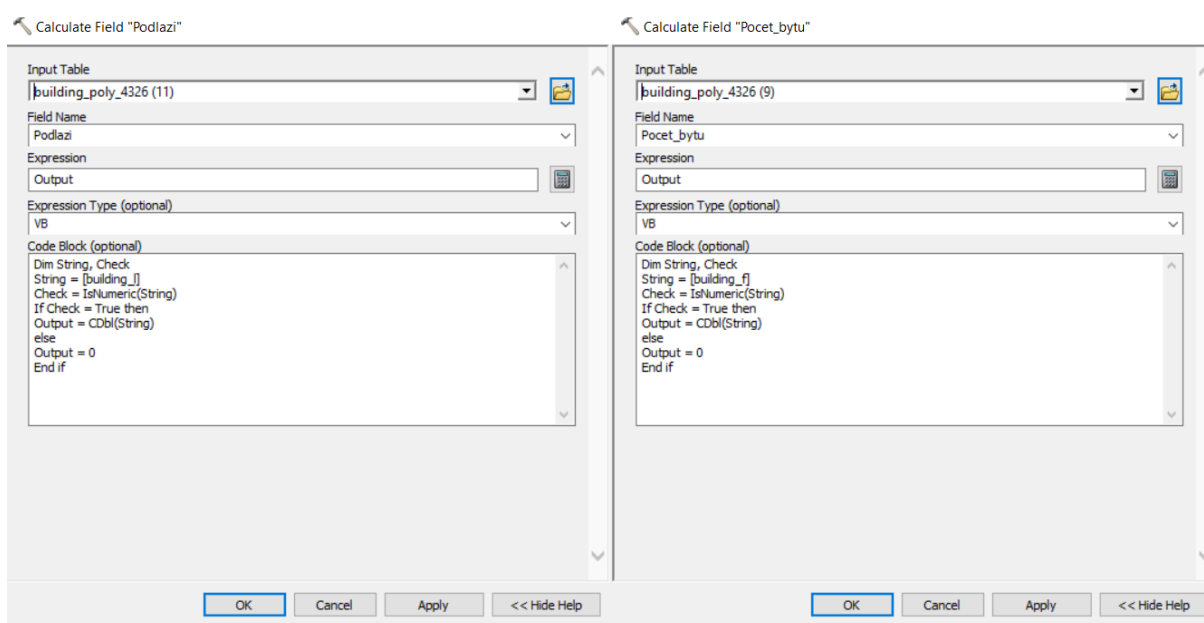
V této fázi náš Model automaticky odstranil nepotřebné atributy a vytvořil nové, do kterých se ukládaly naše výpočty. Prvním výpočtem byl výpočet výměry jednotlivých budov, přidána proto byla funkce **Calculate Field** připojená na konec dosavadního modelu, stejně jako v předchozích krocích. Nastavení funkce je znázorněno na obrázku 9, ponechán byl Input Table, z nabídky Field Name byla zvolena *Plocha*, do řádku Expression vyplněna *!Shape.Area!* a z nabídky Expression Type byla vybrána možnost *PYTHON\_9.3*.



Obrázek 9: Nastavení Calculate Field pro výpočet výměry budov

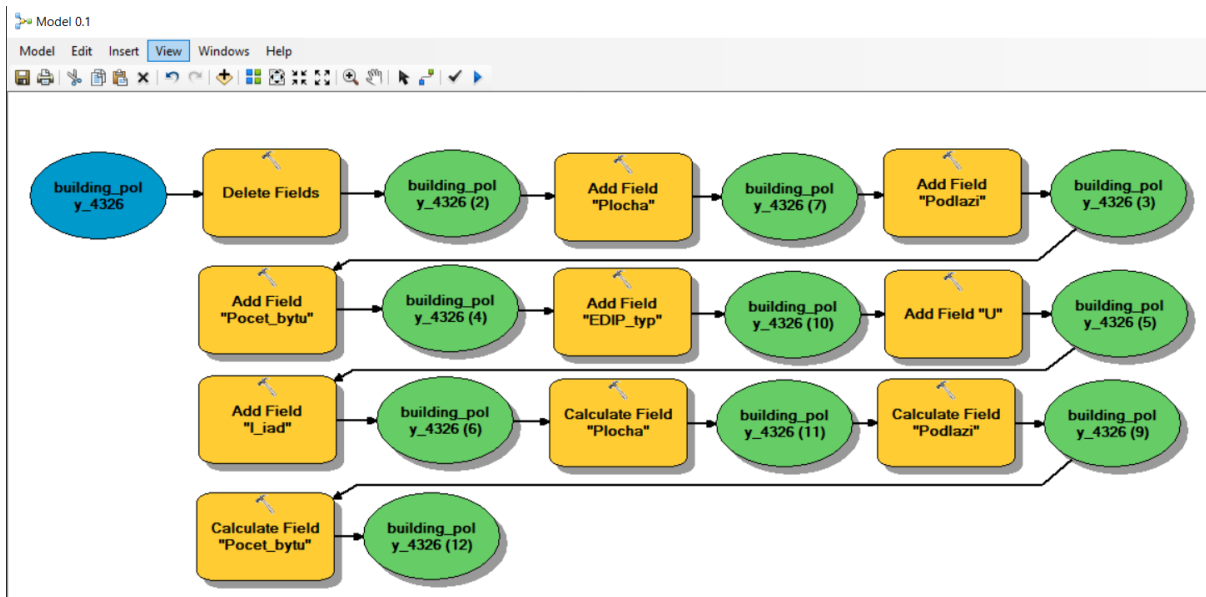


Jelikož u atributu **U** bylo u některých skupin pracováno s podlažími nebo bytovými jednotkami, bylo nezbytné mít tyto atributy nachystané dopředu. V našich stažených datech tyto atributy byly, ale byly uloženy jako text a Model Builder potřeboval pro všechny matematické operace vstupní hodnoty uložené jako čísla. Atributy *building\_l* a *building\_f*, kde první udával počet podlaží a druhý počet bytových jednotek, byly převedeny z textu na číslo. Přidána byla 2x funkce **Calculate Field**, připojena za poslední funkci sloužící k výpočtu výměry budovy. Jedinou odlišností bylo nastavení hodnoty Expression Type na *VB*, protože model při použití programovacího jazyka Python nepracoval správně. Nastavení bylo v obou případech téměř totožné (viz. Obrázek 10).



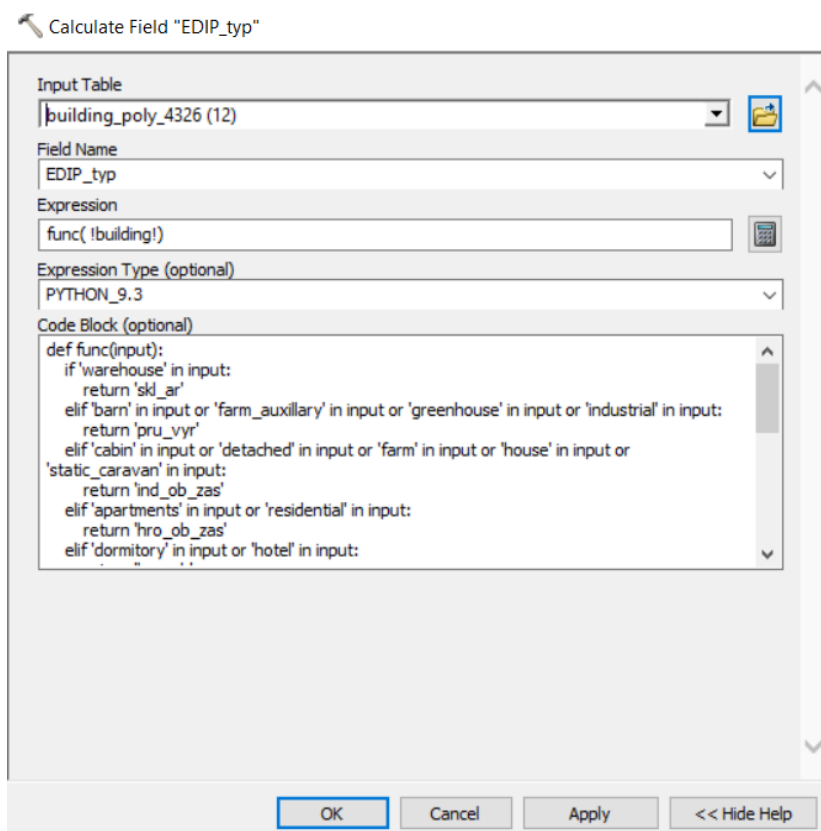
**Obrázek 10: Nastavení Calculate Field pro převod textu na číslo**

V této fázi byl model schopný automaticky odstranit přebytečné atributy, což mělo za následek urychlení dalších operací. Následně model vytvořil nové atributy, do kterých se ukládaly nově vypočtené, nebo převedené atributy, jako tomu bylo v případě převodu počtu podlaží a bytů z textů na čísla. Stávající stav modelu zobrazuje obrázek 11.



Obrázek 11: Model po přidání funkcí Calculate Field pro převod počtu podlaží a bytů

Dalším krokem bylo rozdělení jednotlivých budov do skupin podle tabulky v kapitole 2.1. K tomu nám opět posloužila funkce **Calculate Field**, která byla opět připojena na konec modelu. V okně nastavení funkce byly vyplněny jednotlivé řádky tak, jak ukazuje obrázek číslo 12, samotný skript pro rozdělení budov do skupin ukazuje obrázek 13.



Obrázek 12: Nastavení Calculate Field pro rozdělení budov do skupin

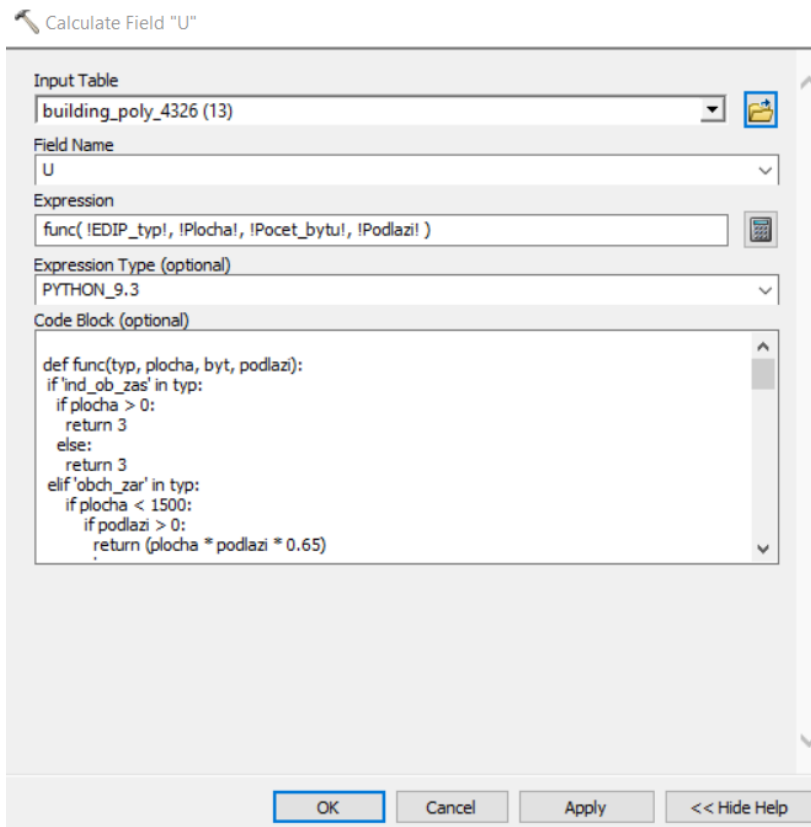
Samotný kód pracoval na principu načtení obsahu atributu *building*, který obsahuje typ budovy podle klasifikace OSM. V závislosti na obsahu tohoto načteného atributu vrátil skript do atributu *EDIP\_typ* zkratku skupiny, do které budova spadá a tento proces se opakoval, dokud skript neprošel všemi budovami ve zdrojové vrstvě *building\_poly\_4326*. Pokud načteným OSM typem budovy bude *house*, vrátí skript atributu *EDIP\_typ* hodnotu *ind\_ob\_zas*, který reprezentuje skupinu Individuální obytné zástavby.

```
# Výpočet atributu EDIP_typ
def func(input):
    if 'warehouse' in input:
        return 'skl_ar'
    elif 'barn' in input or 'farm_auxillary' in input or 'greenhouse' in input or 'industrial' in input:
        return 'pru_vyr'
    elif 'cabin' in input or 'detached' in input or 'farm' in input or 'house' in input or 'static_caravan' in input:
        return 'ind_ob_zas'
    elif 'apartments' in input or 'residential' in input:
        return 'hro_ob_zas'
    elif 'dormitory' in input or 'hotel' in input:
        return 'hro_ub'
    elif 'commercial' in input or 'kiosk' in input or 'retail' in input or 'supermarket' in input or 'brewery' in input:
        return 'obch_zar'
    elif 'office' in input or 'civic' in input or 'government' in input or 'hospital' in input or 'public' in input:
        return 'adm_ver_spr'
    elif 'kindergarten' in input or 'school' in input or 'university' in input:
        return 'sko_vzd'
    elif 'yes' in input:
        return 'bl_neu'
    else:
        pass
```

Obrázek 13: Skript pro rozdělení budov do skupin v jazyce Python

Po dokončení tohoto kroku zbývaly už jen dvě poslední části výpočtu, první částí byl výpočet atributu **U** a druhou výsledný atribut **I\_iad** udávající počet automobilové dopravy za den pro každou budovu. Pro výpočet atributu **U** a **I\_iad** byly potřebné opět funkce Calculate Field, funkce byly řetězeny po sobě, kdy první funkcí byl spočítán atribut **U** a druhou atribut **I\_iad**.

Nastavení funkce Calculate Field pro výpočet atributu **U** a skript samotný zobrazují obrázky 14 a 15.



**Obrázek 14: Nastavení Calculate Field pro výpočet atributu U**

Postup výpočtu jednotlivých skupin popsany v kapitole 2.1 byl interpretován pomocí jazyka Python do prostředí ArcGIS, konkrétně pak do programu ArcMap pomocí Model Builderu. Během této interpretace bylo nutné dávat pozor na správné sestavení matematických vzorců a ošetření všech postupů výpočtu pro danou skupinu budov v závislosti na tom, jaké byly k dispozici atributy, příkladem byla skupina Individuální obytná zástavba a Hromadná obytná zástavba, kam vstupoval do výpočtu počet podlaží a počet bytů, případně jestli se liší výpočet podle výměry budovy, což byl případ skupin Obchodní zařízení a Skladové areály. Ve skriptu nebyl počítán atribut U pro skupinu Blíže neurčené, a to z důvodu, že u této skupiny není možné určit jeho jednotky a tím pádem ani postup jeho výpočtu.

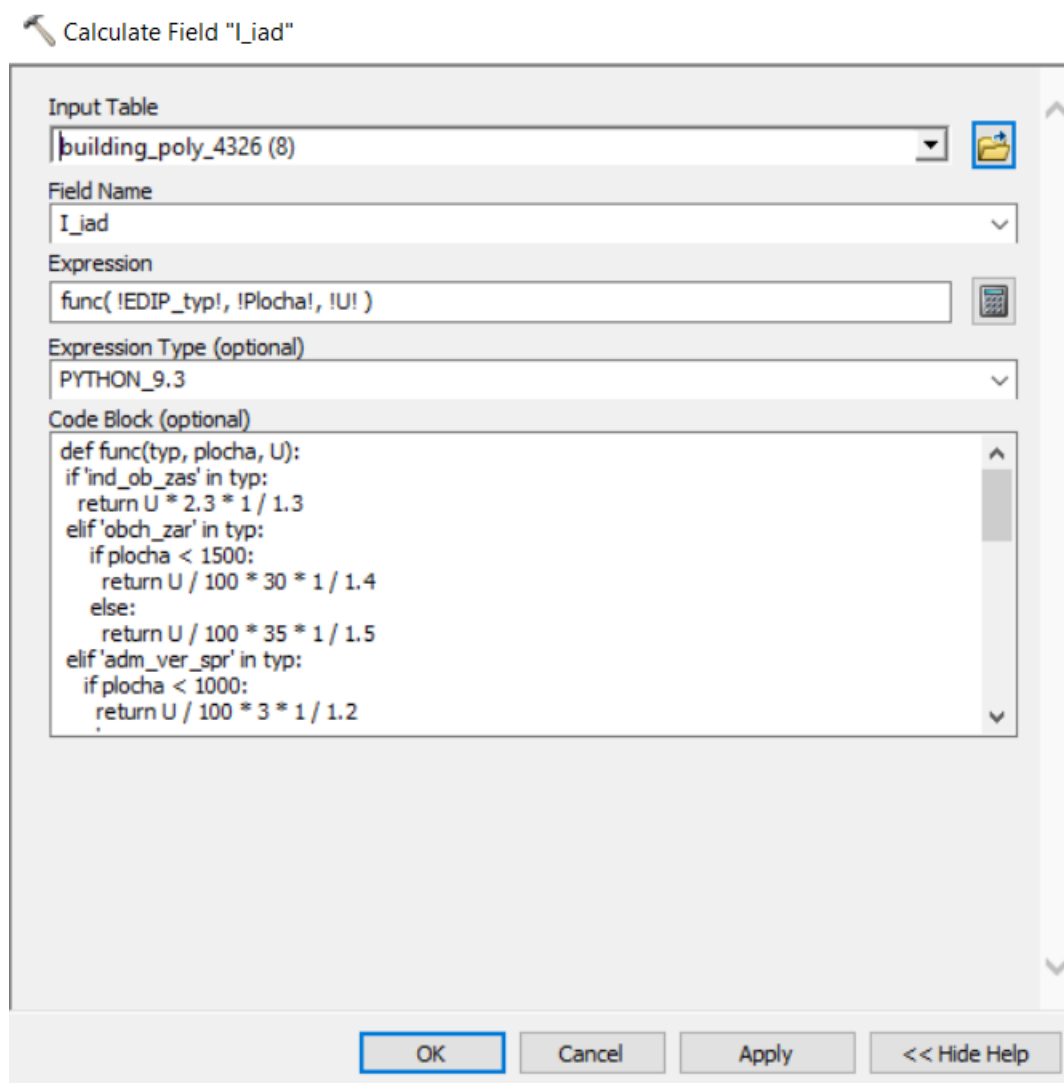
```

# Výpočet atributu U
def func(typ, plocha, byt, podlazi):
    if 'ind_ob_zas' in typ:
        if plocha > 0:
            return 3
        else:
            return 3
    elif 'obch_zar' in typ:
        if plocha < 1500:
            if podlazi > 0:
                return (plocha * podlazi * 0.65)
            else:
                return (plocha * 0.65)
        else:
            if podlazi > 0:
                return (plocha * podlazi * 0.50)
            else:
                return (plocha * 0.50)
    elif 'adm_ver_spr' in typ:
        if podlazi > 0:
            if plocha < 1000:
                return (plocha * podlazi * 0.65)
            else:
                return (plocha * podlazi * 0.45)
        else:
            if plocha < 1000:
                return (plocha * 0.65)
            else:
                return (plocha * 0.45)
    elif 'sko_vzd' in typ:
        return (plocha / 15)
    elif 'pru_vyr' in typ:
        if plocha < 10000:
            return (plocha / 30)
        elif plocha > 10000 and plocha < 30000:
            return (plocha / 50)
        else:
            return (plocha / 85)
    elif 'skl_ar' in typ:
        if plocha < 2500:
            return (plocha * 0.6)
        else:
            return (plocha * 0.8)
    elif 'hro_ob_zas' in typ:
        if podlazi is 0 and byt > 0:
            return byt * 2.48
        elif podlazi > 0 and byt > 0:
            return plocha * podlazi / 85 * 2.48
        elif podlazi > 0 and byt is 0:
            return plocha * podlazi / 85 * 2.48
        else:
            return plocha * 3 / 85 * 2.48
    elif 'hro_ub' in typ:
        if podlazi > 0 and byt is 0:
            return plocha * podlazi / 40 * 2
        elif podlazi > 0 and byt > 0:
            return plocha * podlazi / 40 * 2
        elif podlazi is 0 and byt > 0:
            return byt * 2
        else:
            return plocha * 3 / 40 * 2
    else:
        pass

```

Obrázek 15: Skript pro výpočet atributu U v jazyce Python

V tuto chvíli chybělo nastavení poslední funkce v našem modelu, a to funkce pro výpočet posledního atributu **I\_iad**. Nastavení poslední funkce Calculate Field je zobrazeno na obrázku 16.



**Obrázek 16: Nastavení Calculate Field pro výpočet atributu I\_iad**

Samotné vzorce pro výpočet atributu **I\_iad** pro jednotlivé skupiny popsané v kapitole 2.1 bylo opět potřeba přepsat do programovacího jazyka Python. Převedení vzorců probíhalo obdobně jako u předchozího výpočtu pro atribut **U**. Rozdílem je přidání výpočtu pro skupinu Blíže neurčené budovy. Tento výpočet nepočítal s budovami menšími než 60m<sup>2</sup>, a to z důvodu, že tyto budovy reprezentovaly povětšinou trafostanice, vrátnice, rozvodny, budovy obsahující uzávěry plynu nebo vody a další podobné budovy, které v reálném světě dopravu negenerují stejně tak jako garáže, se kterými výpočty také nepočítají. Skript s převedenými vzorci je zobrazen na obrázku 17.

```

# Výpočet atributu I_iad
#VERZE 0.1
def func(typ, plocha, U):
    if 'ind_ob_zas' in typ:
        return U * 2.3 * 1 / 1.3
    elif 'obch_zar' in typ:
        if plocha < 1500:
            return U / 100 * 30 * 1 / 1.4
        else:
            return U / 100 * 35 * 1 / 1.5
    elif 'adm_ver_spr' in typ:
        if plocha < 1000:
            return U / 100 * 3 * 1 / 1.2
        else:
            return U / 100 * 6 * 1 / 1.2
    elif 'sko_vzd' in typ:
        return U * 0.55 * 1 / 1.8
    elif 'pru_vyr' in typ:
        if plocha < 10000:
            return U * 1.1 * 1 * 0.8 / 1.3
        elif plocha > 10000 and plocha < 30000:
            return U * 1.1 * 1.2 * 0.8 / 1.3
        else:
            return U * 1.1 * 1.35 * 0.8 / 1.3
    elif 'skl_ar' in typ:
        if plocha < 2500:
            return U / 100 * 1.3 * 1.1 * 1 / 1.3
        else:
            return U / 100 * 1.6 * 1.25 * 1 / 1.3
    elif 'hro_ob_zas' in typ:
        return U * 0.7 * 1 / 1.2
    elif 'hro_ub' in typ:
        return U * 1.1 * 1 / 1.4
    elif 'bl_neu' in typ and plocha > 60:
        return plocha / 75
    else:
        pass

```

Obrázek 17: Skript pro výpočet atributu I\_iad v jazyce Python

Tímto krokem byl model dokončen a bylo třeba ověřit funkčnost na vybraném území. Po spuštění model přibližně minutu běžel, než proběhly všechny jeho kroky.

## 2.2.2 Výsledky pro oblast Plzeň-město

Výsledkem byla upravená tabulka prvků, která obsahovala nové atributy *Plocha*, *Podlazi*, *Pocet\_bytu*, *EDIP\_typ*, *U* a *I\_iad*. Tyto atributy byly spočteny automaticky pomocí modelu popsaného v kapitole 2.2.1.

Po zobrazení statistik pro atribut **I\_iad**, který reprezentoval denní intenzitu dopravy, se číslo pro naši zájmovou oblast okres Plzeň-město rovnalo 308 tisícům. Bylo nezbytné mít na paměti, že cílem tohoto prvotního výpočtu bylo ověření správného fungování modelu a koeficient dopravní obslužnosti MHD ( $k_{MHD}$ ), který má vliv na výsledek **I\_iad**, byl ponechán na výchozí hodnotě 1,0. Úpravě hodnot tohoto koeficientu se věnuje kapitola 2.2.3.

Výsledek výpočtu byl porovnán s daty využívanými oficiálním dopravním modelem pro město Plzeň a následně konzultován s dopravními inženýry z firmy EDIP s.r.o., kteří se podíleli na přípravě dat pro model Plzně. Porovnáním prvotních výsledků byla zjištěna významná odchylka od dopravního modelu města, proto bylo nutné provést kalibraci výpočtu. Bylo rozhodnuto, že kalibrace modelu se provede pomocí koeficientu dopravní obslužnosti MHD, který byl do této chvíle nastaven na neutrální hodnotě 1,0. Úpravám hodnot pro jednotlivé skupiny budov se věnuje kapitola 2.2.3.



## 2.2.3 Kalibrace výpočtu

Kalibrace modelu proběhla pomocí úprav hodnot pro koeficient  $k_{MHD}$ . Tento koeficient byl vybrán proto, že jeho vliv na výsledné hodnoty  $I_{i,ad}$  je největší. Koeficient byl upraven na základě doporučených intervalů v EDIP metodice [3] a vybrané hodnoty byly dále konzultovány s dopravními inženýry z firmy EDIP s.r.o. Tabulka 4 ukazuje, jak byl koeficient upraven pro jednotlivé skupiny budov.

Skupina budov:	Individuální ob. zástavba	Hromadná ob. zástavba	Hromadné ubytování	Obchodní zařízení
$k_{MHD}$ (výchozí)	1,0	1,0	1,0	1,0 / 1,0
$k_{MHD}$ (kalibrovaný)	0,85	0,4	0,75	0,3 / 0,55
Skupina budov:	Administrativa a veřejná správa	Školství a vzdělávání	Průmysl a výroba	Skladové areály
$k_{MHD}$ (výchozí)	1,0 / 1,0	1,0	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0
$k_{MHD}$ (kalibrovaný)	0,8 / 0,6	0,5	0,75 / 0,8	0,7 / 0,75

Tabulka 4: Úprava koeficientu dopravní obslužnosti MHD

### Individuální obytná zástavba

Daná hodnota byla vybrána tak, aby co nejlépe reflektovala realitu, kdy tento typ budov je zastoupen převážně v okrajových částech měst, kde není tak dobrá obslužnost MHD, dále bylo nutné reflektovat, že většina lidí vlastní rodinný dům je více zvyklá užívat osobní automobil oproti MHD. Proto byla hodnota  $k_{MHD}$  upravena na 0,85.

### Hromadná obytná zástavba

Budovy obsahující bytové jednotky nalezneme jak v centrech měst, tak i ve větších uskupeních, kdy tvoří celé městské čtvrti v podobě sídlišť. Ať už se jedná o budovy v centru, nebo sídliště obsahující bytové domy, tak lze v obou zmíněných případech sledovat trend dobré obslužnosti MHD, kdy městské územní plány počítají s vyšší koncentrací lidí a je tomu uzpůsobena i městská hromadná doprava. Rozdíl oproti individuální obytné zástavbě je ten, že někteří rezidenti tohoto typu budov nevyužívají svůj osobní automobil pro některé typy cest. S přihlédnutím k těmto faktorům byla hodnota  $k_{MHD}$  upravena na 0,4.

### **Hromadné ubytování**

Zde byl koeficient  $k_{MHD}$  upraven na hodnotu 0,75. Tato hodnota byla zvolena jako průměr z intervalů uvedených v kapitole 8.8 EDIP metodiky pro hromadné ubytování, bylo nutné brát v úvahu, že skupina obsahuje vysokoškolské koleje, kde bude velmi malé procento obyvatel využívat osobní automobily a zároveň hotely a penziony, kam naopak lidé přijedou pravděpodobně pomocí automobilu, proto byla vybrána hodnota tak, aby nedošlo ke zkreslení ve prospěch ani jedné z výše zmíněných budov.

### **Obchodní zařízení**

Výpočet rozdělil budovy na malé a velké podle plochy. U velkých budov zahrnujících velká nákupní centra, velkoplošné haly a další zařízení, kde je předpoklad pro to, že budova má v blízkosti parkoviště byla hodnota  $k_{MHD}$  nastavena na 0,55. Malé budovy, kam spadají menší obchodní zařízení, jako obchody v centru, večerky, ale i menší supermarkety, byla hodnota změněna na 0,3. Tato hodnota reflektuje, že obchodní zařízení v centru, večerky, případně lokální supermarkety na sídlištích jsou převážně navštěvovány lidmi, kteří nepřijeli autem, kdy jeden z důvodů je častá nemožnost v blízkosti obchodu vůbec zaparkovat.

### **Administrativa a veřejná správa**

Skupina byla rozdělena na budovy s nižší a vyšší návštěvností. U budov s nižší návštěvností došlo ke změně koeficientu na 0,8. Tato hodnota byla zvolena z důvodu, že tyto budovy často neleží v centru města, nebo na místě s tak dobrou kvalitou obsluhy MHD. Budovy s vyšší návštěvností jsou opačným případem, kvůli předpokladu větší návštěvnosti byly zřízeny v místech, kde je dobrá síť MHD a budova je snadno dostupná velkému počtu lidí. Proto byl  $k_{MHD}$  upraven na hodnotu 0,6.

### **Školství a vzdělávání**

Budovy související se školstvím ani v reálném světě moc individuální dopravy v průběhu dne negenerují. Jedinou výjimku mohou tvořit základní školy a školky, kam rodiče ráno odvázejí a odkud odpoledne vyzvedávají své děti. Na středních školách určité procento dojíždějících studentů osobní automobil používá. Stejným případem jsou vysoké školy, kde je toto procento ještě o něco málo vyšší. Pro kalibraci modelu byla hodnota  $k_{MHD}$  změněna na 0,5.

## **Průmysl a výroba**

U průmyslových budov došlo k rozdělení podle plochy budovy na 3 druhy. První jsou budovy s plochou do 10000m<sup>2</sup>, jedná se o menší průmyslové podniky dost často stojící přímo ve městě. Pro tento druh budov byla hodnota upravena na 0,75. Druhý a třetí druh budov, skládající se z budov od 10000m<sup>2</sup> do 30000m<sup>2</sup> a budov větších než 30000m<sup>2</sup>, se nachází dost často v okrajových částech města, v průmyslových zónách, nebo úplně za městem. Z toho důvodu byl koeficient  $k_{MHD}$  upraven na hodnotu 0,8 pro oba tyto druhy budov.

## **Skladové areály**

U skladových areálů byl postup podobný jako u průmyslových budov. Budovy byly rozděleny na sklady s výměrou do a nad 2500m<sup>2</sup>. Platí zde stejná myšlenka, že menší sklady, převážně firemní a sklady s obecně menší obrátkou zboží se nebudou nacházet výhradně v okrajových částech města, jako tomu bude u velkých skladů a logistických center.  $k_{MHD}$  byl upraven na 0,7 pro sklady do 2500m<sup>2</sup> a na hodnotu 0,75 pro sklady s výměrou nad 2500m<sup>2</sup>.

## **2.3 Ověření kvality výpočtu a kalibrace**

Úpravou koeficientu  $k_{MHD}$  se výsledný součet  $I_{iad}$  pro zájmovou oblast Plzeň-město snížil na hodnotu 179 tisíc z původních 308 tisíc. Toto číslo se více blíží součtu intenzit automobilové dopravy, se kterým pracuje dopravní model pro město Plzeň, kdy je tento součet roven 150 tisícům.

Následně byl proveden výpočet i pro město Klatovy, kde se součet intenzit dopravního modelu města rovná 23 tisícům. Výsledný součet  $I_{iad}$  se rovná 22 tisíc, jedná se tedy o rozdíl 3,5 % oproti oficiálnímu dopravnímu modelu používanému ve městě Klatovy.

Za zmínku stojí počet Blíže neurčených budov. Kdy tabulka 5 ukazuje, že z celkového počtu budov je téměř třetina budov pro oblast Plzeň-město z této skupiny, pro oblast Klatov je to pouze 16 %. Jelikož nám tato skupina neposkytuje kromě rozlohy budovy žádné další informace, je dost možné, že k větší odchylce mezi součtem  $I_{iad}$  a dopravní intenzitou z modelu města, stojí právě větší zastoupení Blíže neurčených budov v oblasti Plzeň-město.

Počet budov			
Oblast	Celkem	Blíže neurčené	Počet v %
Plzeň-město	46953	14961	31,86
Klatovy	6944	1161	16,72

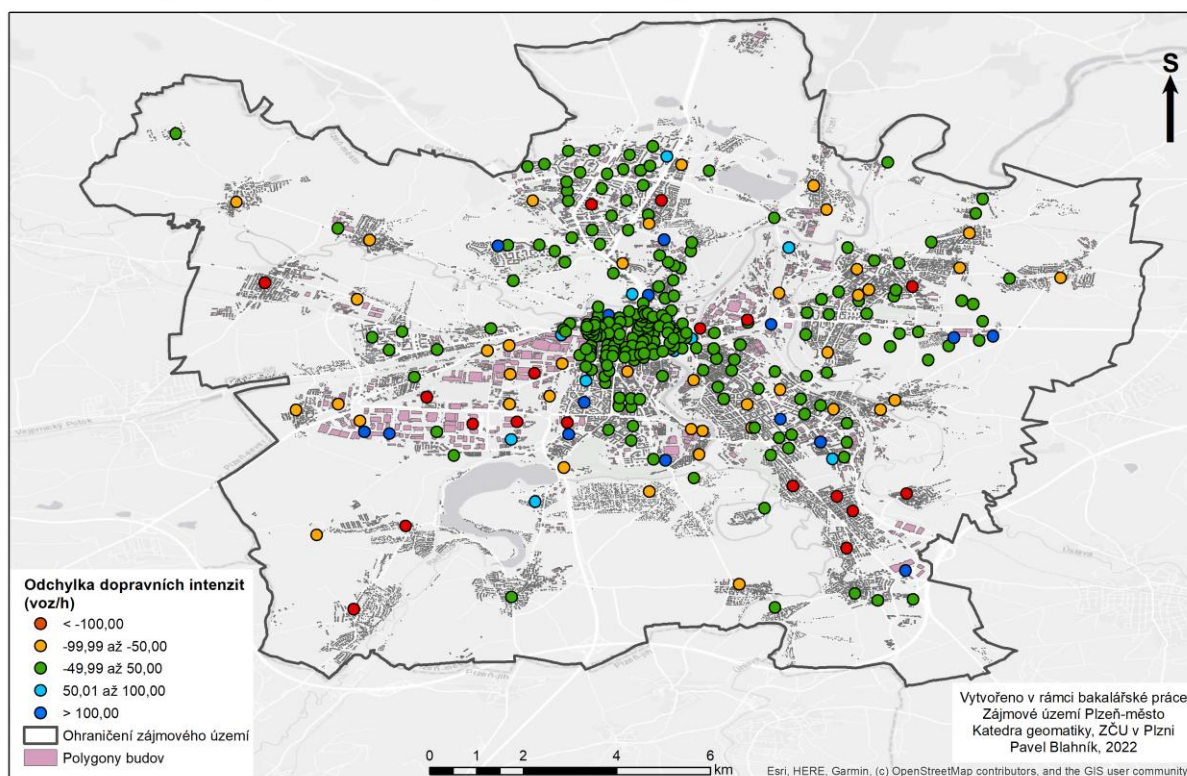
Tabulka 5: Počet Blíže neurčených budov v zájmových oblastech

Ověření kvality výpočtu bylo provedeno porovnáním současných dat z dopravních modelů pro město Plzeň a Klatovy s vypočtenými hodnotami získanými výpočtem z volně dostupných dat z OSM. Data o dopravních intenzitách jsou v městských modelech uložena jako bodová vrstva, kde byl každý bod centroidem polygonu, který rozděluje zájmovou oblast na menší územní celky. Tyto centroidy jsou dopravními generátory, které obsahují číselné hodnoty reprezentující intenzitu dopravy v dopravní síti. Nicméně postupem času došlo ke zpodrobnění sítě těchto centroidů pro oba modely přidáním nových bodů, které již nejsou centroidem žádného polygonu, toto znemožnilo rozřazení budov na základě těchto menších územních celků reprezentovaných polygony. Z tohoto důvodu se přistoupilo k rozřazení budov k jednotlivým bodům v dopravních modelech pomocí funkce Near, která každé budově přiřadila nejbližší bod z této sítě. Když každá budova obsahovala číslo bodu, ke kterému patří, bylo možné pomocí funkce Summarize zjistit součet **I<sub>jad</sub>** na základě přiřazených bodů. Výsledný součet byl uložen k jednotlivým bodům pro dopravní modely Plzně a následně Klatov. V dalším kroku se od původních hodnot, se kterými pracují dopravní modely obou měst, odečetla vypočtená hodnota dopravní intenzity z OSM dat, tím se zjistila alespoň přibližná odchylka, která byla ovlivněna zejména v okrajových částech zájmových území z důvodu větších vzdáleností mezi jednotlivými body generátorů dopravních modelů.

### 2.3.1 Porovnání dopravních intenzit pro oblast Plzeň-město

Dopravní model Plzně obsahuje 306 dopravních generátorů. Následující mapa na obrázku 18 zobrazuje odchylky dopravních intenzit mezi stávajícími hodnotami jednotlivých generátorů a vypočtenými hodnotami pomocí OSM dat a EDIP metodiky v oblasti Plzeň-město.

#### Analyza dopravních generátorů v zájmovém území Plzeň-město



Obrázek 18: Analýza dopravních generátorů oblasti Plzeň-město

Zelenou barvou jsou vyznačeny dopravní generátory s nejmenší odchylkou. Jedná se o oblast centra města, Skvrňan, Jižního a Východního Předměstí, Doubravky a Bolevce.

Záporné odchylky zobrazené červenou a oranžovou barvou znázorňují generátory, kde byla vyšší intenzita generované dopravy spočtená nad daty OSM. Jedná se převážně o okrajové části, konkrétně Malesice, Křimice, oblast Nové Hospody, Valcha, Lhota, Koterov, Červený Hrádek a Bílá Hora. Další oblastí, kde vypočtené hodnoty byly vyšší oproti používaným hodnotám v dopravním modelu Plzně, je oblast rodinných domů mezi ulicemi U Seřadiště a Nepomucká, oblast Borských polí a průmyslový areál Pilsen Steel.

Kladné odchylky zobrazené světle a tmavě modrou barvou znázorňují generátory, kde byla spočtená odchylka nad OSM daty nižší oproti výchozí hodnotě, kterou používá dopravní

model města. Tyto generátory se vyskytují v oblasti Nové Hospody, Úřadu práce ČR v Kaplířově ulici, v oblasti rodinných domů Na Hvězdě a v okolí Obchodního centra Rokycanská.

Z mapy je patrné, že v oblasti Bolevce a centra města, kde je hustější síť bodů pro dopravní model města, došlo k přesnějšímu připojení jednotlivých budov k těmto bodům.

V oblasti Nové Hospody a Borských polí se nachází generátory s větší kladnou i zápornou odchylkou, je tedy možné, že k odchylkám mohlo dojít díky chybnému přiřazení budovy k dopravnímu generátoru.

Odchyly byly rozděleny do 4 intervalů. Následující tabulka 6 zobrazuje počet dopravních generátorů v závislosti na odchylce.

Plzeň		
Odchylna [voz/h]	Počet bodů	Počet v %
< 15	114	37,25
16 - 50	104	33,99
51 - 100	56	18,30
> 100	32	10,46
<b>Celkem</b>	<b>306</b>	<b>100,00</b>

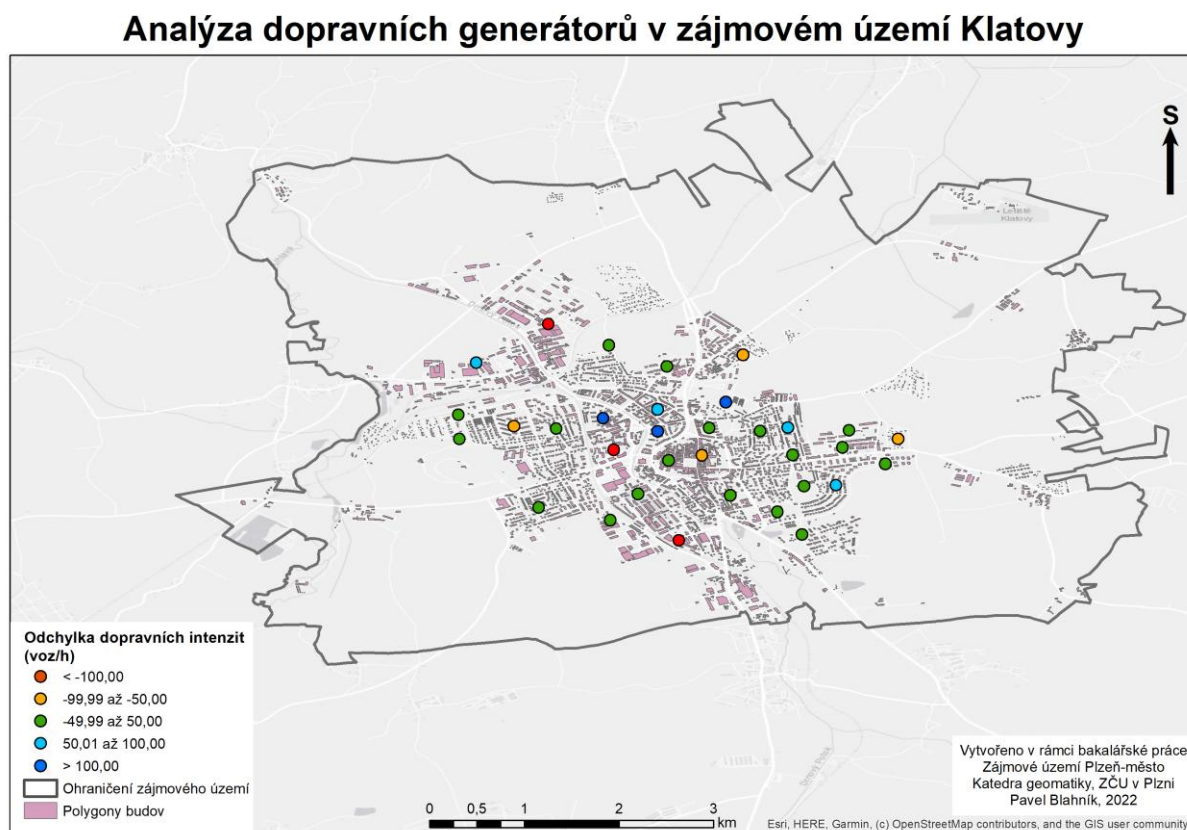
**Tabulka 6: Odchyly dopravních generátorů pro Plzeň-město**

Z tabulky vidíme, že více než třetina bodů má odchylku menší než 15 voz/h a 71 % bodů leží v odchylce maximálně 50 voz/h. Zároveň tabulka ukazuje, že přibližně 10,5 % generátorů má odchylku větší než 100 voz/h, odchylky v tomto rozsahu už s největší pravděpodobností budou negativně ovlivňovat samotné dopravní výpočty v rámci městského modelu.

Možnostem zmírnění těchto odchylek se blíže věnuje kapitola Diskuze, kde jsou nadneseny možné postupy pro zpřesnění jak samotného výpočtu, tak až následného shlukování budov k bodové síti dopravních generátorů pro městský dopravní model.

### 2.3.2 Porovnání dopravních intenzit pro oblast Klatovy

Klatovský dopravní model obsahuje 33 dopravních generátorů. Mapa na obrázku 19 ukazuje odchylky mezi současnými hodnotami dopravních generátorů a hodnotami vypočtenými pomocí OSM dat a EDIP metodiky.



**Obrázek 19: Analýza dopravních generátorů oblasti Klatovy**

Město Klatovy má výrazně méně podrobnou síť dopravních generátorů, oproti Plzni zdejší dopravní model obsahuje pouze 33 bodů sloužících jako dopravní generátory. Další komplikací je rozmístění daných generátorů, kdy v okrajových částech zájmového území nenalezneme žádný z těchto bodů, to se pravděpodobně projevilo na výsledných odchylkách okrajových dopravních generátorů, kde můžeme pozorovat větší odchylky.

Tabulka 7 ukazuje počet dopravních generátorů v závislosti na jejich odchylce.

Klatovy		
Odchylka [voz/h]	Počet bodů	Počet v %
< 15	1	3,03
16 - 50	18	54,55
51 - 100	8	24,24
> 100	6	18,18
<b>Celkem</b>	33	100,00

Tabulka 7: Odchyly dopravních generátorů pro Klatovy

Z tabulky je vidět, že s odchylkou menší než 15 voz/h vyšel pouze jeden bod, s odchylkou do 50 voz/h pouze 57 % bodů. Výsledné odchylky byly s největší pravděpodobností ovlivněny nerovnoměrným rozložením bodů dopravních generátorů, kdy se v okrajových částech zájmového území Klatovy tyto body vůbec nevyskytují. Ačkoli se suma dopravních intenzit modelu a suma **I<sub>lad</sub>** lišila pouze o 800 vozidel za 24h, je patrné, že velký vliv na následnou přesnost má i síť bodů, která následně shlukuje budovy.

### 2.3.3 Porovnání výsledků z obou zájmových území

Obě zvolené zájmové území byly specifické jak po stránce kvality vstupních dat, tak i po stránce následného porovnání se současnými dopravními modely měst.

Prvním faktorem byl počet Blíže neurčených budov, kdy se podíl takových budov v zájmovém území Plzeň-město blížil 32 %, ve druhém zkoumaném území Klatovy se tento podíl blížil 17 %. To se projevilo při porovnání vypočtených hodnot dopravních intenzit a hodnot z dopravních modelů, kdy se odchylka zájmového území Plzeň-město rovnala 2900 voz/h, kdežto odchylka v zájmovém území Klatovy byla rovna pouze 80 voz/h. Druhým faktorem byla hustota sítě bodů reprezentujících dopravní generátory, ke kterým byly dopravní intenzity pro jednotlivé budovy shlukovány. V tomto ohledu bylo dosaženo přesnějších výsledků v zájmové oblasti Plzeň-město.



### 3. Diskuze

Z dosažených výsledků je možné vyvodit několik možných kroků na budoucí zlepšení celého procesu. Prvním takovým krokem je využití dat obsahující informace a výšce jednotlivých budov [13]. Tento krok by vedl ke zpřesnění výpočtu u budov, kde do výpočetního vzorce vstupuje podlažnost budov a tato hodnota je v současné době rovna konstantě. Druhým takovým krokem je využití dat pro zastávky MHD, kde by bylo možné určovat  $k_{MHD}$  pro jednotlivé budovy v závislosti na docházkové vzdálenosti k nejbližší zastávce, kdy v současné době je tento atribut vybrán z intervalu pro jednotlivé skupiny budov a polohy zastávek nezohledňuje. Třetím krokem je úprava nebo vytvoření nových bodových nebo polygonových vrstev pro shlukování jednotlivých budov, což by snížilo zkreslení výsledků zejména v okrajových oblastech [14].

## 4. Závěr

V práci byly nastudovány základy dopravního inženýrství a popsány současné metody používané pro výpočet intenzit generované dopravy. Byla provedena rešerše zabývající se přístupy pro prognózy intenzit generované dopravy územím, v jejímž důsledku byla vybrána vhodná metodika, která je certifikována Ministerstvem dopravy ČR. V dalším kroku bylo nutné nastudovat postupy pro výpočet jednotlivých druhů zástavby. V návaznosti byly zkoumány vhodné datové zdroje, kde zdrojem dat byla vybrána služba OpenStreetMap, která jako jediná poskytuje data téměř vždy zdarma, bez autorských práv nebo omezování uživatele používáním vybraného API nebo dodržováním jiných podmínek. Další výhodou je jednotný formát dat, který je stejný po celém světě a umožňuje tak aplikaci popsaného výpočtu na libovolné území.

Po zvolení datového zdroje a metodiky pro výpočet dopravních intenzit bylo nutné propojit vzorce pro výpočet s daty OSM. Došlo k rozdělení jednotlivých budov do 9 skupin a následné aplikaci výpočtu na tyto skupiny. Současně bylo nutné zvolit výchozí hodnoty jednotlivých parametrů každého výpočtu z předem doporučených intervalů.

Posledním krokem byla implementace tohoto návrhu. Pro implementaci, vzhledem ke zkušenostem získaným během studia, byl vybrán software ArcGIS. Samotná implementace pak proběhla pomocí nástroje ModelBuilder, kde bylo možné celý návrh výpočtu jednoduše implementovat bez nutnosti velkého programování.

Další fází byla kalibrace výpočtu a následné porovnání výsledků, k čemuž posloužily data z dopravních modelů pro město Plzeň a Klatovy. Pro obě oblasti vyšly porovnání v rozumných odchylkách, nicméně v každé z těchto oblastí se projevila jiná potenciální slabina, která ovlivnila výsledné porovnání. U oblasti v Plzni spadala téměř třetina budov do skupiny Blíže neurčené budovy, což ovlivnilo výsledné hodnoty dopravních intenzit. V oblasti Klatov byl počet těchto budov poloviční, avšak problémy nastaly u shlukování jednotlivých budov k bodům fungujícím jako dopravní generátory pro dopravní model, kdy se stávající síť těchto bodů ukázala jako nedostatečně hustá na to, aby mohlo dojít ke správnému shlukování budov, což vedlo k větším odchylkám pro jednotlivé generátory, ačkoliv celková odchylka dopravních intenzit byla pouze 80 voz/h.

Na základě výsledků pro testované oblasti je možné říci, že tento postup je aplikovatelný na libovolné město České republiky a na základě podrobnosti vstupních dat z OSM

dostaneme dopravní intenzity, které mohou posloužit jako výchozí hodnoty pro města, která zatím nedisponují svým dopravním modelem, kdy postupem času mohou tyto hodnoty dále kalibrovat například na základě fyzických měření dopravních intenzit.

## Zdroje

- [1] KOČÁRKOVÁ, D., SLABÝ, P., KOCOUREK, J., JACURA, M. *Základy dopravního inženýrství*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 141s. ISBN 80-01-03022-9
- [2] SLABÝ, P. a UHLÍK, M. *Dopravní inženýrství I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 101s. ISBN 80-01-03365-1.
- [3] MARTOLOS, J. *Metody prognózy intenzit generované dopravy*. Plzeň: EDIP s.r.o., 2013. 108s. ISBN 978-80-87394-08-3
- [4] INSPIRE Geoportal. INSPIRE Geoportal [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/index.html>
- [5] Co je OpenStreetMap - OpenStreetMap Wiki. OpenStreetMap Wiki [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Cs:Co\\_je\\_OpenStreetMap](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Cs:Co_je_OpenStreetMap)
- [6] FAQ - OpenStreetMap Wiki. OpenStreetMap Wiki [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Cs:FAQ>
- [7] Contributors - OpenStreetMap Wiki. OpenStreetMap Wiki [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Contributors#Czech\\_Republic](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Contributors#Czech_Republic)
- [8] GRIFFITHS, H. A New Method for Determining Traffic Demand Using Open Data [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: [https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=32LIBIS\\_ALMA\\_DS71243846670001471&context=L&vid=KULeuven&search\\_scope=ALL\\_CONTENT&tab=all\\_content\\_tab&lang=en\\_US](https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=32LIBIS_ALMA_DS71243846670001471&context=L&vid=KULeuven&search_scope=ALL_CONTENT&tab=all_content_tab&lang=en_US)
- [9] OpenStreetMap For Traffic Simulation. TU Berlin - VSP [online]. Copyright © [cit. 23.05.2022]. Dostupné z: [https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2011/11-10/2011-06-20\\_openstreetmap\\_for\\_traffic\\_simulation\\_sotm-eu.pdf](https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2011/11-10/2011-06-20_openstreetmap_for_traffic_simulation_sotm-eu.pdf)
- [10] Prvky - OpenStreetMap Wiki. OpenStreetMap Wiki [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Cs:Prvky>
- [11] Key:building - OpenStreetMap Wiki. OpenStreetMap Wiki [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Cs:Key:building>
- [12] Jak se u nás bydlí | Statistika&My. Statistika&My | Magazín Českého statistického úřadu [online]. Copyright © Český statistický úřad [cit. 23-05-2022]. Dostupné z: <https://www.statistikaamy.cz/2020/04/30/jak-se-u-nas-bydli/>

- [13] OSM Buildings. OSM Buildings [online]. Copyright © OSM Buildings [cit. 23.05.2022]. Dostupné z:  
<https://osmbuildings.org/?lat=49.73454&lon=13.36925&zoom=17.6&tilt=30>
- [14] HUDEČEK, T. a kol. Hustota a ekonomika měst. IPR, Praha, 152s., 2018, ISBN: 978-80-87931-75-2 (kniha); 978-80-87931-75-9 (pdf).

# Přílohy

Obsah přiloženého CD:

- Analyza\_generatoru\_Klatovy.pdf
- Analyza\_generatoru\_Plzen\_mesto.pdf
- Pavel\_Blahník\_BP\_2022.pdf
- \ArcGIS Toolbox
  - BP\_Blahnik.tbx
- \Data s výsledky výpočtů
  - Klatovy.mpk
  - Plzen\_mesto.mpk