

**Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta životního prostředí  
Katedra prostorových věd**



**Fakulta životního  
prostředí**

**Výškové mapy vybraných významných  
budov v ČR: konzistence napříč datovými  
sady**

**Diplomová práce**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Komárek, Ph.D.  
Diplomant: Bc. Josef Novák**

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Fakulta životního prostředí

# **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Bc. Josef Novák

Regionální environmentální správa

Název práce

**Výškové mapy vybraných významných budov v ČR: konzistence napříč datovými sadami**

Název anglicky

**Height maps of selected buildings in the Czech Republic: Consistency through data sets**

---

## **Cíle práce**

Cílem práce je vytvoření výškových map vybraných budov napříč městy v ČR a porovnat dosažené výsledky s existujícími datovými sadami reprezentujícími výškové mapy měst. Cílem je ověření konzistence datových sad z různých datových zdrojů a ověření přesnosti jednotlivých vstupních výškových map.

## **Metodika**

Autor zpracuje literární rešerši týkající se využití dálkového průzkumu Země, urbanismu, výškových staveb a tepelných mostů ve městech. Zaměří se na výškové mapy budov/měst s důrazem na využití digitálních modelů povrchu/terénu a geografických informačních systémů. Autor zajistí potřebná vstupní data (Copernicus, IPR, ČÚZK), provede nutné předzpracování, vytvoří výškové mapy vybraných budov v Praze, Brně a Plzni. Autor provede relevantní srovnání a statistické vyhodnocení vytvořených výškových map s existujícími datovými sadami. Všechny výstupy autor následně vizualizuje graficky a formuluje odpovídající závěry.

## Doporučený rozsah práce

40-60 stran

## Klíčová slova

Výšková mapa budov, GIS, Copernicus, digitální model povrchu, územní plánování, urbanismus

---

## Doporučené zdroje informací

- Cai, B., Shao, Z., Huang, X., Zhou, X., & Fang, S. (2023). Deep learning-based building height mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122, 103399.
- Frantz, David, et al. "National-scale mapping of building height using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series." *Remote Sensing of Environment* 252 (2021): 112128.
- Kakooei, M., & Baleghi, Y. (2023). Spatial-Temporal analysis of urban environmental variables using building height features. *Urban Climate*, 52, 101736.
- Keany, E., Bessardon, G., & Gleeson, E. (2022). Using machine learning to produce a cost-effective national building height map of Ireland to categorise local climate zones. *Advances in Science and Research*, 19, 13-27.
- Sun, Y., Mou, L., Wang, Y., Montazeri, S., & Zhu, X. X. (2022). Large-scale building height retrieval from single SAR imagery based on bounding box regression networks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 184, 79-95.
- Szatmári, D., Kopecká, M., & Feranec, J. (2022). Accuracy Assessment of the Building Height Copernicus Data Layer: A Case Study of Bratislava, Slovakia. *Land*, 11(4), 590.
- Wu, Y., Blunden, L. S., & Bahaj, A. S. (2019). City-wide building height determination using light detection and ranging data. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(9), 1741-1755.

---

## Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2024

**prof. Ing. Petra Šimová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2024

**prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Výškové mapy vybraných významných budov v ČR: konzistence napříč datovými sadami vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 19.03.2024

---

## **Poděkování**

Chtěl bych vyjádřit veliké poděkování Ing. Janu Komárkovi, Ph.D., za jeho cenné podněty, odborné rady a věnovaný čas při vedení mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za jejich trvalou podporu, která mi byla neocenitelnou oporou během celého studia. Bez jejich povzbuzení by tento úspěch nebyl možný. Rovněž děkuji svým přátelům, kolegům a kolegyním z pracovního prostředí za jejich přátelskou atmosféru a vzájemnou inspiraci.

# Výškové mapy vybraných významných budov v ČR: konzistence napříč datovými sadami

## Souhrn

Tato diplomová práce se věnuje vytvoření a srovnání existujících datových sad výškových map vybraných budov v různých částech České republiky. Vstupní data pro vytvoření vlastního modelu byla získána ze stránek Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČUZK). Tyto datové sady, pocházející z dálkového průzkumu Země provedeného leteckým laserovým skenováním v letech 2009 až 2013, a byly zpracovány v programu ArcGIS Pro. Tento software interpoluje načtená laserová data do rastru s rozlišením, které si uživatel definuje z mračna bodů. Z těchto rastrů lze poté extrahovat výškové informace o vybraných budovách. Vlastní výškový model je následně v programu porovnán s ostatními datovými sadami. Výsledkem práce je vlastní výškový model vybraných budov a tabulky s porovnáním přesnosti jednotlivých modelů.

Součástí této práce je teoretická část, kde je detailně popsán dálkový průzkum Země, geografický informační systém, urbanismus, výškové stavby a tepelné mosty. Další část se věnuje představení jednotlivých vybraných budov a měst, ve kterých se nacházejí. V praktické části jsou popsány použité datové sady, hardware, na kterém byly sady zpracovány, a software, který byl použit ke zpracování výstupů. Následuje podrobný popis postupů zpracování a porovnání jednotlivých dat. V závěru práce jsou prezentovány výsledky a srovnání všech použitých datových modelů.

**Klíčová slova:** Výšková mapa budov, GIS, Copernicus, digitální model povrchu, územní plánování, urbanismus.

# Height maps of selected important buildings in the Czech Republic: Consistency through data sets

## Summary

This master's thesis is dedicated to the creation and comparison of existing datasets of height maps for selected buildings in different parts of the Czech Republic. The input data for the model's creation were obtained from the website of the ČUZK. These datasets, originating from remote sensing of the Earth carried out by lidar between 2009 and 2013, and were processed in ArcGIS Pro. This software interpolates the retrieved laser data into a raster with a resolution defined by the user from a point cloud. Absolute height information for selected buildings can then be extracted from these rasters. The actual height model is subsequently compared with other datasets in the ArcGIS Pro software. The result of the work is the actual height model of the selected buildings and tables comparing the accuracy of each model.

This master's thesis includes a theoretical part where remote sensing, geographic information systems, urban planning, correlations between high-rise buildings and thermal bridges are described in detail. The next section is devoted to the introduction of each selected building and the cities in which they are located. The practical part describes the used datasets, the hardware on which the datasets were processed, and the software used to process the outputs. This is followed by a detailed description of the processing procedures and a comparison of the individual data. Finally, the results and comparison of all the data models used are presented.

**Keywords:** Building height map, GIS, Copernicus, digital surface model, spatial planning, urbanism

# Obsah

1. Úvod .....	10
2. Cíl práce.....	12
3. Literární rešerše.....	13
<b>3.1 Dálkový průzkum Země .....</b>	<b>13</b>
3.1.1 Pasivní snímání .....	13
3.1.2 Aktivní snímání.....	14
<b>3.2 Geografický Informační Systém .....</b>	<b>17</b>
3.2.1 Český úřad zeměměřičský a katastrální .....	18
3.2.2 Základní báze geografických dat .....	19
3.2.3 Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy .....	19
3.2.4 Copernicus .....	19
<b>3.3 Výškové mapy budov .....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Metody extrakce budov – výšky budov .....	22
3.3.2 Urbanismus .....	23
3.3.3 Územní plánování .....	23
3.3.4 Městské tepelné ostrovy .....	24
4. Charakteristika studijního území.....	25
<b>4.1 Hlavní Město Praha.....</b>	<b>25</b>
4.1.1 Art Gen Office Gallery.....	26
4.1.2 Budějovická alej.....	27
4.1.3 Budova Generali Česká Pojišťovna – Na Pankráci 123.....	28
<b>4.2 Brno .....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Objekt E – Plynárenská 1 .....	30
4.2.2 Objekt F1 – Plynárenská 1 .....	30
<b>4.3 Plzeň.....</b>	<b>31</b>
4.3.1 Budova Komerční Banky – Goethova .....	32
5. Metodika.....	33
<b>5.1 Hardware .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Software.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3 Data.....</b>	<b>34</b>
5.3.1 DMP 1G .....	34
5.3.2 DMR 5G.....	35
5.3.3 Absolutní výšky budov Praha a Výška budov v Brně.....	35
5.3.4 Copernicus Urban Atlas Building Height 2012 .....	35
5.3.5 Projektové dokumentace .....	36



<b>5.4</b>	<b>Zpracování materiálů.....</b>	<b>36</b>
5.4.1	Vytvoření vlastní výškové mapy budov.....	37
5.4.2	Porovnání jednotlivých výškových modelů .....	42
<b>6.</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>44</b>
<b>6.1</b>	<b>Praha.....</b>	<b>45</b>
<b>6.2</b>	<b>Brno .....</b>	<b>47</b>
<b>6.3</b>	<b>Plzeň.....</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>50</b>
<b>8.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>53</b>
<b>10.</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>62</b>
<b>11.</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>I</b>

## 1. Úvod

Města po celém světě se rychle rozrůstají v důsledku nárůstu počtu obyvatel. Růst městských oblastí je ovlivněn místní kulturou, ekonomickými faktory, klimatem, místními předpisy, politikou a mnoha dalšími proměnnými. Výškové budovy v posledních desetiletích mění vzhled a panorama měst. To má významný dopad na urbanistické, ekonomické a environmentální procesy v městském prostředí. Výškové budovy svými rozměry ovlivňují okolní mikroklima například tím, že mají vliv na víření a turbulence větru, vrhají stíny a brání slunečnímu světlu. Zároveň však také zvyšují tlak na infrastrukturu a dopravní systémy. Mimo jiné svojí výškou ovlivňují historickou strukturu města, a také jsou s nimi spojeny vyšší provozní náklady v důsledku energeticky neefektivních řešení vytápění a chlazení (Ali & Al-Kodmany, 2012; Szatmári et al., 2022).

Nedávná studie Yanga a Liho zaměřující se na vlivy hustoty zástavby a výškové heterogenity budov na průměrné městské albedo (míra odrazivosti tělesa nebo jeho povrchu), teplotu silnic a chodníku odhalila, že středně hustá zástavba nejvíce pohlcuje sluneční záření. Krom toho, studie ukázala, že průměrné městské albedo klesá s rostoucí výškou budov. Dle článku tak obecně platí, že s rostoucími výškovými rozdíly budov je pohlcováno více slunečního záření (X. Yang & Li, 2015). Dalším důležitým faktorem je uspořádání městského prostoru, které může výrazně formovat tepelné podmínky v městské oblasti. Vysoké budovy mohou poskytovat chodcům stín, avšak zároveň se můžou stát tepelnou pastí, v důsledku zachycování záření mezi městskými povrchy (Terjung & Louie, 1973). Schopnost těchto městských kaňonů pohlcovat sluneční záření, nazývaná také efektivní albedo nebo městské albedo, je jedním z parametrů, které přispívají k fenoménu tepelného ostrova. Ten závisí jak na albedu povrchu, což je odrazivost povrchu v krátkovlnné oblasti elektromagnetického spektra, tak i na geometrii města, která zesiluje absorpci záření vícenásobným odrazem mezi povrchy budov (Oke, 2002; X. Yang & Li, 2015).

Porozumění dynamice městské struktury je tak důležité pro další rozvoj a začlenění do konceptu chytrého města. Chytré město neboli Smart City je urbanistický koncept, který využívá moderních technologií a inovací pro účely efektivního řízení města, snížení spotřeby energií a lepší využití infrastruktury. Pro účely fungování chytrého města, tak i pro plánování, správu a studium městského prostředí je nezbytné mít k dispozici přesné, rychlé a aktuální údaje. V případě této práce, jsou to údaje o budovách, včetně jejich výšky a třeba i počtu podlaží. S použitím dálkového průzkumu Země, fotogrammetrie a dalších zdrojů geoprostorových dat lze přetvářet pořízené údaje, včetně výšky budov, do užitečných informací pro environmentální nebo energetické analýzy či urbanistické studie, které zaměřují na snižování teploty a spotřeby energií ve městech (Szatmári et al., 2022).

Výškové mapy měst, respektive výšku budov je možné zjistit na základě dat ze snímků pořízenými drony, letadly, satelity a v budoucnu i vzducholodmi HAPS (High-Altitude Pseudo-Satellite). Jedním ze způsobů je odhad na základě vrženého stínu. Přesnost těchto odhadů se lišila v průměru o 4 % oproti lidarovému měření (Liasis & Stavrou, 2016). Další možností je již zmíněná fotogrammetrie.

Konkrétně za pomoci analýzy stereo párů snímků ze satelitu s vysokým rozlišením, z leteckých snímků nebo ze snímků z bezpilotního leteckého prostředku (Stal et al., 2013). Další technikou získání dat, ze kterých lze určit výšku budov jsou data z lidarového snímání. Tato metoda může být prováděna z různých platform, včetně letadel, satelitů a dalších zařízení (např. autonomních vozidel nebo mobilních měřicích jednotek) a je jednou z nejpřesnějších.

Pro Českou republiku je dostupných několik zdrojů výškových map. Zde je na výběr ze sady dat Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Konkrétně jde o digitální model povrchu a digitálního modelu reliéfu. Oba modely byly vytvořeny lidarovým snímáním. Kombinací těchto dvou modelů získáme výšku objektů nad terénem. Tyto objekty je dále potřeba klasifikovat, vyfiltrovat a následně validovat. Těmito kroky lze pak vytvořit výškovou mapu budov. Dalším zdrojem jsou data z evropského programu Copernicus, která přímo obsahují vrstvu výšky budov. Některá města, například Praha a Brno, také mají svůj vlastní výškový model budov, avšak otázkou je, o kolik jsou tyto modely přesnější a pro jaké účely jsou jednotlivé modely vhodné.

## **2. Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je vytvoření výškových map vybraných budov ve vybraných městech České republiky, konkrétně v Praze, Brně a Plzni, z digitálního modelu terénu a reliéfu, a porovnání dosažených výsledků s existujícími datovými sadami reprezentujícími výškové mapy těchto měst v softwaru ArcGIS Pro. Práce se zaměřuje na ověření konzistence datových sad z různých zdrojů a přesnosti jednotlivých vstupních výškových map, a to za použití výstupů poskytnutých Institutem plánování a rozvoje hlavního města Prahy, Magistrátem města Brna, Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním, Evropskou vesmírnou agenturou a jednotlivými správci či majiteli vybraných budov.

### 3. Literární rešerše

Tato kapitola je zaměřena na představení dálkového průzkumu Země, jímž jsou získávána data, jež následně slouží k analýze výšky budov. Historie a využití Geografického informačního systému (GIS) jsou rozebrány jako klíčové prvky, které formují moderní metody a techniky v oblasti geoinformatiky. V následující části kapitoly je představen Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČUZK), jenž hraje významnou roli v poskytování Základní báze geografických dat (ZABAGED), která je zde také představena. Instituty jako Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy a program Copernicus jsou důkladně zkoumány v rámci jejich přínosu a využití v oblasti geografické analýzy. Specifickým aspektem této kapitoly je detailní pohled na výškové mapy budov. Zde je diskutováno jejich využití a následně jsou analyzovány metody extrakce výšky budov, včetně použití lidarů či analýzy výšky z vržených stínů. Urbanismus a územní plánování jsou následně představeny jako klíčové souvislosti s výškou budov. Kapitola se dále věnuje problematice městských tepelných ostrovů, včetně jejich vzniku, vlivu budov na jejich podobu a možnostem eliminace této jevu.

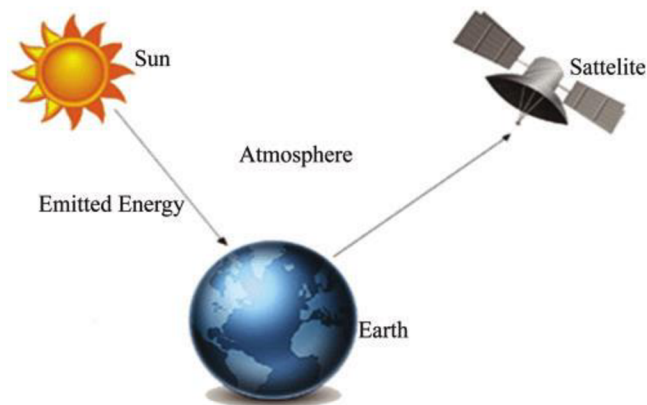
#### 3.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země, dále jen DPZ, je proces, při kterém se měří, zkoumají a zobrazují jevy a objekty v krajině bez přímého fyzického kontaktu. Výstupem DPZ jsou analogově nebo digitálně zpracované družicové či letecké snímky (Svatoňová & Lauer mann, 2010). Informace jsou zachyceny z odraženého radarového, termálního, infračerveného, nebo ultrafialového záření, ale i z viditelné části spektra (RGB). Ke zpracování a následné interpretaci snímků dálkového průzkumu Země jsou použity speciální techniky pro účely tvorby tematických map, průzkumu zdrojů a dalších v oblasti zemědělství, archeologie, lesnictví, geografie, geologie a dalších (Campbell & Wynne, 2011).

##### 3.1.1 Pasivní snímání

Systémy dálkového průzkumu, které měří přirozeně dostupnou energii, se nazývají pasivní senzory. Pasivní snímání využívá k zachycení obrazu světlo (Obrázek 1) a obecně se dělí na přímé a nepřímé. Toto rozdělení plyne ze Sluneční energie, která se může buďto odrazit ve viditelných vlnových délkách, nebo může být absorbována a poté znovu vyzařena jako tepelné infračervené vlnové délky. Pasivní senzory jsou schopny detekovat energii pouze v situacích, kdy je tato energie přirozeně přítomná. Odražená energie ze Slunce může být zachycena pouze během osvětlení Země slunečním světlem, a proto v noci není dostupná a řadí se pod přímé pasivní snímání. Naopak energie vyzařovaná přirozeně, například tepelné infračervené záření, může být detekována jak ve dne, tak v noci, pokud její množství dosáhne dostatečné úrovně pro zaznamenání, a tak spadá pod nepřímé pasivní snímání (CRISP, 2001b; Jia et al., 2021; Ul Islam et al., 2022).

Mezi metody pasivního snímání patří například hyperspektrální fotografie. Tato metoda využívá kombinaci prostorových a spektrálních informací k vytvoření datové kostky, umožňující identifikaci objektů podle jejich jedinečných spekter (Goetz & Srivastava, 1985; Jia et al., 2020, 2021).



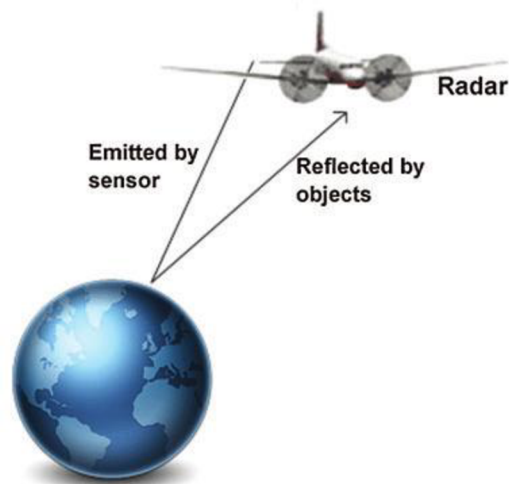
Obrázek 1 Princip pasivního snímání (Ul Islam et al., 2022).

### **Snímky s vysokým rozlišením a nízkým rozlišením**

Snímky s nízkým prostorovým rozlišením (například 50 m) a vysokým prostorovým rozlišením (například 5 m) jsou získávány převážně pomocí leteckých nebo vesmírných senzorů. Čím nižší prostorové rozlišení, tím jsou méně patrné detaily na daném snímku a naopak (CRISP, 2001b; Jia et al., 2021). Vesmírné technologie snímání s vysokým rozlišením nabízí široké pokrytí území a stabilní opakování přeletů, avšak náklady na provoz družic jsou vysoké a kvalita snímků může být ovlivněna atmosférou (French et al., 2003). V případě leteckých snímků mohou mít tyto snímky vyšší rozlišení a jsou méně citlivé na atmosférické podmínky. Nicméně, efektivita leteckých kamer je nižší než u vesmírných zařízení, hlavně kvůli nižší letové výšce a menšímu pokrytí (Jia et al., 2020). Snímky s vysokým rozlišením lze pořídit z mnoha prostředků. Kromě družic, či standardních pilotovaných letadel, je také lze pořídit z bezpilotních leteckých prostředků (UAV). V nedávné době bylo vyvinuto několik zobrazovacích systémů s kamerami s vysokým rozlišením umístěnými na bezpilotních letounech. Tyto systémy mohou dosáhnout prostorového rozlišení až na úrovni centimetrů (Turner et al., 2012). Prostorové rozlišení snímků odkazuje mj. na velikost jednoho pixelu. Snímky s vysokým rozlišením běžně spadají do dvou kategorií: panchromatické, které zachycují celé spektrum barev ve stejném pixelu, a multispektrální, které zachycují různé barevné kanály ve více pixelech (Alparone et al., 2004; Jia et al., 2021).

#### **3.1.2 Aktivní snímání**

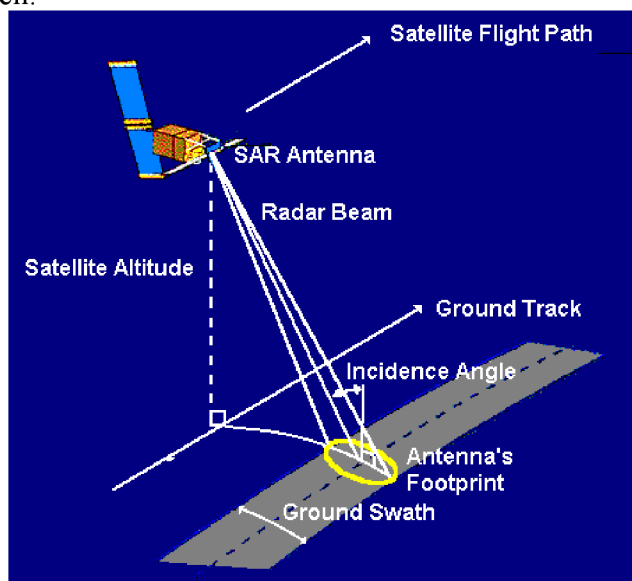
Aktivní senzory oproti pasivním vyzařují vlastní zdroj energie (Obrázek 2). Aktivní senzory vyzařují záření, které je nasměřováno na zkoumaný cíl a reaguje na vnitřní podněty objektů. Záření odražené od cíle je senzorem detekováno a měřeno. Mezi výhody aktivních senzorů patří možnost získat měření kdykoli, bez ohledu na denní dobu nebo roční období. Tyto senzory lze využít ke zkoumání vlnových délek, které nejsou v dostatečné míře poskytovány sluncem, jako jsou například mikrovlny. Taktéž umožňují lepší kontrolu nad způsobem osvětlení cíle. Avšak je třeba brát v potaz, že aktivní systémy vyžadují generování relativně velkého množství energie pro dostatečné osvětlení zkoumaných cílů. Mezi aktivní senzory se například řadí lidar nebo radar se syntetickou aperturou, zkráceně SAR (Saha et al., 2020; Ul Islam et al., 2022).



Obrázek 2 Princip aktivního snímání (Ul Islam et al., 2022).

### Radar se syntetickou aperturou

Nebo také SAR (Synthetic Aperture Radar) představuje aktivní technologii dálkového průzkumu, jež využívá mikrovlny o vlnové délce několika centimetrů. Senzory měří vzdálenost mezi zařízením pomocí časového zpoždění ozvěny. Pro SAR je charakteristické vysílání krátkého pulzovaného mikrovlnného záření, které se zpětně rozptyluje od cíle. Následně se tento zpětně rozptýlený signál zaznamenává. Systém SAR s dlouhou virtuální anténou může dosáhnout jemného prostorového rozlišení, a současné vesmírné senzory SAR umí nabídnout rozlišení pod jeden metr. Výhodou SAR je také schopnost práce v nepříznivých atmosférických podmínkách (například vysoká oblačnost) a v noci. Oproti optickým sensorům má SAR nízkou korelaci mezi dosahem a prostorovým rozlišením (Jia et al., 2021). SAR využívá geometrii bočního zobrazení k vytvoření obrazových dat sledované oblasti (Obrázek 3). V oblastech s nepravidelnou topografií mohou snímky SAR vykazovat zkreslení, která jsou způsobena různými faktory, jako například perspektivní zkratka, překrývání, či radarové stíny (Gelautz et al., 1998). Tato zkreslení představují výzvu při mapování, zejména v městských oblastech s výškovými budovami (Jia et al., 2021). Tyto senzory mohou být umístěny na vesmírných družicích, letadlech či bezpilotních leteckých prostředcích.

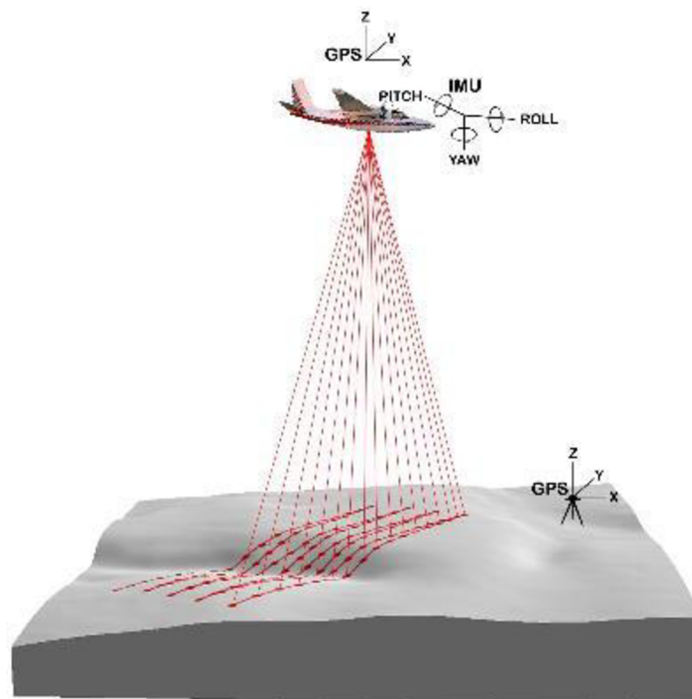


Obrázek 3 Princip snímání radaru se syntetickou aperturou (CRISP, 2001a).

## Light Detection and Ranging – LiDAR

Při leteckém laserovém skenování (ALS) je senzor lidar umístěn na letadle (Obrázek 4), či bezpilotním leteckém prostředku spolu s inerciální měřicí jednotkou a přijímačem globálního navigačního satelitního systému (GNSS). Lidar vysílá úzké laserové pulzy směrem k zemi a vytváří skenovací obrazec nad sledovanou oblastí. Systémy ALS, obvykle založené na oscilačním zrcadle a skenovacích vzorcích, přijímají zpětný signál, měří dobu cesty signálu a přiřazují každý zpětný impuls k času a úhlu skenování GNSS, při kterém byl impuls vyslán. Čas cesty lze převést na vzdálenost a následně i výšku. Metoda ALS je tak schopna vytvořit georeferencovaná trojrozměrná mračna bodů v sledované oblasti (Cheng et al., 2015; Gargoum & El-Basyouny, 2017; Harvey & Mckeown, 2008; Jia et al., 2021).

Provozní systémy ALS obvykle využívají jednovlnného, jednoimpulsního lineárního režimu lidar. Nově se rozvíjející multispektrální systémy ALS využívají kombinaci lidarů různých vlnových délek. Tyto senzory poskytují údaje o intenzitě, které umožňují získání barevných snímků podobných optickým snímkům. Hlavní výhodou této metody spočívá v nezávislosti dat na světelných podmínkách a absenci stínů. Multispektrální systémy ALS mají proto velký potenciál pro zvýšení úrovně automatizace při mapování. Například Geiger-mode lidar a jednofotonový lidar (SPL) jsou nové techniky ALS, které jsou citlivé na jediný foton a díky vyšší citlivosti systému mohou poskytovat hustá mračna bodů z vyšších letových výšek. Typické pracovní vlnové délky systémů ALS jsou 532 (zelená), 1064 (téměř infračervená) a 1550 nm (krátkovlnná infračervená). Hustota bodů a přesnost závisí mj. na výšce letu. Kromě toho přesnost závisí na přesnosti měření dosahu v kombinaci s přesností měření polohy (Jia et al., 2021).



Obrázek 4 Snímání pomocí lidarů (Bob McGaughey, 2018).



## 3.2 Geografický Informační Systém

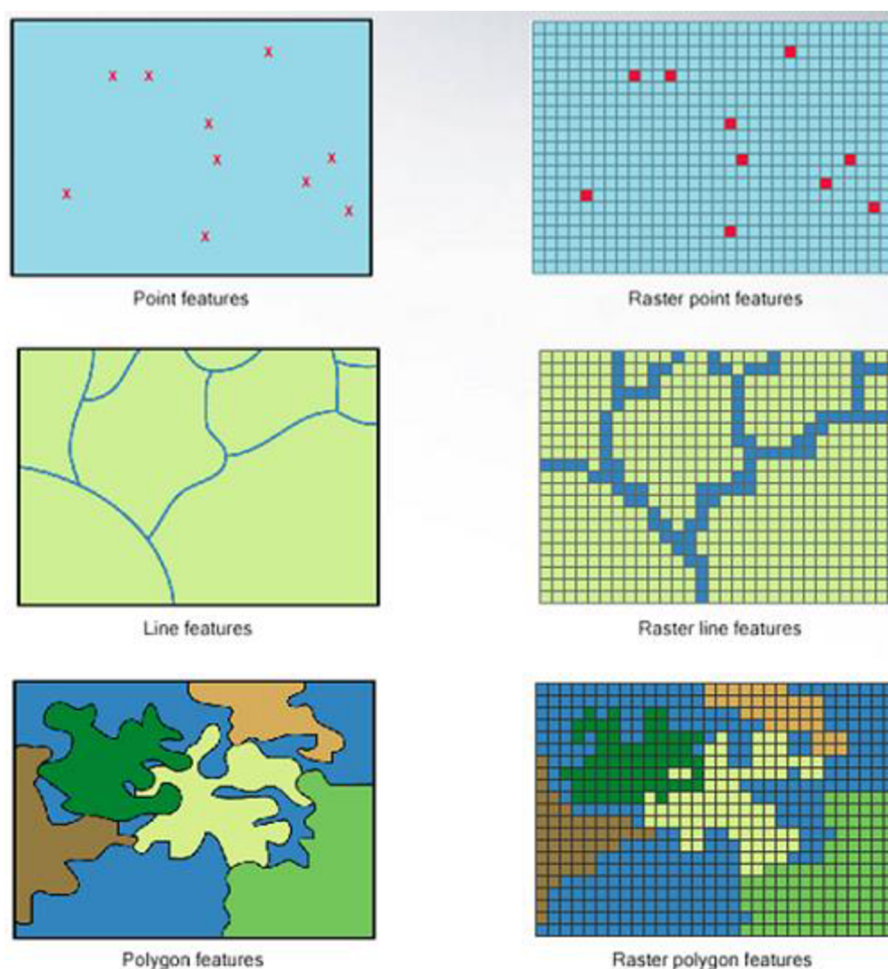
Geografický informační systém, zkráceně GIS, je počítačový systém (hardware a software) pro snímání, ukládání, kontrolu, vyhodnocování a zobrazování dat týkajících se polohy na zemském povrchu. Díky propojení zdánlivě nesouvisejících dat může GIS pomoci jednotlivcům a organizacím lépe pochopit prostorové vzorce a vztahy (Rapant, 2002).

Historie GIS sahá do 60. let 20. století, kdy Kanadčan Roger Tomlinson začal vyvíjet systém pro inventarizaci využití půdy a přírodních zdrojů (GIS WORLD, 1996). V 80. letech se objevily první komerční GIS software, mezi nimiž vyniká ARC/INFO od společnosti ESRI, uvedený na trh v roce 1981 (ESRI, 2022; Wieczorek & Delmerico, 2009). V 90. letech GIS následoval trend osobních počítačů s vydáním softwaru pro operační systémy Windows od firmy Microsoft. V té době také došlo ke zlepšení dostupnosti základních geografických nástrojů. To vedlo k rozšíření využití GIS v obchodní demografii, mapování tras, analýzách zdraví a dalších oblastech. Nové tisíciletí přineslo dynamickou éru distribuovaných aplikací GIS, zjednodušující vyhledávání tras a mapování míst převážně na internetu. I přes rozšíření těchto aplikací zůstávají sofistikovanější prostorové a statistické analytické aspekty GIS ve vývoji, spolu s geografickou informační vědou zkoumající dopady a další rozvoj možností GIS (Moon, 2012; Wieczorek & Delmerico, 2009).

GIS využívá geografickou polohu ve formě zeměpisné šířky a délky, adresy nebo směrovacího čísla. Tím umožňuje porovnání a konfrontaci různých typů dat, což poskytuje široké spektrum využití v různých oblastech. V oblasti životního prostředí slouží k inventarizaci přírodních zdrojů, modelování přírodních procesů a mapování povodňových scénářů. V archeologii zdokonaluje dokumentaci nálezů a lokalizaci archeologických artefaktů. V maloobchodě pomáhá při výběru optimálních míst pro supermarkety na základě demografických a socioekonomických dat. V oblasti inženýrských sítí je klíčový pro správu dat o sítích a modelování reakcí na změny poptávky. Státní správa využívá GIS pro územní plánování, evidenci nemovitostí a správu majetku. V oblasti péče o zdraví umožňuje studie zdravotního stavu, vyhledávání rizikových oblastí a sledování epidemií. V dopravě zajišťuje plánování a údržbu dopravní infrastruktury. V oblasti financí slouží k hledání vhodných míst pro nové pobočky a identifikaci oblastí s pojistným rizikem. Provozovatelé telekomunikačních sítí využívají GIS pro plánování přenosových sítí. V oblasti správy zdrojů integruje data o přírodních zdrojích. V územním plánování tvoří mapy zón a plány města. Správa daní využívá GIS ke zpracování digitálních katastrálních map. Vojenské operace podporuje poskytováním digitálních map a sledováním polohy jednotek pro letecké simulátory, navigační systémy a plánování akcí. Zjednodušeně řečeno, GIS umožňuje porovnávat polohy prvků, zkoumat vzájemné vztahy a provádět různé analýzy (Rapant, 2002).

Aplikace GIS zahrnují jak hardwarové, tak i softwarové systémy. Tyto aplikace mohou obsahovat kartografická data, fotografická data, digitální informace nebo tabulková data. Kartografická data jsou předem vytvořené mapy s údaji o poloze řek, silnic, kopců a údolí. Mezi ně patří i informace z průzkumů a mapových záznamů, které lze přímo začlenit do GIS. Fotografická interpretace je klíčovou složkou GIS. Interpretace fotografií zahrnuje analýzu leteckých snímků a hodnocení prvků na nich viditelných. Do GIS lze také zahrnout digitální data, například údaje o využití půdy získané ze satelitů, které ukazují polohy farem, měst a lesů. Dálkový průzkum Země dodává další nástroje, jako jsou snímky a data získaná ze satelitů, balónů a dalších bezpilotních systémů. GIS může též zahrnovat tabulková data, obsahující

demografické informace o obyvatelstvu, zahrnující věk, příjem, etnickou příslušnost a preference při nakupování. Tato technologie umožňuje propojení všech těchto rozmanitých informací na jediné mapě, využívajíc polohu jako klíčový prvek ke spojení zdánlivě nesouvisejících údajů. Sběr dat, zahrnující vkládání informací do GIS, je klíčovou součástí procesu. Data, která jsou již v digitálním formátu, například tabulky a satelitní snímky, lze snadno integrovat do GIS. Dva hlavní typy souborových formátů v GIS jsou rastry a vektory. Rastrové formáty (Obrázek 5) využívají mřížky buněk nebo pixelů, což je užitečné pro ukládání rozmanitých dat GIS, jako jsou výškové informace nebo satelitní snímky. Na druhou stranu, vektorové formáty (Obrázek 5) používají polygony, tvořené body (uzly) a čáry, což se hodí pro ukládání dat s pevnými hranicemi, jako jsou například městské obvody a ulice (Rapant, 2002).



Obrázek 5 Porovnání rastrů a vektorů (Humboldt State University, 2018).

### 3.2.1 Český úřad zeměměřičský a katastrální

Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) je centrálním orgánem státní správy, vytvořeným zákonem č. 359/1992 Sb., o zeměměřických a katastrálních orgánech. Tento právní předpis rovněž stanovuje rozsah jeho působnosti. Sídlo ČÚZK se nachází v Praze, a jeho řízení zajišťuje předseda, kterého jmenuje a odvolává vláda České republiky. Úřad disponuje vlastním rozpočtem a podléhá přímo vládě, kde je zastoupen ministrem zemědělství.

Hlavním úkolem ČÚZK a jím řízených orgánů je správa evidence nemovitostí a příslušných věcných práv v rámci Katastru nemovitostí České republiky. Tato práce zahrnuje také zeměměřické činnosti ve veřejném zájmu. ČÚZK hraje klíčovou roli v udržování a aktualizaci informací o nemovitostech, což je klíčové pro transparentní a efektivní správu veřejného majetku (Zákon č. 359/1992 Sb., o Zeměměřických a Katastrálních Orgánech, 1992).

### **3.2.2 Základní báze geografických dat**

Zkráceně také ZABAGED je digitální vektorový model obsahující území celé České republiky a je spravován Zeměměřickým úřadem. Tento model je součástí informačního systému zeměměřičství dle zákona číslo 200/1994 Sb. a jeho obsah a předmět správy určuje vyhláška číslo 31/1995 Sb. Tento model slouží jako důležitý zdroj informací pro různé účely, včetně tvorby topografických map, vojenských map podle standardů NATO a datové struktury INSPIRE. ZABAGED® obsahuje informace o různých geografických objektech, včetně sídel, komunikací, vodních toků, vegetace a terénního reliéfu.

Tvorba báze geografických dat započala v roce 1995, avšak byla dokončena v roce 2004 a od té doby je pravidelně aktualizována. V posledních letech byla geometricky zpřesňována a rozšiřována, čímž se zvyšuje její přesnost a užitečnost. Data ZABAGED® jsou také využívána v rámci informačních systémů veřejné správy a jsou od 1.7.2023 poskytována veřejnosti jako otevřená data na základě licence Creative Commons CC BY 4.0. (Český úřad zeměměřický a katastrální, 2023).

### **3.2.3 Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy**

Ve zkratce nazýván IPR, je organizace zřízená magistrátem Hlavního města Prahy za účelem plánování a rozvoje hlavního města. Tato organizace funguje ve věci zastupování hlavního města v územních řízeních a vytváří klíčové městské dokumenty, jako je například Metropolitní plán. Dále sbírá různá data o městě, která poté následně využívá, či předává jednotlivým městským částem. Tato data jsou aktivně využívána odbory Magistrátu hl. m. Prahy, městskými částmi a organizacemi. Na základě těchto dat pak zpracovává a vytváří různé studie, plány a analýzy, které souvisejí s městem a jeho rozvojem. IPR také plní důležitou roli v administraci Geoportálu hl. m. Prahy. Tato funkce zahrnuje vytváření map a mapových aplikací pro odborníky i širokou veřejnost a zároveň poskytování dat v rámci propojených projektů. Klíčovými projekty jsou Digitální technická mapa Prahy a digitální 3D model Prahy. Institut se zaměřuje na poskytování zásadních dat, zejména Územně analytických podkladů hl. m. Prahy, které slouží pro účely územního plánování a dalšího rozvoje území. IPR přistupuje k poskytování dat v režimu Opendata, což zahrnuje i širokou škálu analýz a aplikací, které jsou přehledně k dispozici na jejich webové stránce, rozdělené podle témat (Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, 2023).

### **3.2.4 Copernicus**

Program Copernicus představuje ambiciózní evropský projekt sledování Země z vesmíru prostřednictvím sítě in situ měření. Jeho cílem je poskytovat komplexní informace, které jsou volně dostupné pro veřejnost a slouží k vylepšení kvality života obyvatel Evropy. Program je koordinován Evropskou komisí, která spolupracuje s různými subjekty jako jsou: Evropská vesmírná agentura (ESA), Evropská

organizace pro využívání meteorologických družic (EUMETSAT) a Evropské centrum pro střednědobé předpovědi počasí (ECMWF). Copernicus využívá satelity a in situ senzory ke shromažďování dat o naší planetě.

Jádrem programu jsou družice Sentinel. Družice Sentinel-1A, vypuštěná v roce 2014, označuje začátek plánu na umístění téměř dvaceti dalších družic na oběžnou dráhu do roku 2030. Tyto družice a in situ měřicí systémy poskytují rozmanitá data o atmosféře, mořích, klimatu a dalších aspektech prostředí.

Služby Copernicus jsou rozděleny do šesti tematických skupin, které zahrnují: monitorování atmosféry, mořského prostředí, území, změny klimatu, bezpečnost a krizové řízení. Informace získané z těchto družic mají široké uplatnění od politických rozhodnutí týkajících se životního prostředí až po využití v podnikání a vědě. Pomůžou tak například v oblasti plánování měst, zemědělství, lesnictví, zdravotnictví a infrastruktury.

Kromě přínosu pro veřejnost a politiku má program Copernicus i ekonomický a inovační vliv. Studie provedené Evropskou komisí odhalují potenciální ekonomický efekt a odhadují návratnost investic do programu. Tento projekt otevírá nové obchodní příležitosti a může přinést růst a inovace v oblastech založených na využívání dat.

Výsledky programu Copernicus mají vliv na tvůrce politik a veřejné orgány, zejména v reakci na mimořádné události jako jsou přírodní katastrofy či humanitární krize. Tato iniciativa je tedy klíčová pro plánování a řešení mnoha výzev, s nimiž se současná společnost potýká. Celkově lze říci, že Copernicus nejen že poskytuje cenné informace pro lepší porozumění naší planetě, ale také představuje významný prvek pro ekonomický rozvoj, významná politická rozhodnutí a inovace v Evropě a mimo ni (Evropská komise, 2015).

## Sentinel

Sentinel je skupina družic, která je speciálně určena pro operační potřeby programu Copernicus. Každá mise Sentinel využívá dvojici satelitů, aby splnila požadavky na opakovaná pozorování a pokrytí, čímž poskytuje spolehlivá data pro služby Copernicus. Tyto družice jsou vybaveny širokým spektrem technologií, včetně radarových a multispektrálních obrazových přístrojů pro sledování pevniny, oceánů a atmosféry (European Space Agency, 2023).

Mezi satelity Sentinel od ESA patří:

- Sentinel-1, což je radarová mise pro pozorování pevniny a oceánů ve dne, v noci, v jakémkoliv počasí.
- Sentinel-2, je multispektrální obrazovou misí zaměřenou na sledování pevniny a poskytuje snímky vegetace, půdy, vodních ploch a pobřežních oblastí.
- Sentinel-3, je mise s více nástroji pro měření topografie mořské hladiny, měření mořské a pevninské teploty, barvy oceánu a pevniny.
- Sentinel-4, je zaměřený na sledování atmosféry, a je součástí družice Meteosat Third Generation-Sounder (MTG-S) v geostacionární oběžné dráze.
- Sentinel-5, sleduje atmosféru z polární oběžné dráhy na palubě družice MetOp Second Generation.
- Sentinel-5P, je mise vyvíjená k minimalizaci datových mezer mezi satelitem Envisat a nástrojem Sciamachy.
- Sentinel-6, nese radarový altimetr pro měření globální výšky mořské hladiny, využívaný především pro operační oceánografii a výzkum klimatu.

## **Copernicus – Městské a regionální plánování**

S rostoucím počtem obyvatel na Zemi roste i počet, velikost městských aglomerací, měst, velkoměst, obcí či velkých metropolitních oblastí. Udržitelné řízení rozšiřování a rozrůstání městských oblastí, plánování jejich růstu, propojení a posílení jejich odolnosti vůči přírodním hrozbám jsou činnosti, které mohou přispět k rozvoji měst a obcí, a které mohou významně těžit z řady služeb a dat nabízených programem Copernicus (European Union, 2015; Evropská komise, 2015). Data z programu Copernicus mohou být využita v těchto případech:

### **1) Rozprostírání městských oblastí:**

Téměř tři čtvrtiny obyvatel Evropy žije ve městech, které vytvářejí většinu bohatství Evropy. Avšak města silně závisí na okolních zdrojích z venkova. Tyto zdroje jsou: energie, voda a potraviny. Rozšiřování měst do okolních oblastí klade nároky na urbanisty, kteří musí nalézt rovnováhu mezi výstavbou infrastruktury a ochranou přírodního prostředí (European Union, 2015).

### **2) Mapování geologických rizik pro bezpečné plánování a rozvoj:**

Povrch planety Země je živý a pohybuje se v rozmezí milimetrů ročně. Sesedání půdy nebo její zvedání může být způsobeno celou řadou geologických procesů či lidskou činností, jako je například těžba, nebo ražba tunelů. Tyto drobné deformace mohou ohrozit infrastrukturu a budovy. Program Copernicus prostřednictvím družic Sentinel-1 podporuje monitorování geologických rizik, což umožňuje poskytovat informace pro výstavbu a plánování rekonstrukcí (European Union, 2015).

### **3) Městské tepelné ostrovy:**

S očekávanou změnou klimatu se zvýší počet a intenzita tropických dní. Velké městské oblasti jsou obzvláště ohroženy zvyšujícími se teplotami v důsledku tzv. "městských tepelných ostrovů", kdy města účinně zadržují teplo v betonových strukturách a površích. Data z družic Copernicus mohou pomoci monitorovat tento jev a zhodnotit účinnost protipatření, jako je vytváření zelených ploch či zlepšení odrazivosti střech a chodníků (European Union, 2015).

## **3.3 Výškové mapy budov**

V současné době žije  $\frac{3}{4}$  lidstva ve městech nebo v obcích (Lewis Dijkstra et al., 2020) a průzkumy ukazují, že tento trend, nazývaný urbanizace, bude i nadále pokračovat (Frantz et al., 2021). I když města zaujímají pouze malou část zemského povrchu, jejich dopad je dalekosáhlý, neboť jsou zodpovědná za až 80 % celkové spotřeby energie a 75 % emisí oxidu uhličitého (Spojené národy, 2023). Pro porozumění režimům urbanistických procesů je klíčové znát výšky budov (Zhu et al., 2019), a vertikální struktura osídlení byla identifikována jako klíčový parametr pro systematickou organizaci multidimenzionální urbanistické formy (Wentz et al., 2018). Mnoho veličin se škáluje lineárně s výškou budovy. Například výška budovy nebo související informace, jako je podlažní plocha, byly prokázány jako důležitý ukazatel pro odhad spotřeby energie (Resch et al., 2016), alokaci materiálních zásob (Tanikawa et al., 2015), složení vzduchu (Kakooei & Baleghi, 2023), emisí skleníkových plynů (Borck, 2016), lidského blahobytu, efektů tepelných ostrovů

ve městech (Perini & Magliocco, 2014), nebo distribuce populace (Alahmadi et al., 2013). Posledně zmíněný faktor je také stále relevantnější, protože znalost o distribuci a koncentraci populace může pomoci lépe porozumět riziku šíření infekčních nemocí (T. Wu et al., 2017).

Výška budovy může být odvozena různými geoinformačními nebo vzdáleně sledovanými přístupy. Nicméně je to parametr, který je obtížné přesně kvantifikovat v pravidelných intervalech pro větší oblasti, jako jsou celé země (Frantz et al., 2021). Důležitým parametrem pro přesné určení výšky budov je rozlišení snímků. Práce E. Keanyho a jeho týmu prokázala, že například u satelitních snímků o rozlišení 10 m není možné dosáhnout přesné skutečné výšky konkrétních budov, což nemusí vyhovovat některým aplikacím (Keany et al., 2022).

### **3.3.1 Metody extrakce budov – výšky budov**

Kontury budov a nedávno i třírozměrné modely budov s různou úrovní podrobnosti jsou v současné době běžnou součástí topografických databází na lokální i národní úrovni. Hlavním důvodem je jejich široké spektrum využití, například v územním plánování, v oblasti nemovitostí, telekomunikací či leteckém plánování. Vývoj metod pro automatizovanou extrakci budov z leteckého laserového skenování nebo ze snímků s vysokým rozlišením se tak v posledních dvou desetiletích stal běžným tématem výzkumu v oblasti fotogrammetrie a dálkového průzkumu Země (Erener, 2013; Haala & Brenner, 1997; Kaartinen & Hyyppä, 2006; Lee et al., 2008; Potůčková & Hofman, 2016; Rottensteiner et al., 2014; Xiaoying & Davis, 2005; B. Yang et al., 2013; Yari et al., 2014).

#### **Detekce budov z dat laserového leteckého skenování**

Proces zahrnuje použití a vygenerování hrubého digitálního modelu povrchu (DMP), který slouží k identifikaci staveb či rostlinného pokryvu a digitálního modelu reliéfu (DMR), jenž poskytuje údaje o výšce terénu v těsné blízkosti budovy. Kombinací výškových rozdílů těchto modelů získáme přesnou a výslednou výšku budov. Výhodou této metody jsou přesné výsledky. Mezi nevýhody patří, že ne všechny země/města mají své území touto metodou zmapované. (Misra et al., 2018; Rutzinger et al., 2009; Y. Wu et al., 2019).

#### **Detekce budov ze snímků z radaru se syntetickou aparaturou**

Tato metoda využívá data z radarových snímků se syntetickou aperturou pro získání výškových informací o budovách v městských oblastech. Na rozdíl od detekce ze snímků s vysokým rozlišením, toto snímkování není ovlivněno počasím a denní dobou. Avšak, kvůli náročnému zpracování dat způsobenému geometrií pohledu a používání jednopásmových radarových senzorů, jsou městské struktury na snímcích SAR sice dobře viditelné, avšak obtížné od sebe odlišitelné.

Tým vedený Yaem Sunem vyvinul regresní přístup, který vyžaduje pouze otisky budov a jednu hodnotu výšky pro každou budovu, což umožňuje integraci více zdrojů výšek pro širší anotační údaje. Metoda, založená na otiscích budov z dat GIS, efektivně využívá vztah mezi polohou otisků a ohraničujícími boxy. Navrhovaná síť, ověřená na čtyřech městských datasetech, výrazně snižuje výpočetní náklady a zachovává přesnost výšky jednotlivých budov. Přístup prokázal odolnost vůči nepřesným datům GIS, což ukazuje na jeho potenciál pro regionální nebo globální aplikace. Průměrná absolutní výšková chyba na čtyřech testovaných lokalitách se pohybuje od 4,3 m do 5,7 m (Sun et al., 2022).

Další metodou využívající snímky SAR je práce B. Caie a kolektivu. Jejich nová technika mapování výšek budov nazvaná BHE-NET spojuje data z družice Sentinel-1 (SAR) a Sentinel-2 (snímky s vysokým rozlišením) s využitím duálního enkodéru a pokročilého MSK modulu. Výsledky studie demonstrují schopnost modelu přesně mapovat výšky budov a zároveň eliminovat nadhodnocení výšek budov v hustě zastavěných oblastech (Cai et al., 2023).

### **Detekce výšky z fotografií budov a z jejich vržených stínů**

Pro úspěch této metody je potřeba zohlednit složitost a spektrální heterogenitu, které se často vyskytuje v městské zástavbě. Hlavní je správně zpracovat a přesně detekovat a izolovat stíny. Stíny obvykle vznikají, když objekty zcela nebo částečně zakrývají přímé světlo ze zdroje osvětlení. V literatuře věnované dálkovému průzkumu Země a telekomunikacím se objevují různé metody pro detekci stínů pomocí družicových snímků. Často se jedná o rozdělení do dvou kategorií, tzv. metody založené na vlastnostech, které používají spektrální a prostorové rysy, a na metody založené na modelu, kde se využívají další metadata nebo informace o scéně, jako jsou lokalizační údaje snímačů, směr světelného zdroje a geometrie objektů, jako apriori znalosti (Adeline et al., 2013; Arévalo et al., 2008; Chung et al., 2009; Dare, 2005; Li et al., 2005; Liasis & Stavrou, 2016; Lorenzi et al., 2012; Nagao et al., 1979; Shao et al., 2011; Sirmacek & Unsalan, 2011; Tsai, 2006; Ye et al., 2012).

### **3.3.2 Urbanismus**

Urbanismus představuje obor, jehož hlavním zaměřením je prozkoumat a organizovat vytvořené prostředí s cílem rozvíjet sídelní struktury (města, vesnice) jako společensky funkční a udržitelné celky. Urbanistické plánování se věnuje návrhům na uspořádání sídel, jejich částí a přilehlých krajinných úseků, a navazuje tak na oblast architektury, případně krajinné architektury. V oblasti střední, jižní a východní Evropy je termín urbanismus obvykle spojován i s plánováním sídel, což tvoří součást územního plánování. Od 20. století se urbanismus stal také důležitou součástí oboru urbanistické sociologie, který se zabývá studiem městského života a kultury (Karel Maier, 2000).

### **3.3.3 Územní plánování**

V knize Urbanistická typologie - Úvod do urbanismu a základní typologie sídel autorky Šilhánkové můžeme nalézt citaci definice územního plánování z prezentace Martina Tunky, kde udává, že: „*Územní plánování je trvalá, soustavná a komplexní činnost orgánů územního plánování a stavebních úřadů, zaměřená na naplňování cílů a úkolů územního plánování, za použití jeho základních nástrojů, kterými jsou územně plánovací podklady, územně plánovací dokumentace a územní rozhodnutí*“ (Martin Tunka, 2005; Šilhánková, 2021).

Dále pak autorka uvádí, že územní plánování bylo definováno v § 1 ve starém stavebním zákoně číslo 50/1976 Sb., v platném znění: „*Územní plánování soustavně a komplexně řeší funkční využití území, stanoví zásady jeho organizace a věcně a časově koordinuje výstavbu a jiné činnosti ovlivňující rozvoj území. Územní plánování vytváří předpoklady k zabezpečení trvalého souladu všech přírodních, civilizačních a kulturních hodnot v území, zejména se zřetelem na péči o životní prostředí a ochranu jeho hlavních složek – půdy, vody a ovzduší*“ (Šilhánková, 2021; Zákon č. 50/1976 Sb. Zákon o Územním Plánování a Stavebním Řádu (Stavební Zákon), 1976).

### 3.3.4 Městské tepelné ostrovy

Nejzřetelnější a nejlépe zdokumentovaný příklad neúmyslné antropogenní změny klimatu ve městech, je umělé navýšení teploty, známé také jako městský tepelný ostrov, v angličtině uváděno jako Urban Heat Island neboli UHI (Oke, 1973).

Oke uvádí několik příčin, které způsobují tento fenomén. Například jako hlavní příčinu nočního oteplování uvádí přítomnost relativně teplých budov, které blokují pohled na relativně chladnou noční oblohu. Mezi další příčiny řadí změny tepelných vlastností povrchových materiálů a nedostatek evapotranspirace v městských oblastech. Materiály běžně používané ve městech, jako jsou beton a asfalt, mají výrazně odlišné tepelné objemové vlastnosti (včetně tepelné kapacity a tepelné vodivosti) a povrchové radiační vlastnosti (albedo a emisivita) než okolní venkovské oblasti. To zapříčiňuje změnu energetické bilance městské oblasti, která často vede k vyšším teplotám než v okolních venkovských oblastech. Dalším faktorem, který ovlivňuje energetickou bilanci je také nedostatek vegetace v městských oblastech, který brání ochlazování evapotranspirací. Mezi další faktory, které přispívají k městským tepelným ostrovům, jsou geometrické jevy, které je generují. Vysoké budovy v mnoha městských oblastech poskytují více ploch pro odrazení a absorpci slunečního světla, což zvyšuje účinnost ohřevu městských oblastí. Tento jev je označován jako "kaňonový efekt". Další příčinou je omezení proudění vzduchu, které rovněž brání ochlazování konvekcí. K městskému tepelnému ostrovu také přispívá odpadní teplo z klimatizací, průmyslu a dalších zdrojů. Zvýšená úroveň znečištění v městských oblastech rovněž může způsobit nárůst městského tepelného ostrova, protože mnoho forem znečištění mění radiační vlastnosti atmosféry (Oke, 1982).

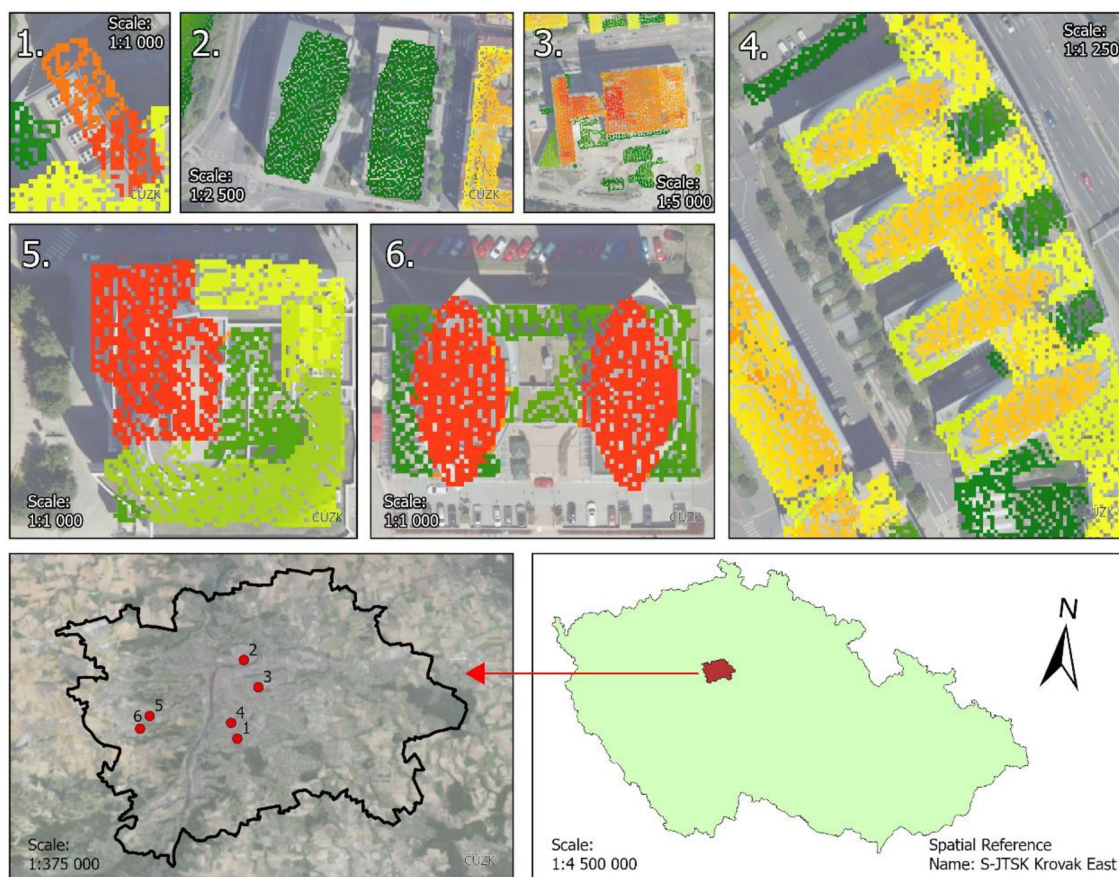


## 4. Charakteristika studijního území

V rámci zpracování závěrečné práce byly vybrány tři lokality pro validaci a porovnávání dat. Konkrétně byla vybrána tato tři města: Praha, Brno a Plzeň. Z každého města se následně povedlo nahlédnout do projektové dokumentace několika budov pro zjištění reálné výšky. V této kapitole jsou stručně představena tato vybraná města. Nejdříve jsou zde předneseny základní údaje o městech, pak jejich stručná historie a následně jsou zde představeny budovy, u kterých bylo možné nahlédnout do projektové dokumentace.

### 4.1 Hlavní Město Praha

Praha (Obrázek 6) je největším, nejlidnatějším a hlavním městem České republiky. Skládá se z 22 správních obvodů a 57 městských částí. Rozloha města činí 496 km<sup>2</sup> a žije zde 1 262 000 obyvatel. Městem protéká řeka Vltava a průměrná nadmořská výška Prahy činí 235 metrů nad mořem. Jakožto hlavní město, je Praha sídlem velkého množství státních institucí, různých organizací a firem. Město je sídlem prezidenta republiky, parlamentu, vlády, ústředních státních orgánů a také jednoho z vrcholných soudů (Český statistický úřad, 2023; Magistrát hlavního města Prahy, 2023b).



Obrázek 6 Město Praha vyznačené na mapě České republiky s vybranými budovami (1. Budějovická alej, 2. Art Gen, 3. Ústřední telekomunikační budova, 4. Generali-ČP Na Pankráci 112, 5. Dům Sluneční náměstí, 6. Prague Towers).

Vznik města Prahy – pražské aglomerace sahá až do 8. století, kdy v oblasti dnešní Malé Strany a Pražského hradu, tedy na levém břehu Vltavy, byly nalezeny archeologické nálezy z této doby dokazující existenci rozsáhlého opevnění. V první polovině 10. století pak vzniklo další opevnění, tentokrát na pravém břehu Vltavy, dnes známé jako Vyšehrad. Vyšehrad se následně v 11. a 12. století stal sídlem českých knížat.

Dalším významným momentem v historii města byl vznik Starého Města, které se začalo postupně rozvíjet na pravém břehu Vltavy během 2. poloviny 11. století. Týnský dvůr a Juditin most byl postaven ve 12. století, a ve 30. letech 13. století byly postaveny hradby Starého Města. Nové Město vzniklo v roce 1348 a rychle rostlo, a tak absorbovalo některé přilehlé osady a téměř zdvojnásobilo rozlohu Prahy

Mezi 11.-15. stoletím se poprvé objevují zmínky o vesnicích, které leží na dnešním území Prahy, ale tehdy byly od města dosti vzdálené. V této době vzniká sídelní základ dnešního velkoměsta, který je stále patrný na jeho okrajích. V 19. století vznikají už jen dvě obce na okraji Prahy (Klánovice a Háje). Dále také v těsném sousedství Prahy, na bývalém území polí a vinic vznikají nová předměstí, jež se později stávají městy. Jedná se konkrétně o Karlín, Vinohrady a Žižkov. Ostatní předměstí, například Smíchov, vznikla na místech starší zástavby. V období 20. století vznikla dvě nová katastrální území. A to Černý Most a Kamýk, jež vznikly vyčleněním od existujících obcí.

V průběhu let na území Prahy existovalo mnoho dalších osad a vesnic, které byly postupně pohlceny rozrůstající se Prahou nebo zanikly v průběhu staletí, zejména během třicetileté války. Některé z těchto osad a vesnic se zachovalo pouze v podobě místních názvosloví, či skromných pozůstatků zástavby. Během 19. století byla Praha rozšířena o některá předměstí, která postupně vyrostla do velikosti měst. Praha, tak jak ji známe dnes, vznikla roku 1920. Takzvaná Velká Praha vznikla spojením 38 obcí. Po druhé světové válce začala v Praze velká výstavba panelových sídlišť, což byl první krok k expanzi města. Dnes je Praha velkým a rozmanitým městem s bohatou historií a různorodou zástavbou, která odráží různé etapy jejího vývoje a rozšíření (Magistrát hlavního města Prahy, 2023a).

#### **4.1.1 Art Gen Office Gallery**

Je dvojice kancelářsko-komerčních budov v Pražských Holešovicích. Stavba budov probíhala v letech 2012-2015. Investorem stavby byla skupina PPF Real Estate. Cena stavby se odhaduje na 700-800 milionu Kč (Stavbaweb.cz & Česká tisková kancelář, 2012). Celková plocha kancelářských prostor činí 23000 m<sup>2</sup> a více jak 2500 m<sup>2</sup> tvoří plocha komerčních prostor (PPF Real Estate s.r.o., 2014).

Budova Art (Obrázek 7) je desetipodlažní budova v ulici Argentinská. Nabízí 13 509 m<sup>2</sup> kancelářských prostor a 207 parkovacích míst. Výška celé budovy dle projektové dokumentace činí 38,3 m a výška stropů činí 3 m.

Budova Gen má (Obrázek 7) oproti první budově pouze sedm nadzemních podlaží, 190 parkovacích míst a 9376 m<sup>2</sup> kancelářských prostor. Budova dosahuje 27,6 m výšky v nejvyšším bodě a světlá výška pater činí 2,75 m (PPF Real Estate s.r.o., 2014; Syner s.r.o., 2012).



Obrázek 7 Pohled na budovu Art (vlevo) a Gen (vpravo) (PPF Real Estate s.r.o., 2014).

#### 4.1.2 Budějovická alej

Budějovická alej (Obrázek 8) je obchodně administrativní budova nacházející se v městské části Praha 4 u stanice metra Budějovická. Realizace probíhala v letech 2003 až 2005. Budova je tvořena dvěma celky, horizontálním 5podlažním celkem a vertikálním 10podlažním celkem. Dle projektové dokumentace je nejvyšší absolutní výška budovy 45,1 m a celková hrubá podlažní plocha budovy činí 13 960 m<sup>2</sup> (Budějovická Alej s.r.o., 2003; Loxia a.s., 2003).



Obrázek 8 Pohled na budovu Budějovická alej (Budějovická Alej s.r.o., 2003).

#### 4.1.3 Budova Generali Česká Pojišťovna – Na Pankráci 123

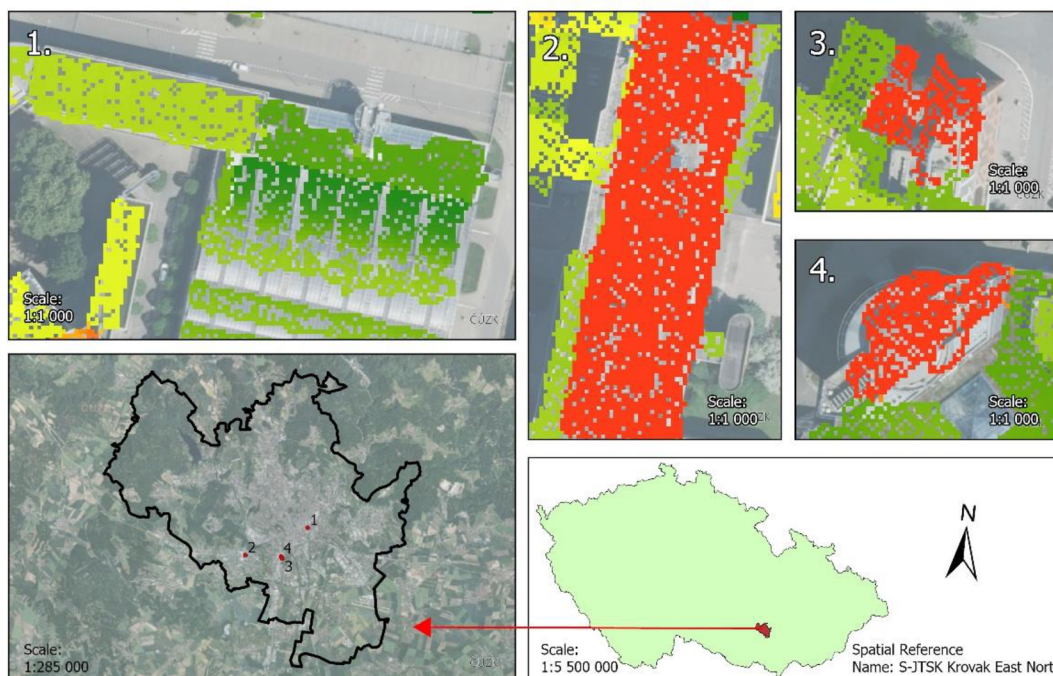
Je administrativní/kancelářská budova, ve které sídlí Generali Česká Pojišťovna. Objekt (Obrázek 9) se nachází vedle Magistrály v Pražských Nuslích a stavba probíhala v letech 2007 a 2008. Budova je rozdělena do 4 bloků, má 7 nadzemních podlaží a výška budovy je dle projektové dokumentace 25 m (Building STATICS s.r.o., 2008; Metrostav a.s., 2007).



Obrázek 9 Záběr na budovu Generali České Pojišťovny – Na Pankráci 123 (Building STATICS s.r.o., 2008).

## 4.2 Brno

Brno je statutární město nacházející se na jihovýchodě České republiky (Obrázek 10), v Jihomoravském kraji, jímž protékají a kde se také zároveň stékají řeky Svitava a Svratka. Rozloha města je 230,18 km<sup>2</sup>. Počet obyvatel činí 396 101. Jedná se o druhé největší město na území České republiky (Český statistický úřad, 2023).



Obrázek 10 Lokace města Brna vyznačená na mapě České republiky společně s vybranými budovami (1. Objekt E a F1 v areálu Plynárenská 1, 2. Pavilon L nemocnice Bohunice, 3. AZ Tower, 4. M-Palác).

Území dnešního Brna obýval člověk již od pravěku. V době kolem roku 1000 vzniká osada na území dnešního Starého Brna. Ve 13. století udělil tehdejší král Václav I. městu privilegium, díky, kterému město postavilo hradby, brány a začalo všeobecně prosperovat. Na rozkvětu města se také projevilo udělené právo výročních trhů, které mělo za následek vzrůst mezinárodního obchodu. V období husitských válek bylo město loajální tehdejšímu panovníkovi Zikmundovi I. a v letech 1428 až 1430 bylo obléháno husity. Brno bylo také místem prvních diplomatických jednání, které vedly k basilejským kompaktátům.

V průběhu 15. století se město zapojilo do občanských válek a utrpělo stagnaci z hlediska počtu obyvatel a obchodu. V 16. století se ve městě, hlavně v městské radě, rozšířil protestantismus, a tak rekatolizační snahy přivedly do města katolické řady, jakými byli jezuité a kapucíni. Brno, mimo jiné, hrálo důležitou roli během třicetileté války. Tehdy se jako jediné město na Moravě ubránilo dlouhým švédským obléháním, a tím umožnilo rakouské říši zformovat nové armády, které pak zastavily švédský tlak. Během 18. století se město stalo hlavním městem Moravy a došlo tak k rozvoji v oblasti průmyslu a obchodu.

V 19. století byly zbourány středověké hradby a město se začalo rozrůstat. Po první světové válce město ztratilo německou převahu v městské samosprávě a stalo se hlavním městem Moravskoslezské země a druhým městem po Praze v rámci počtu obyvatel a důležitosti. Druhá světová válka způsobila Brnu značné škody, a po nacistické okupaci následoval odsun německého obyvatelstva. Během komunistické éry Brno čelilo hospodářské a politické stagnaci, a jeho důsledky stále poznamenávají město dodnes (Magistrát města Brna, 2011).

#### 4.2.1 Objekt E – Plynárenská 1

Tato budova se nachází v areálu Jihomoravské plynárenské na území bývalého brownfieldu, a byla postavena v roce 2002. Objekt E (Obrázek 11) byl navržen architektonickým studiem A PLUS, a slouží jako vstupní prvek ze silnice Plynárenská. Má čtyři nadzemní patra, která dohromady zabírají plochu 3 500 m<sup>2</sup>. Výška střechy budovy činí dle dokumentace 14,35 metrů (A PLUS a.s., 2002; Lenka Kudělková, 2018).



Obrázek 11 Foto nižší východní části objektu E a objektu F1 (nalevo od schodiště) (Odbor územního plánování a rozvoje Magistrátu města Brna, 2004).

#### 4.2.2 Objekt F1 – Plynárenská 1

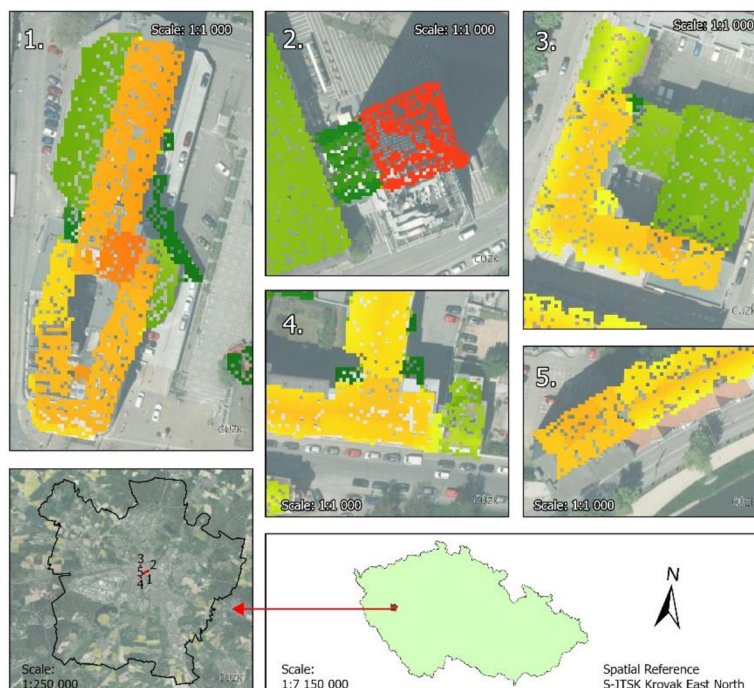
Tato budova (Obrázek 12) v areálu Jihomoravské plynárenské byla postavena jako jedna z posledních, a to v roce 2003. Budova zahrnuje garáže pro nákladní automobily, administrativní a provozní prostory. Fasády objektu kombinují sklo, hliníkové prvky a keramické desky. Konstrukce využívá ocelový skelet a železobetonové pásy. Objekt je také spojen krytou lávkou s částí E (na obrázku nahoře vlevo). Výška budovy v nejvyšším bodě činí 11,93 metrů (A PLUS a.s., 2002; Karel Tuza & Antonín Uhlíř, 2005; Lenka Kudělková, 2018).



Obrázek 12 Pohled na budovu F1 v Plynárenské ulici, v popředí část objekt E (PSN s.r.o., 2023).

### 4.3 Plzeň

Statutární město Plzeň se nachází v západní části České republiky v Plzeňském kraji (Obrázek 13). Jedná se o metropoli Plzeňského kraje, čtvrté největší město v České republice, jež leží na soutoku řek Radbuzy, Úhlavy, Úslavy a Mže, ze kterých vzniká řeka Berounka. Rozloha města činí 137,67 km<sup>2</sup>, průměrná nadmořská výška je zde 308 metrů nad mořem a počet obyvatel je zde 181 240 (Český statistický úřad, 2023; Martin Pecuch, 2022).



Obrázek 13 Krajské město Plzeň vyznačené na mapě České republiky s vybranými budovami. (1. KB Goethova, 2. Business Center Bohemia, 3. RD Richarda Krofty, 4. Poštovní a telegrafní úřad Plzeň, 5. Nájemní domy Živnostensko-občanského stavebního a bytového družstva Plzeň.

Historie města Plzeň sahá do dob vrcholného středověku, kdy zhruba kolem roku 1295 bylo na příkaz tehdejšího krále Václava II. založeno na soutoku čtyř řek (Radbuza, Mže, Úhlava a Úslava) založeno město Nový Plzeň. Již od svého začátku mělo město velký význam, jelikož svou polohou leželo na křižovatce cest do Řezna a Norimberku. Svoji rozlohou se město tehdy řadilo jakožto třetí největší, hned po Praze a Kutné Hoře. V 16. století působili v Plzni italsí architekti a v letech 1599 až 1600 sloužila Plzeň dokonce jako dočasné sídlo římského císaře a českého krále Rudolfa II. Během českého stavovského povstání, které probíhalo v letech 1618–1620, bylo město obléháno a v roce 1618 dobyto vojsky Petra Arnošta Mansfelda. Konec 17. století je spojen s obdobím baroka v Plzni a s tvůrčím přínosem architekta Jakuba Augustona a sochaře Kristiána Widmana.

Historické jádro města, jehož půdorys v mnohém odpovídá původnímu gotickému uspořádání, bylo v roce 1989 oficiálně vyhlášeno městskou památkovou rezervací. Na začátku 19. století se Plzeň začala rychle proměňovat v důsledku mohutného rozvoje. V roce 1842 byl založen nechvalně známý Měšťanský pivovar a také dodnes fungující strojírenský podnik Škoda. (Martin Pecuch, 2022)

V současné době je město známé pro své pivovarnictví, strojírenství a kulturu. V roce 2015 bylo město vyhlášeno Evropským hlavním městem kultury. Krom toho zde sídlí Západočeská univerzita, Lékařská fakulta Univerzity Karlovy a město je také součástí celosvětového konceptu Smart Cities (Martin Pecuch, 2022).

### 4.3.1 Budova Komerční Banky – Goethova

Je administrativní budova, jež vznikala v letech 1975-1981 na místě bývalého Německého divadla, jakožto krajské ředitelství Státní banky Československé (Obrázek 14). Autory projektu byli Vladimír Belšán a Miloslav Sýkora. V roce 2013 prošla budova komplexní rekonstrukcí za provozu, především se zaměřením na vnější plášť. Modernizace zahrnovala odstranění několika původních prvků a novou úpravu fasády. Nyní budova, jejíž výška činí 26 metrů od úrovně ulice Goethova, slouží jako krajské sídlo Komerční banky (Česká národní banka, 2018; Daniel Metlička, 2021; Robert Wild, 2011).



Obrázek 14 Pohled na budovu Komerční Banky (Renardo la Vulpo, 2015).



## 5. Metodika

V této kapitole je stručně představen hardware, na kterém byly výstupy zpracovány. Dále je představen software, který byl použit pro vytvoření, porovnání a zpracování dat. To je následováno popisem jednotlivých datových sad, jež byly použity. Tato podkapitola je následována detailním popisem postupu tvorby a zpracování dat, ze kterých vzešel vlastní výškový model. Následně je popsán import ostatních výškových modelů, jenž je následován podrobnou analýzou jednotlivých modelů. Nakonec jsou uvedeny veškeré výsledky z metodické části, to vše v chronologickém pořadí:

- Získání dat z geoportálů a projektové dokumentace.
- Import vstupních dat a jejich předzpracování.
- Vytvoření modelů zájmových budov.
- Import validačních modelů a jejich analýza.
- Podrobné vyhodnocení referenčních i validačních modelů.

Jednotlivé výsledky a analýzy byly provedeny v ArcGIS Pro a poté vyexportovány do tabulkového procesoru (Microsoft Excel), kde byly graficky upraveny. Cílem práce bylo vytvoření výškových map vybranými budovami napříč městy v ČR a porovnání dosažených výsledků s existujícími datovými sadami, které jsou reprezentativní pro výškové mapy měst. Cílem bylo ověření konzistence datových sad z různých zdrojů a ověření přesnosti jednotlivých vstupních výškových map.

### 5.1 Hardware

Pro účely zpracování dat byl použit 14“ osobní přenosný počítač značky Lenovo, konkrétně model ThinkPad T14 Gen 3. S 10jádrovým procesorem Intel Core i5-1245U, s grafickým procesorem Intel Iris Xe Graphics G7 80EUs, operační paměti typu DDR4 3200 MHz o velikosti 32 GB a operačním systémem Windows 11 Professional (Lenovo Group Limited, 2022).

### 5.2 Software

Pro zpracování vlastního výškového modelu a datových analýz byl použit počítačový program ArcGIS Pro ve verzi 3.2.2, který je k dispozici všem studentům na Fakultě životního prostředí. Tento software je vyvíjen americkou firmou ESRI. ArcGIS Pro je GIS software, který podporuje vizualizaci dat, pokročilé analýzy a autoritativní údržbu dat ve 2D, 3D a 4D. V tomto programu lze vytvářet interaktivní mapy a grafy zobrazující geografická data, provádět různé geografické analýzy a pracovat s rastrovými a vektorovými daty. Dále je možné vytvářet a sdílet mapové výstupy V rámci produktové řady ArcGIS podporuje ArcGIS Pro sdílení výstupů a projektů napříč platformami ArcGIS Online a ArcGIS Enterprise, a také umožňuje práci na projektech prostřednictvím webového geografického informačního systému (GIS) (ESRI, 2021).

## 5.3 Data

Pro vlastní výškový model budov byly použity modely od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního, konkrétně model Digitálního modelu povrchu 1. generace a Digitálního modelu reliéfu 5. generace. Pro účely porovnávání a validace v hlavním městě Praze byl použit model Absolutní výšky budov Praha ze stránek Geoportálu Praha, dále pak údaje z projektové dokumentace pěti budov a také model Urban Atlas Building Height 2012 Copernicus. V případě porovnávání a validace výšek pro město Brno byl použit volně přístupný model výšek ze stránek Brněnského magistrátu. Dále pak model Copernicus a projektová dokumentace dvou budov. Pro město Plzeň byl použit k porovnání model Copernicus a projektová dokumentace jedné budovy. S cílem zvýšit výpočetní hodnotu měření byly k budovám, u kterých bylo možné nahlédnout do jejich technické dokumentace přidány i další budovy. U těchto budov byly absolutní výšky získány online a z odborné literatury. Pro pražské budovy byly využity údaje z publikace IPR – Třetí rozměr města z roku 2014, zatímco u budov v Plzni se většinou čerpalo z webových stránek Plzeňského architektonického manuálu, kde byly k dispozici historické technické výkresy s uvedenou absolutní výškou. V případě Brna byly informace čerpány z webu Brněnského architektonického manuálu, kde stejně jako v případě Plzeňského architektonického manuálu byly k dispozici historické technické výkresy s uvedenou absolutní výškou. Dalším zdrojem informací byly články v odborných časopisech o výškových budovách v České republice nebo přímo webové stránky samotných budov.

### 5.3.1 DMP 1G

DMP 1G je zkratka označující Digitální Model Povrchu České republiky 1. generace od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Tento model vyobrazuje výškopis území zahrnující stavby a rostlinný pokryv. Data jsou vyobrazena pomocí nepravidelné sítě výškových bodů, nebo také TIN. Úplná střední chyba pro přesně vymezené budovy, či jiné objekty činí 0,4 m. Pro lesy, rostlinný pokryv a jiné přesně neohrazené objekty je střední chyba 0,7 m. Model je v souřadnicovém systému Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Tento model vznikl metodou laserového leteckého snímkování v letech 2009 až 2013. Pro město Plzeň byla data nasnímána v roce 2011, zatímco v případě Prahy proběhlo snímkování v severozápadní části města v roce 2011 a ve zbytku města v roce 2010. Data pro město Brno pochází z roku 2013. Poslední revize DMP 1G proběhla v červnu 2023 (Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2016a).

### 5.3.2 DMR 5G

DMR 5G neboli Digitální Model Reliéfu České republiky 5. generace zobrazuje zemský povrch, ať už přirozený, nebo ovlivněný lidskou činností ve formě diskretních bodů v trojúhelníkové nepravidelné síti TIN se souřadnicemi X, Y a H. Bod H v této vrstvě představuje nadmořskou výšku v referenčním systému Balt po vyrovnání. Střední chyba výšky v zalesněném terénu je 0,3 m a v otevřeném terénu je 0,18 m. Souřadnicový systém tohoto modelu je S-JTSK. Model vznikl pomocí leteckého snímání lidarem (laserové snímání). Data byla nasnímána pro Český úřad zeměměřický a katastrální v rozmezí let 2009 až 2013 a byla vydána v roce 2016. Pro město Plzeň byla většina dat nasnímána v roce 2011, zatímco severovýchodní část byla nasnímána v roce 2018 a severní okraj v roce 2023. V případě Prahy bylo severozápadní území zachyceno v roce 2011, jihozápadní, jižní a severovýchodní části v roce 2020 a zbytek v roce 2010. Co se týče Brna, celé město bylo snímáno v roce 2013. Poslední aktualizace produktu proběhla v červnu roku 2023 (Český úřad zeměměřický a katastrální, 2016b).

### 5.3.3 Absolutní výšky budov Praha a Výška budov v Brně

#### Absolutní výšky budov Praha

Jedná se o klasifikovaný rastr, jenž vznikl výpočtem z digitálního modelu zástavby a digitálního modelu terénu. Tento rastr zobrazuje relativní výšky budov a mostů, konkrétně jejich výšku nad terénem. Souřadnicový systém tohoto rastru je 5514 S-JTSK Křovák East North. Data pro tuto sadu byla nasnímána v roce 2018. Poslední aktualizace těchto dat proběhla v květnu roku 2023 a taky tato poslední verze byla v rámci práce využita. Před 22. lednem 2024 byla tato data a další na stránkách geoportálu hlavního města Prahy na vyžádání, avšak nově od tohoto data jsou volně dostupná ke stažení široké veřejnosti (Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, 2023).

#### Výška budov v Brně

Jedná se o vrstvu vytvořenou v roce 2020 v rámci projektu Digitální akademie Czechitas v létě 2020. Datová sada je v souřadnicovém systému GCS WGS84 a obsahuje několik atributů, mezi které patří například: způsob využití objektu, počet bytů, odhadnutá výška a kompletní výška. Výšková data byla vypočítána z rozdílů digitálních modelů DMP1G a DMR5G od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. V rámci této práce byla využita verze pocházející z června 2022 (Magistrát města Brna, 2020).

### 5.3.4 Copernicus Urban Atlas Building Height 2012

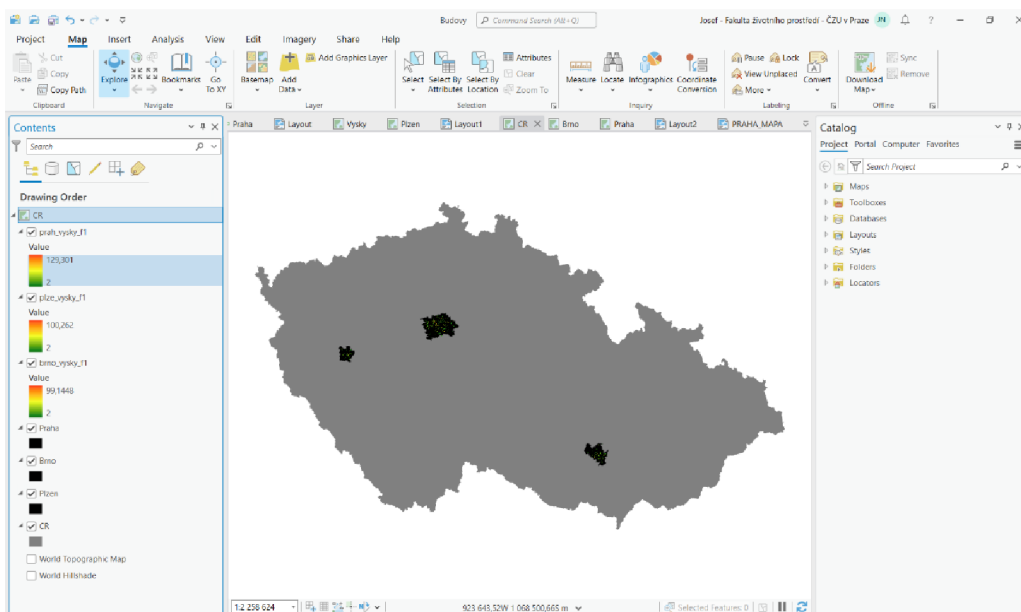
Datová sada Copernicus Building Height 2012 ve své třetí verzi je datový soubor s výškovými informacemi o budovách pro vybraná města a urbanizované oblasti v Evropě. Informace o výšce jsou zde založeny na satelitních datech (lidar), ze kterých byl následně odvozen digitální model povrchu (DMP) a digitální model terénu (DMR). Zdroje satelitních dat zahrnují stereo snímky ze satelitu IRS-P5 a falešné stereo páry z katalogu firmy MAXAR (WV-01, WV-02, GE-01 a IK). Data jsou zpracovávána na základě referenčního roku 2012 a jsou k dispozici s prostorovým rozlišením 10 metrů pro jádrová městská území v 870 evropských městech. Pro potřeby této práce byla použita datová sada Prahy ve verzi V20 a datové sady pro Plzeň a Brno ve verzi V10 (European Environment Agency, 2022).

### 5.3.5 Projektové dokumentace

Pro zjištění přesných výšek vybraných budov v rámci diplomové práce bylo nahlédnuto do projektových dokumentací. Tyto dokumentace byly většinou ochotně poskytnuty správou příslušných budov, což umožnilo získat detailní informace o výškách a architektonických specifikacích. Spolupráce s místními správci a majiteli budov zajistila nejen nezbytné technické údaje, ale též kontextové informace o designových rozhodnutích a účelu každé budovy. Tímto způsobem byla zajištěna důvěryhodnost dat a poskytnuta komplexní perspektiva pro analýzu v rámci práce.

## 5.4 Zpracování materiálů

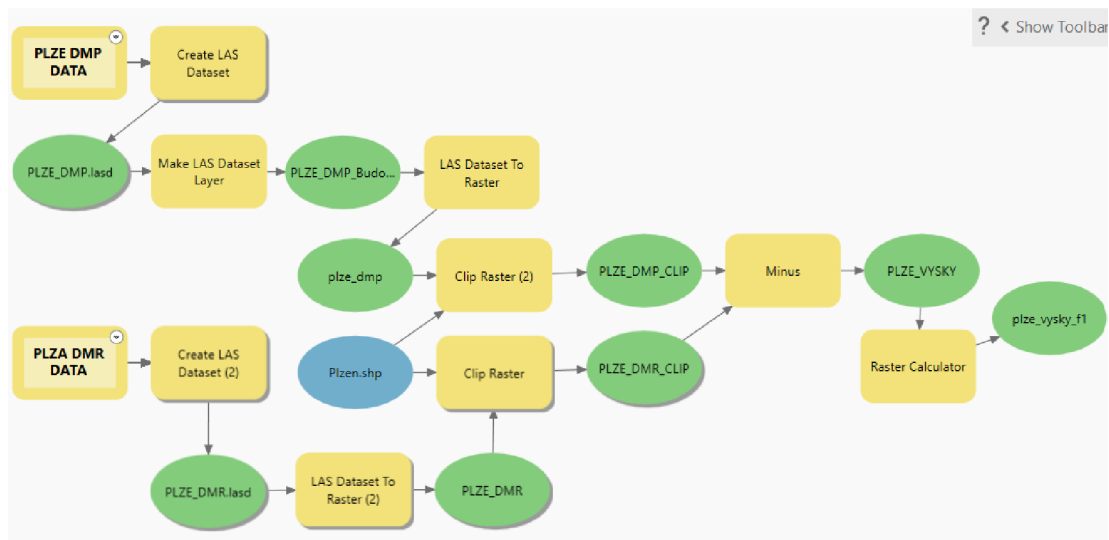
Uživatelské rozhraní programu ArcGIS Pro, ve verzi 3.2.2 (Obrázek 15) je tvořeno horní lištou, pásem karet a hlavní pracovní plochou. V horní liště, nalezneme Panel nástrojů pro rychlý přístup – *Quick access toolbar*, ve které nalezneme tlačítka pro vytvoření nového projektu, načtení, uložení, tlačítka zpět a vpřed nebo možnost přidat nebo odebrat tlačítka v panelu nástrojů. Vprostřed této lišty se také nachází pole pro rychlé vyhledávání, kde je možné rychle a jednoduše vyhledat a otevřít jednotlivé nástroje. Nalevo od tohoto pole je volba uživatelského účtu. Pod horní lištou se nachází pás karet (ribbon), ve kterém nalezneme jednotlivé nástroje a doplňky programu. Pod hlavní lištou nalezneme hlavní pracovní plochu, kde se zobrazují mapové podklady, či jednotlivé aktivní vrstvy. V rámci navigování mapou, je možné použít směrové šipky a pravé tlačítko myši pro pohyb mapou. Pro přiblížení a oddálení lze použít rolovací kolečko myši, jež mění měřítko. V horní části hlavní pracovní plochy, pod pásem karet, nalezneme záložky jednotlivých map. Díky tomu je možné pracovat s několika mapami v rámci jednoho projektu. Hlavní pracovní plocha může být rozšířena o přizpůsobitelné a připnutelné postranní panely. V případě této práce bylo rozvržení bočních panelů následující: levý panel sloužil pro zobrazení a řazení vrstev, kdežto pravý panel fungoval jako průzkumník souborů a kontextová nabídka pro jednotlivé nástroje. Vprostřed ve spodní části hlavní pracovní plochy dále nalezneme volbu měřítka, nastavení přichycování, souřadnice, na které ukazuje kurzor a ovládací prvky pro vykreslování mapy.



Obrázek 15 Pracovní plocha programu ArcGIS Pro.

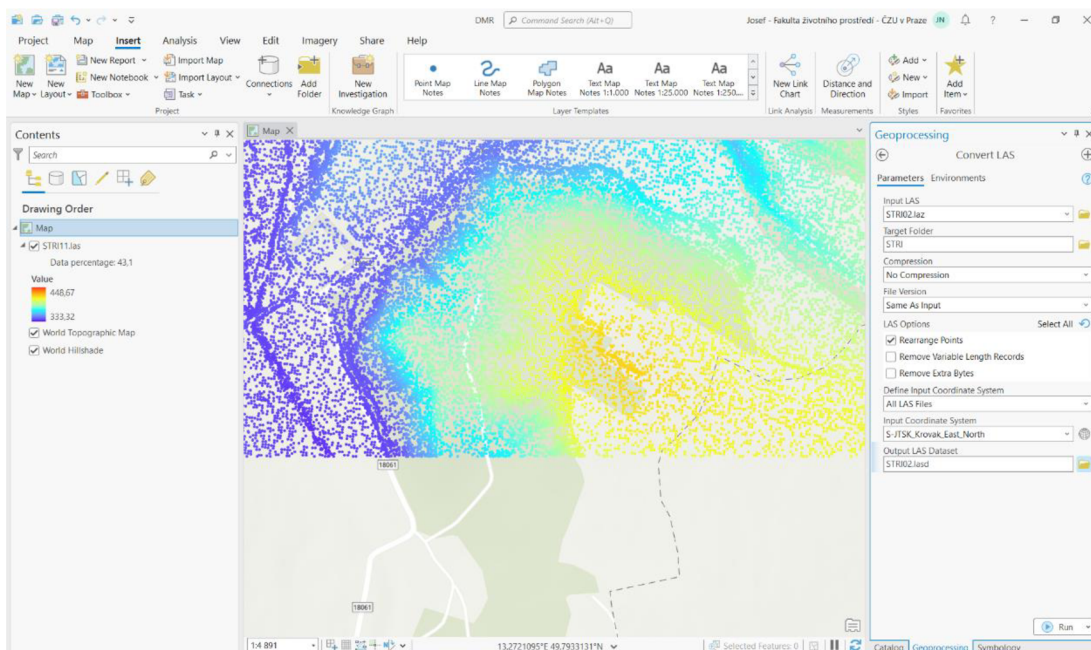
### 5.4.1 Vytvoření vlastní výškové mapy budov

Pro vytvoření vlastního výškového modelu byla využita data ze stránek ČUZK, konkrétně DMP a DMR. Pro přetvoření těchto dat ve výškovou mapu budov byl vytvořen model v ArcGIS Pro (Obrázek 16), jež se skládal z několika kroků.



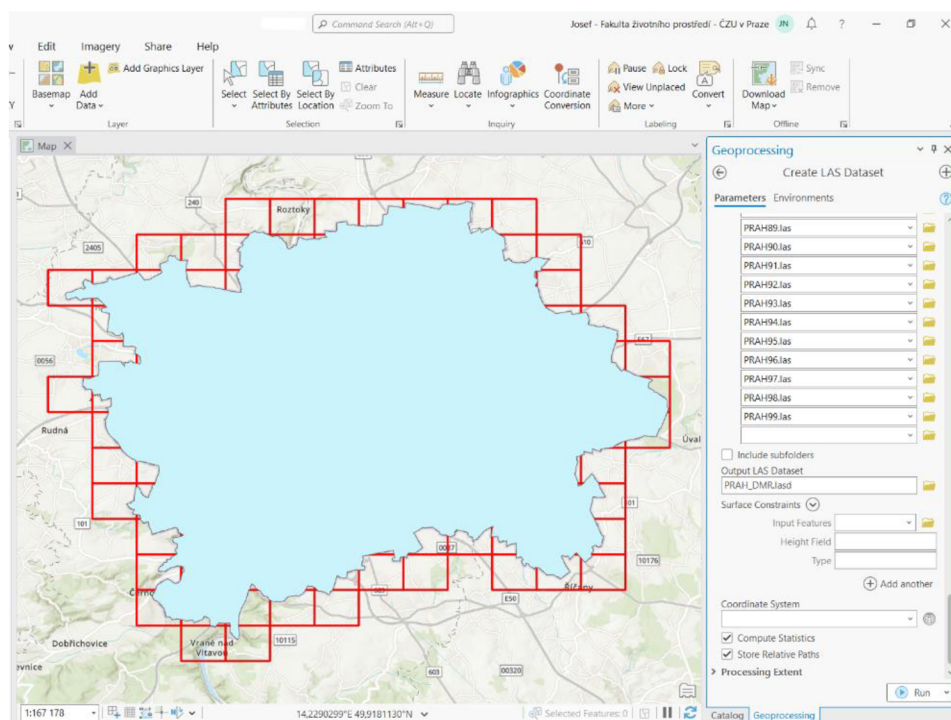
Obrázek 16 Model, jenž vedl k vytvoření mapy výšek budov pro jednotlivá města.

Jelikož mapové listy, jež poskytuje ČUZK, jsou ve formátu LAZ, který ArcGIS Pro neumí zpracovat, bylo nejprve nutné tyto soubory zkonvertovat na formát LAS za pomoci nástroje *Convert LAS* (Obrázek 17). V rámci tohoto nástroje byl nejprve vybrán vstupní LAZ soubor, který bylo žádoucí převést. Následně bylo nutné vybrat cílovou složku umístění, kam budou uloženy výsledné konvertované soubory. V rámci optimalizace procesu byla volba *Compression* ponechána na hodnotě *No compression*, což ponechává původní kvalitu bez další komprese. *File Version* bylo rovněž nastaveno na *Same as Input*, jež zajišťuje zachování verze souboru tak, jak byla v původním vstupním souboru. Ve specifických možnostech nástroje, v sekci *LAS Options*, byla zaškrtnuta pouze možnost *Rearrange Points*. Tato volba zajišťuje, že binární záznamy jsou uloženy ve specifických prostorových shlucích, optimalizovaných pro přístup k datům, což obvykle vede ke zvýšení výkonu. Další možnosti, jako jsou *Remove Variable Length Records* a *Remove Extra Bytes*, zůstaly nezaškrtnuty. Položka *Define Input Coordinate System* byla nastavena na volbu *All LAS Files*, a jelikož vstupní data byla pořízena v koordinačním systému 5514 S-JTSK, tak tato volba byla nastavena v sekci *Input Coordinate System*. Posledním krokem v tomto nástroji bylo určení umístění, které bylo nastaveno v *Output LAS Dataset*, kde bylo zapotřebí určit umístění konvertovaného souboru.



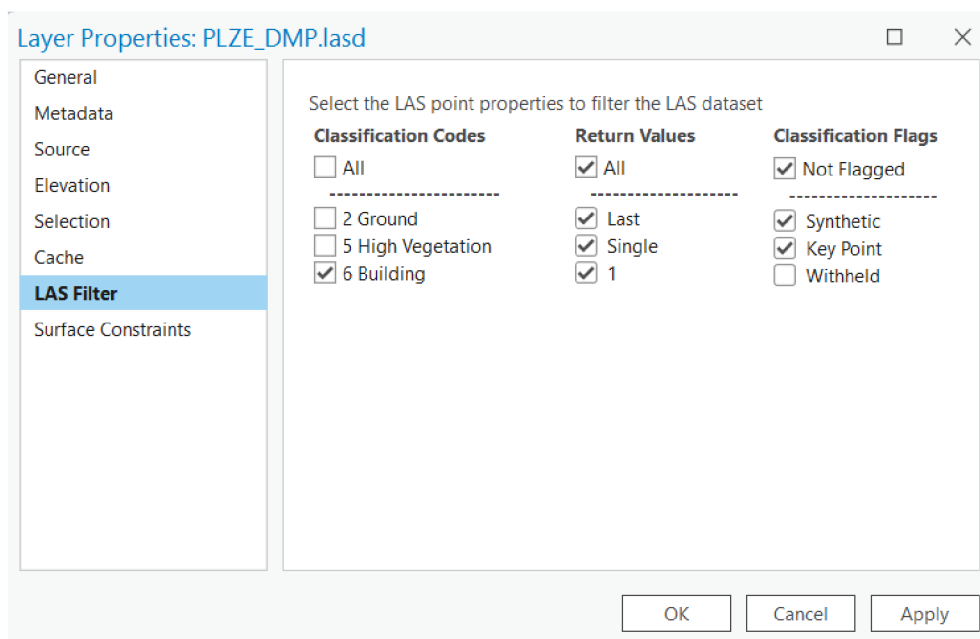
Obrázek 17 Konverze dat stažených z ČUZK.

Dalším nezbytným krokem bylo spojení jednotlivých mapových listů do jednoho konkrétního souboru. K tomuto účelu byl využit nástroj *Create LAS Dataset* (Obrázek 18). V rámci nastavení tohoto nástroje byly v sekci *Input Files* zvoleny všechny potřebné mapové listy pro dané město. Dalším důležitým nastavením bylo zvolení umístění výstupního souboru v *Output LAS Dataset*. Volby v *Surface Constants* a *Coordinate System* zůstaly nevyplněny. Jako poslední byly aktivovány dvě důležité možnosti. Konkrétně *Compute Statistics* a *Store Relative Paths*. Možnost *Compute Statistics* umožňuje zachování symbologie a možnosti filtrování. Možnost *Store Relative Paths* zas specifikuje, zda budou soubory lidarových dat v LAS datasetu odkazovány prostřednictvím relativních nebo absolutních cest.



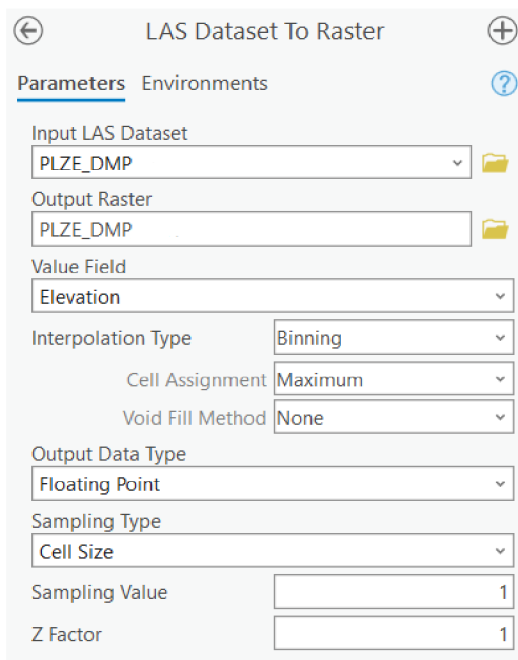
Obrázek 18 Slučování LAS výjejných jednotek do jednoho souboru.

Pro data DMP byl přidán mezikrok, jenž vyfiltrává vysokou vegetaci a zachovává pouze body povrchu Země a budov (Obrázek 19). K tomu posloužil nástroj zvaný *Make LAS Dataset Layer*. V rámci tohoto nástroje byl nejprve v *Input LAS Dataset*, zvolen DMP dataset, a v *Output Layer* byl nastaven název nové vrstvy. V rámci sekce *Class Codes* byla zvolena hodnota 6, která představuje budovy. V sekci *Return Values* byly zvoleny možnosti: *Last*, *Single*, *1*, jež jsou obsažené v daném datasetu. Dále dle výchozího nastavení zůstaly zaškrtnuté volby: *Unflagged Points*, *Synthetic Points*, *Model Key-Point* a *Overlap Points*.

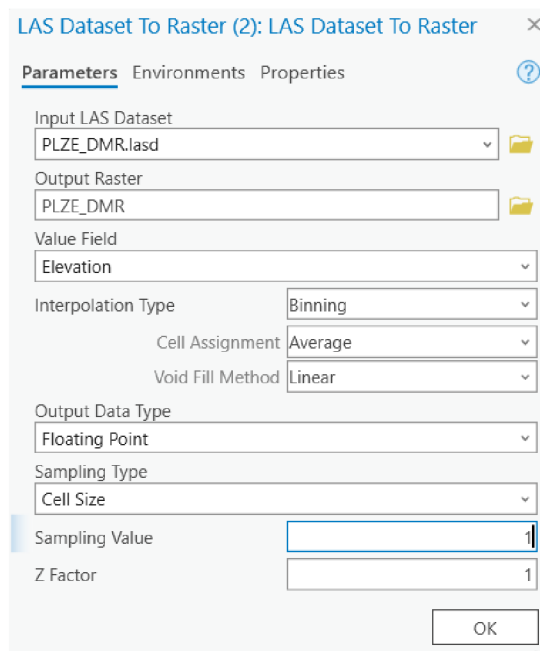


Obrázek 19 Vyfiltrování vegetace a zemského povrchu z vrstvy DMP.

Dalším krokem bylo převedení dat z formátu LAS na rastrový formát. K tomu byl použit nástroj *LAS Dataset To Raster* (Obrázek 20). Nastavení tohoto nástroje bylo klíčové pro získání přesného a informativního rastrového zobrazení. V prvním kroku byl v poli *Input LAS Dataset* vybrán vstupní soubor LAS. Dále bylo zadáno umístění a název pro výstupní rastrový soubor v poli *Output Raster*. Sekce *Value Field* byla ponechána na výchozí hodnotu *Elevation*, což znamená, že výškové informace z laserových dat byly použity k vytvoření rastrového souboru. V části *Interpolation Type* byla zvolena metoda *Binning*. Tato metoda na rozdíl od triangulace umožňuje přesné přiřazení hodnot každé buňce na základě bodů v jejím rozsahu a vyplňování prázdných míst v rastrovém zobrazení, což vede k efektivnímu vytváření mapy ze snímků laserových dat. Pro Digitální model povrchu bylo nastaveno *Cell Assignment* na hodnotu *Maximum* a *Void Fill* na hodnotu *None*, což zajistilo čisté a přesné zobrazení budov. Pro Digitální model reliéfu (Obrázek 21) byla naopak použita v *Cell Assignment* hodnota *Average* a rámci *Void Fill* byla zvolena výchozí hodnota *Linear*, která trianguluje napříč prázdnými oblastmi a k určení hodnoty buňky používá lineární interpolaci na triangulované hodnotě. Nastavení pro *Output Data Type* a *Sampling Type* bylo ponecháno na výchozích hodnotách, tedy *Floating Point* a *Cell Size*. Parametr *Sampling Value* byl nastaven na hodnotu *1*, což přispělo k vytvoření kvalitního výstupu, a *Z Factor* byl také ponechán na výchozí hodnotě *1*, což mělo za následek, že hodnoty nadmořské výšky zůstaly nezměněny.



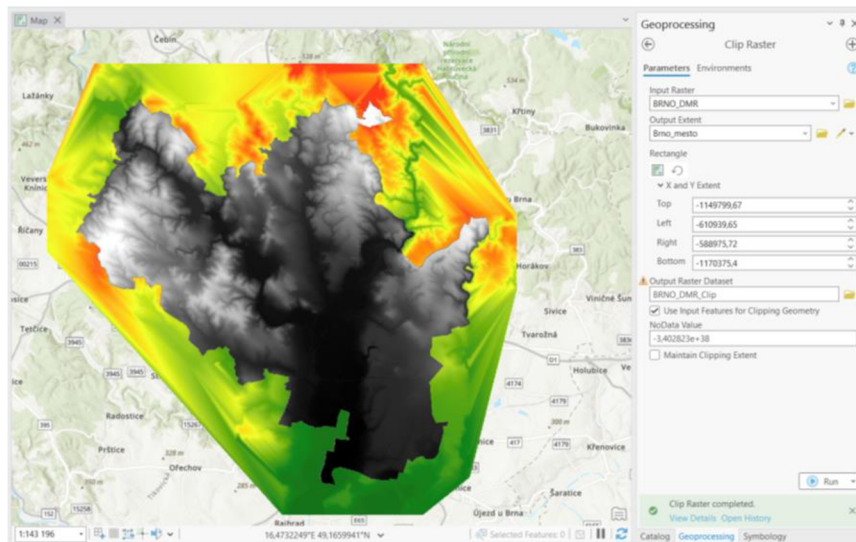
Obrázek 20 Převodění DMP LAS dat na rastr.



Obrázek 21 Převodění DMR LAS dat na rastr.

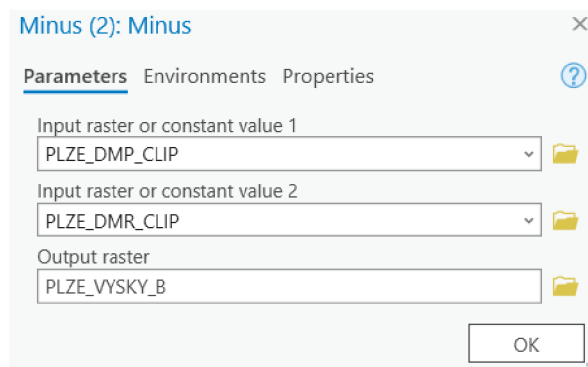
Po vygenerování rastrů povrchu a reliéfu, bylo zapotřebí tyto rastry oříznout tak, aby respektovaly hranice zájmových území. Pro tento účel bylo využito nástroje *Clip Raster* (Obrázek 22). V rámci nastavení tohoto nástroje byl nejprve v sekci *Input Raster* specifikován rastr, který měl být oříznut, a následně v sekci *Output Extent* byl použit vektor hranic daného města. Tato vektorová vrstva byla získána z dat ArcČR ve verzi 4.2, konkrétně z vrstvy *Obce*. Následně bylo v sekci *Output Raster Dataset* zvoleno umístění a název výstupního souboru. Důležitým krokem bylo zaškrtnutí možnosti *Use Input Features for Clipping Geometry*. Tato volba umožňuje specifikovat, zda pro oříznutí dat má být využit minimální ohraničující obdélník, nebo geometrie definovaná ve zvolené vektorové třídě prvků. Tato volba byla tedy aktivována, protože bylo žádoucí oříznout rastr na základě vektorové vrstvy hranic daného města z *Output Features*. Možnost *Maintain Clipping Extent*, která určuje rozsah, který bude použit ve výstupu oříznutí, zůstala nezaškrtnutá, neboť bylo žádoucí zachovat přesnost vymezení výstupu dle zadaného vektoru hranic města. Tímto způsobem bylo úspěšně a efektivně provedeno oříznutí rastrů tak, aby odpovídaly specifickým územním potřebám.





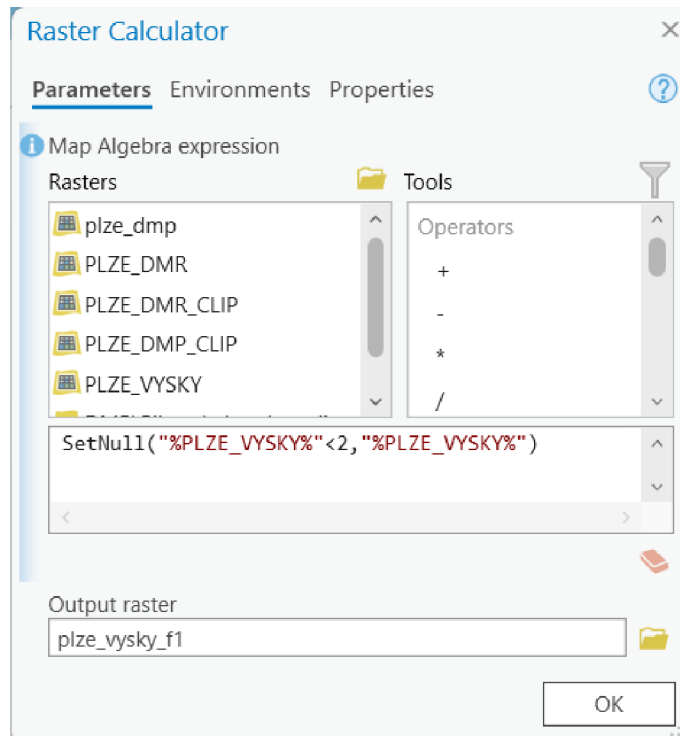
Obrázek 22 Oříznutí DMR dle hranic města.

Po oříznutí rastrů bylo dalším krokem použití nástroje prostorové analýzy *Minus* (Obrázek 23). Pomocí tohoto nástroje byly odečteny hodnoty výšky terénu z DMR a DMP. Výsledkem této operace byl nový rastr, který obsahuje pouze hodnoty výšek budov. Nastavení tohoto nástroje bylo následující: V prvním poli *Input raster or constant value 1* byl vždy zvolen rastr DMP. Ve druhém poli *Input raster or constant value 2* byl zvolen rastr DMR, který byl následně odečten od hodnot v prvním vstupním rastru. V poli pro *Output raster* bylo nastaveno umístění a pojmenování výsledného rastru.



Obrázek 23 Odečtení výšky terénu z rastru DMP pomocí nástroje *Minus*.

Pro dosažení konečného rastru bez nežádoucích záporných hodnot a artefaktů po vegetaci byl použit nástroj *Raster Calculator* (Obrázek 24). Tento nástroj umožnil vytvoření a spuštění mapového algebraického výrazu, který generuje výsledný rastr podle nastavených specifikací. V nastavení nástroje *Raster Calculator* jsou dva sloupce, první s názvem *Rasters list* umožňuje výběr datových sad pro použití v příkazovém řádku. Ve druhém sloupci je k dispozici *Tools list*, který obsahuje běžně používané podmíněné a matematické nástroje, které je možné přidat do příkazového řádku. Numerické hodnoty a matematické operátory je možné zadat přímo do příkazového řádku. Při tomto konkrétním použití nástroje *Raster Calculator* pro eliminování nežádoucích záporných hodnot a artefaktů spojených s vegetací, bylo využito příkazu *SetNull*, doplněným podmínkou  $<2$ , která v kombinaci s tímto příkazem nastavila hodnoty nižší než 2 metry na hodnotu *NoData*. Tím bylo docíleno, že výsledný rastr bude obsahovat hodnoty odpovídající zvoleným kritériím. V sekci *Output Raster* pak byl zvolen název a umístění výsledného rastru.

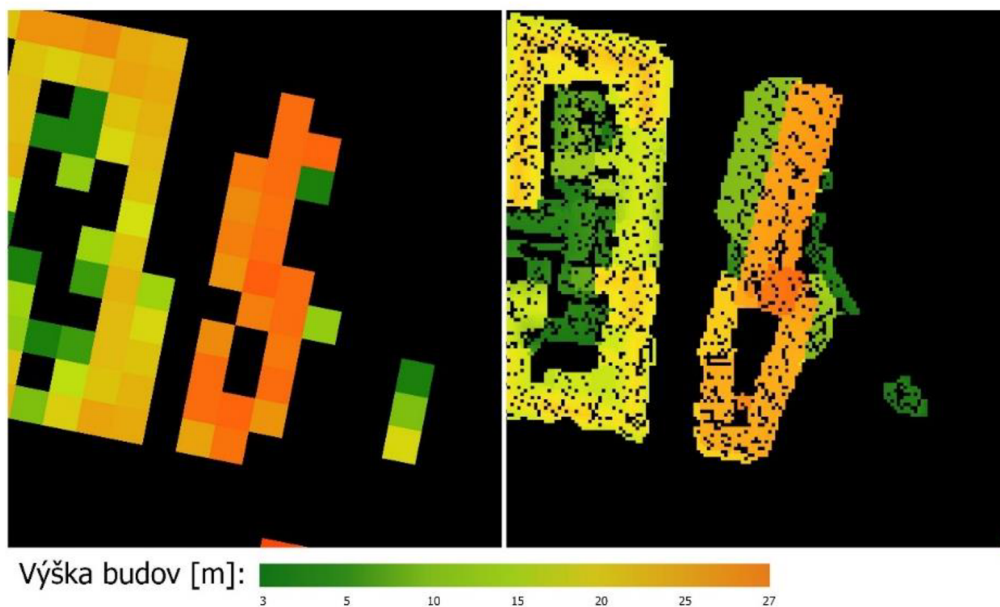


Obrázek 24 Početní operace v nástroji Raster Calculator.

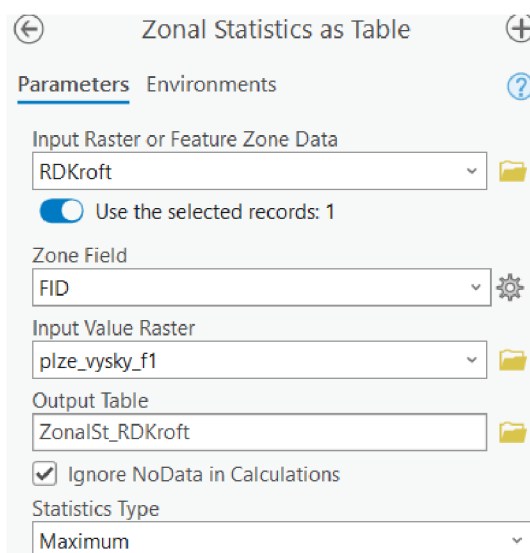
#### 5.4.2 Porovnání jednotlivých výškových modelů

V rámci druhé části byla porovnána vlastní výšková mapa vytvořená v rámci první poloviny praktické části (Obrázek 25). Pro každou budovu a její model byl identifikován bod reprezentující nejvyšší výšku střechy, bez zahrnutí vzduchotechniky a dalších technických nástaveb. V místě tohoto bodu byla vytvořena polygonová vrstva, která poté byla použita jako pole zóny pro statistický nástroj *Zonal statistic as table* (Obrázek 26). Výstupem tohoto nástroje byla naměřená absolutní výška. Vedle budov, které posloužily jako body referenčních hodnot, bylo vybráno několik dalších budov z každého města a tyto hodnoty byly mezi sebou porovnány. Pro tyto budovy nebyla projektová dokumentace k dispozici, avšak ověřená data o jejich výšce byla dostupná na internetu a v knižních publikacích. Tímto způsobem bylo rozšířeno měření, aby zahrnovalo i další budovy, a zlepšilo přesnost výsledků.

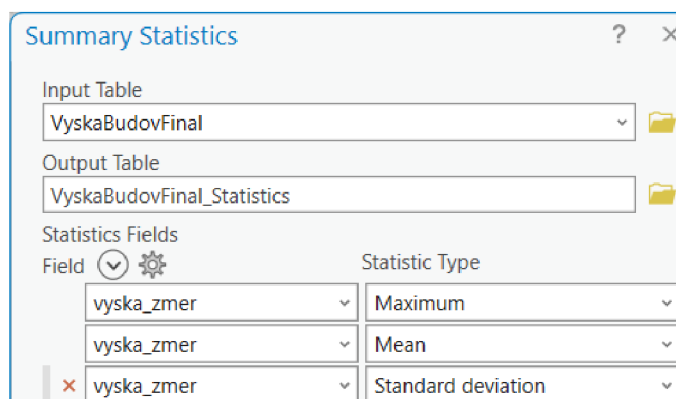
Kromě srovnání individuálních výšek modelů a budov bylo provedeno celkové porovnání, kde byla analyzována maximální výška v každém modelu, průměrná výška a standardní odchylka. Standardní odchylka poskytuje informaci o tom, jak se hodnoty atributů jednotlivých prvků odchylují od průměrné hodnoty. Většina modelů byla v rastrovém formátu čili byla podrobena automatickému výpočtu těchto statistik, ale u modelu výšek města Brna, který byl ve formátu rastru, bylo potřeba využít nástroje *Summary Statistics*. Tímto nástrojem byly získány detailní statistiky pro vybraná pole, což umožnilo lépe porozumět celkovým výškovým charakteristikám tohoto rastrového modelu (Obrázek 27).



Obrázek 25 Porovnání vlastního výškového modelu (vpravo) s modelem Copernicus (vlevo).



Obrázek 26 Nastavení nástroje Zonal statistics as table.



Obrázek 27 Výpočet souhrnné statistiky pro vektorovou vrstvu výšek města Brna.

## 6. Výsledky

V průběhu praktické části práce byla měřena a analyzována přesnost různých modelů v porovnání s referenčními hodnotami (Obrázek 28). Pokud srovnáme všechny modely mezi sebou, tak průměrné chyby v metrech byly zaznamenány následovně: vlastní model vykazoval průměrnou chybu -3,49 metrů oproti referenčním hodnotám, model Copernicus měl průměrnou chybu 2,79 metrů, model IPR vykazoval chybu -2,94 metrů a model Výška budov Brno zaznamenal výrazně vyšší průměrnou chybu 50,35 metrů.

Co se týče mediánu chyb, vlastní model vykazoval medián chyby -0,20 metrů, model Copernicus měl medián -0,15 metrů, model IPR dosáhl mediánu -0,87 metrů a model Výška budov Brno zaznamenal nejvyšší mediánovou chybu 60,00 metrů. Tyto výsledky demonstrovaly rozmanitost přesnosti jednotlivých modelů v měřené oblasti a byly důkladně zaznamenány v rámci analýzy.

V případě směrodatné odchylky vykazoval vlastní model hodnotu 8,68 metrů, model Copernicus pak 25,97 metrů, model IPR 4,52 metrů a model Výška budov Brno 35,53 metrů.

Statistická funkce	$\Delta h$ vlastní model	$\Delta h$ Copernicus	$\Delta h$ model IPR	$\Delta h$ Výška budov Brno
Průměr	-3,49 m	2,79 m	-2,94 m	50,35 m
Medián	-0,20 m	-0,15 m	-0,87 m	60,00 m
Směrodatná odchylka	8,68 m	25,97 m	4,52 m	35,53 m

Obrázek 28 Celkové porovnání přesnosti jednotlivých modelů v metrech.

Průměrné chyby v procentech (Obrázek 29) byly sledovány a zaznamenány takto: vlastní model vykazoval průměrnou chybu -14,13 %, model Copernicus měl průměrnou chybu -23,32 %, model IPR vykazoval chybu -9,56 % a model Výška budov Brno zaznamenal výrazně vyšší průměrnou chybu -75,26 %.

Pokud jde o mediánové chyby v procentech, vlastní model vykazoval medián chyby -0,10 %, model Copernicus měl medián -7,24 %, model IPR dosáhl mediánu -0,80 % a model Výška budov Brno zaznamenal nejvyšší mediánovou chybu -90,13 %. Tyto výsledky přesně ukazují rozdíly v přesnosti jednotlivých modelů vzhledem k referenčním hodnotám a byly pečlivě zahrnuty do celkové analýzy provedené v rámci této práce.

V rámci analýzy směrodatné odchylky vykazoval vlastní model směrodatnou odchylku 33,39 %, Copernicus 37,59 %, model IPR 25,88 % a model Výška budov Brno 36,88 %.

Statistická funkce	$\Delta$ vlastní model	$\Delta$ Copernicus	$\Delta$ model IPR	$\Delta$ Výška budov Brno
Průměr	-14,13%	-23,32%	-9,56%	-75,26%
Medián	-0,10%	-7,24%	-0,80%	-90,13%
Směrodatná odchylka	33,39%	37,59%	25,88%	36,88%

Obrázek 29 Celkové porovnání přesnosti jednotlivých modelů v procentech.

## 6.1 Praha

Při celkovém srovnání výškových map města Prahy se ukázalo, že maximální výška vlastního modelu je podstatně nižší než u ostatních modelů (Obrázek 30). Konkrétně byla naměřena maximální výška 129,30 metrů, zatímco u modelu IPR a Copernicus byly rozdíly menší – 221,71 metrů a 217,00 metrů. V případě průměrných hodnot nebyly rozdíly tak výrazné. Vlastní model měl nejnižší průměr s 10,87 metrů, následován modelem IPR s 11,26 metrů a nejvyšší průměr měl model Copernicus s 11,81 metrů. Pokud jde o směrodatnou odchylku, rozdíly mezi modely byly ještě menší, s opět nejnižší hodnotou u vlastního modelu 7,82 metrů, následované modelem IPR s 8,00 metrů a modelem Copernicus s 8,16 metrů, který vykazoval nejvyšší hodnotu.

Datová sada ▾	Maximální hodnota ▾	Průměrná hodnota ▾	Směrodatná odchylka ▾
Vlastní model	129,30 m	10,87 m	7,82 m
IPR	221,71 m	11,26 m	8,00 m
Copernicus	217,00 m	11,81 m	8,16 m

Obrázek 30 Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Prahy.

Pakliže se podíváme na podrobné srovnání (Obrázek 31, Obrázek 32) jednotlivých budov, zjistíme, že jednotlivé rozdíly jsou mnohem výraznější než při celkovém srovnání. U tohoto srovnání byl analyzován průměr jednotlivých odchylek v metrech a v procentech, stejně jako mediány odchylek, jak v metrech, tak v procentech.

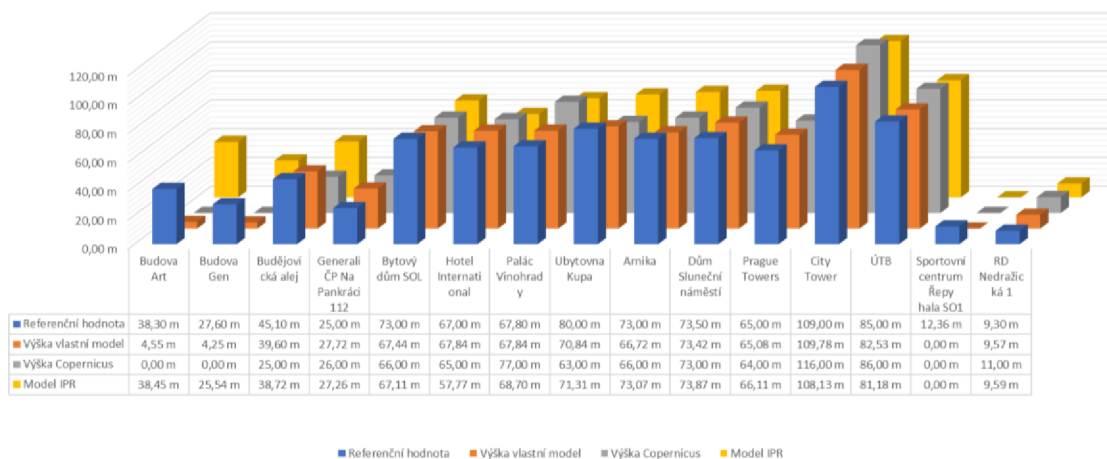
V průměrných odchylkách je zřejmé, že nejpřesnějším modelem je ten od IPR, který vykazuje průměrnou odchylku -2,94 metru či -9,56 %. Následuje vlastní model s odchylkou -6,25 metru a -19,98 %, zatímco model Copernicus se umísťuje na posledním místě s odchylkou -7,53 metru a -23,12 %. Tuto tendenci potvrzuje i medián odchylek, kde opět model od IPR představuje nejpřesnější výsledek s hodnotou -0,87 metru či -0,80 %. Vlastní model a model Copernicus následují s mediánovými odchylkami -2,47 metru a -2,91 % respektive -2,00 metru a -2,99 %.

Směrodatná odchylka pro vlastní model dosahovala 10,18 metrů, což představuje odchylku 37,31 % oproti referenčním hodnotám. Model Copernicus vykazoval směrodatnou odchylku 13,27 metrů, což znamená odchylku 42,42 %. Naopak, model IPR dosáhl nejnižší statistické odchylky 4,52 metrů, která představuje odchylku 25,88 %.

Objekt	Referenční hodnota	Výška vlastní model	Δh vlastní model	Δ% vlastní model	Výška Copernicus	Δh Copernicus	Δ% Copernicus	Model IPR	Δh model IPR	Δ% model IPR
Budova Art	38,30 m	4,55 m	-33,75 m	-88,12%	0,00 m	-38,30 m	-100,00%	38,45 m	0,15 m	0,39%
Budova Gen	27,60 m	4,25 m	-23,35 m	-84,60%	0,00 m	-27,60 m	-100,00%	25,54 m	-2,06 m	-7,46%
Budějovická alej	45,10 m	39,60 m	-5,50 m	-12,20%	25,00 m	-20,10 m	-44,57%	38,72 m	-6,38 m	-14,15%
Generali ČP Na Pankráci 112	25,00 m	27,72 m	2,72 m	10,88%	26,00 m	1,00 m	4,00%	27,26 m	2,26 m	9,04%
Bytový dům SOL	73,00 m	67,44 m	-5,56 m	-7,62%	66,00 m	-7,00 m	-9,59%	67,11 m	-5,89 m	-8,07%
Hotel International	67,00 m	67,84 m	0,84 m	1,25%	65,00 m	-2,00 m	-2,99%	57,77 m	-9,23 m	-13,78%
Palác Vínohrady	67,80 m	67,84 m	0,04 m	0,06%	77,00 m	9,20 m	13,57%	68,70 m	0,90 m	1,33%
Ubytovna Kupa	80,00 m	70,84 m	-9,16 m	-11,45%	63,00 m	-17,00 m	-21,25%	71,31 m	-8,69 m	-10,86%
Arnika	73,00 m	66,72 m	-6,28 m	-8,60%	66,00 m	-7,00 m	-9,59%	73,07 m	0,07 m	0,10%
Dům Sluneční náměstí	73,50 m	73,42 m	-0,08 m	-0,11%	73,00 m	-0,50 m	-0,68%	73,87 m	0,37 m	0,50%
Prague Towers	65,00 m	65,08 m	0,08 m	0,12%	64,00 m	-1,00 m	-1,54%	66,11 m	1,11 m	1,71%
City Tower	109,00 m	109,78 m	0,78 m	0,72%	116,00 m	7,00 m	6,42%	108,13 m	-0,87 m	-0,80%
ÚTB	85,00 m	82,53 m	-2,47 m	-2,91%	86,00 m	1,00 m	1,18%	81,18 m	-3,82 m	-4,49%
Sportovní centrum Řepy hala SO1	12,36 m	0,00 m	-12,36 m	-100,00%	0,00 m	-12,36 m	-100,00%	0,00 m	-12,36 m	-100,00%
RD Nedražická 1	9,30 m	9,57 m	0,27 m	2,90%	11,00 m	1,70 m	18,28%	9,59 m	0,29 m	3,12%
<b>Průměr</b>			<b>-6,25 m</b>	<b>-19,98%</b>		<b>-7,53 m</b>	<b>-23,12%</b>		<b>-2,94 m</b>	<b>-9,56%</b>
<b>Medián</b>			<b>-2,47 m</b>	<b>-2,91%</b>		<b>-2,00 m</b>	<b>-2,99%</b>		<b>-0,87 m</b>	<b>-0,80%</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>			<b>10,18 m</b>	<b>37,31%</b>		<b>13,27 m</b>	<b>42,42%</b>		<b>4,52 m</b>	<b>25,88%</b>

Obrázek 31 Tabulka podrobného srovnání výškových map Prahy. Pro objekt označený tučně jsou dostupná data o absolutní výšce z projektové dokumentace. Červené zvýraznění výšek indikuje, že naměřená hodnota je menší než referenční hodnota. V případě zeleného označení je naměřená hodnota vyšší než referenční hodnota.

### Výšky Praha



Obrázek 32 Graf jednotlivých naměřených výšek budov.

## 6.2 Brno

V rámci celkového srovnání výškových modelů (Obrázek 33) vynikly větší rozdíly mezi jednotlivými modely než v případě srovnání pražských modelů. Nejvyšší zaznamenaná hodnota výšky patřila vlastnímu modelu s 99,14 metry, následované modely Copernicus a Výška budov Brno s hodnotami 86,00 metry a 82,61 metry. Rozdíly se projeví také v průměrných hodnotách výšky, kde vlastní model vedl s průměrem 9,88 metry, za nímž následoval model Copernicus s 8,17 metry a Brněnský model s 6,60 metry. Směrodatná odchylka opět ukázala výrazné rozdíly mezi jednotlivými modely. Nejvyšší hodnotu směrodatné odchylky měl vlastní model s 6,71 metry, následovaný Brněnským modelem s 6,29 metry a modelem Copernicus s 6,10 metry.

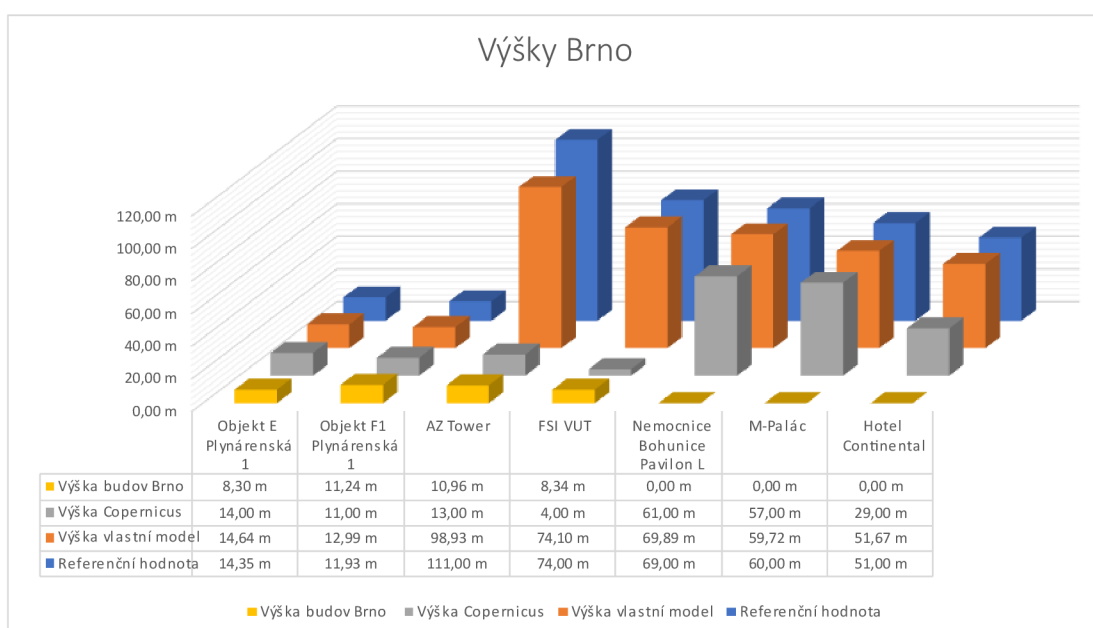
Datová sada	Maximální hodnota	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka
Vlastní model	99,14 m	9,88 m	6,71 m
Výška budov Brno	82,61 m	6,60 m	6,29 m
Copernicus	86,00 m	8,17 m	6,10 m

Obrázek 33 Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Brna.

Při pohledu na detailní hodnoty (Obrázek 34, Obrázek 35), bylo zjištěno, že nejnižší průměrná odchylka byla vykázána vlastním modelem s hodnotami -1,33 metry a 0,33 %, následovaným modelem Copernicus, u kterého byla průměrná odchylka -28,90 metry a -36,12 %. Model zveřejněný na stránkách Brněnského magistrátu měl největší průměrnou chybu -50,35 metry, což představovalo -75,26 %. Ve výsledku mediánových hodnot se opakuje stejné pořadí. Vlastní model byl shledán opět nejpresnějším s hodnotami 0,48 metry či 1,30 %, následovaný modelem Copernicus, který má medián -5,50 metry nebo -9,69 %. Největší odchylka byla zaznamenaná opět u modelu ze stránek Brněnského magistrátu, kde mediánová hodnota byla -60 metry či -90,13 %. V rámci směrodatné odchylky vlastního modelu byla zaznamenaná hodnota 4,76 metry, jež představuje 5,83 % odchylku v porovnání s referenčními hodnotami. Model Copernicus vykázal směrodatnou odchylku 39,19 metry, což představuje výraznou odchylku 40,20 %. Pro model Výška budov Brno byla zjištěna směrodatná odchylka 35,53 metry, která odpovídá odchylce 36,88 %.

Objekt	Referenční	Výška vlastní	Δh vlastní	Δ% vlastní	Výška	Δh	Δ%	Výška budov	Δh Výška	Δ% Výška budov
	hodnota	model	model	model	Copernicus	Copernicus	Copernicus	Brno	budov Brno	Brno
<b>Objekt E</b>										
<b>Plynárenská 1</b>	14,35 m	14,64 m	0,29 m	2,02%	14,00 m	-0,35 m	-2,44%	8,30 m	-6,05 m	-42,16%
<b>Objekt F1</b>										
<b>Plynárenská 1</b>	11,93 m	12,99 m	1,06 m	8,89%	11,00 m	-0,93 m	-7,80%	11,24 m	-0,69 m	-5,78%
AZ Tower	111,00 m	98,93 m	-12,07 m	-10,87%	13,00 m	-98,00 m	-88,29%	10,96 m	-100,04 m	-90,13%
FSI VUT	74,00 m	74,10 m	0,10 m	0,14%	4,00 m	-70,00 m	-94,59%	8,34 m	-65,66 m	-88,73%
Nemocnice Bohunice										
Pavilon L	69,00 m	69,89 m	0,89 m	1,29%	61,00 m	-8,00 m	-11,59%	0,00 m	-69,00 m	-100,00%
M-Palác	60,00 m	59,72 m	-0,28 m	-0,47%	57,00 m	-3,00 m	-5,00%	0,00 m	-60,00 m	-100,00%
Hotel Continental	51,00 m	51,67 m	0,67 m	1,31%	29,00 m	-22,00 m	-43,14%	0,00 m	-51,00 m	-100,00%
<b>Průměr</b>			<b>-1,33 m</b>	<b>0,33%</b>		<b>-28,90 m</b>	<b>-36,12%</b>		<b>-50,35 m</b>	<b>-75,26%</b>
<b>Medián</b>			<b>0,48 m</b>	<b>1,30%</b>		<b>-5,50 m</b>	<b>-9,69%</b>		<b>-60,00 m</b>	<b>-90,13%</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>			<b>4,76 m</b>	<b>5,83%</b>		<b>39,19 m</b>	<b>40,20%</b>		<b>35,53 m</b>	<b>36,88%</b>

Obrázek 34 Tabulka podrobného srovnání výškových map Brna. Pro objekt vyznačený tučným textem jsou k dispozici informace o absolutní výšce z projektové dokumentace. Červené označení výšek signalizuje, že naměřená hodnota je nižší než referenční hodnota. Naopak, zelené označení naznačuje, že naměřená hodnota je vyšší než referenční hodnota.



Obrázek 35 Graf zobrazující individuální naměřené výšky budov.

## 6.3 Plzeň

V případě Plzně byly zkoumány dva modely: vlastní model a model Copernicus. Zde (Obrázek 36) byly pozorovány výrazné rozdíly v hodnotách maximální výšky, kdy vlastní model dosáhl nejvyšší hodnoty 100,26 metrů, zatímco model Copernicus dosáhl pouze 60,00 metrů. Průměrná hodnota výšky opět vynikala u vlastního modelu s hodnotou 9,81 metrů, zatímco model Copernicus dosáhl 8,90 metrů. Pokud jde o směrodatnou odchylku, zde byla hodnota u vlastního modelu 6,57 metrů, zatímco u modelu Copernicus byla 6,01 metrů.

Datová sada	Maximální hodnota	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka
Vlastní model	100,26 m	9,81 m	6,57 m
Copernicus	60,00 m	8,90 m	6,01 m

Obrázek 36 Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Plzně.



V rámci porovnávání detailních hodnot (Obrázek 37, Obrázek 38), bylo zjištěno, že průměrná chyba u vlastního modelu činila -2,23 metrů tedy -16,37 %, zatímco model Copernicus vykazoval průměrnou chybu -1,87 metrů či -8,92 %. V případě mediánu se však situace obrátila, kdy vlastní model vykazoval chybu -0,06 metru či -0,10 %, zatímco model Copernicus dosáhl chyby -1 metr čili -1,64 %. V rámci směrodatné odchylky byly ovšem výsledky opačné, hodnoty modelu Copernicus byly 2,55 metrů či 13,23 % a u vlastního modelu byly vypočítány hodnoty 5,69 metrů a 41,00 %. Ve vlastním modelu byla zaznamenána směrodatná odchylka 5,69 metrů, představující 41% odchylku oproti referenčním hodnotám. U modelu Copernicus byla směrodatná odchylka 2,55 metrů, představující odchylku 13,23 %.

Objekt	Referenční hodnota	Výška vlastní model	$\Delta h$ vlastní model	$\Delta\%$ vlastní model	Výška Copernicus	$\Delta h$ Copernicu	$\Delta\%$ Copernicu
<b>KB Goethova</b>	26,00 m	26,89 m	0,89 m	3,42%	27,00 m	1,00 m	3,85%
Business Centre Bohemia	61,00 m	60,94 m	-0,06 m	-0,10%	60,00 m	-1,00 m	-1,64%
Nové divadlo	13,80 m	0,00 m	-13,80 m	-100,00%	14,00 m	0,20 m	1,45%
RD Richarda Krofty	15,26 m	15,27 m	0,01 m	0,07%	11,00 m	-4,26 m	-27,92%
Poštovního a telegrafní úřad Plzeň	24,53 m	24,31 m	-0,22 m	-0,90%	19,00 m	-5,53 m	-22,54%
Anglické nábřeží 943/9	24,65 m	24,48 m	-0,17 m	-0,69%	23,00 m	-1,65 m	-6,69%
<b>Průměr</b>			<b>-2,23 m</b>	<b>-16,37%</b>		<b>-1,87 m</b>	<b>-8,92%</b>
<b>Medián</b>			<b>-0,06 m</b>	<b>-0,10%</b>		<b>-1,00 m</b>	<b>-1,64%</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>			<b>5,69 m</b>	<b>41,00%</b>		<b>2,55 m</b>	<b>13,23%</b>

Obrázek 37 Tabulka podrobného srovnání výškových map Plzně. U tučně zvýrazněného objektu je známa absolutní výška z projektové dokumentace. Červeně vybarvení výšek poukazuje na menší naměřenou hodnotu, než je referenční hodnota. Zeleně vybarvení značí vyšší naměřenou hodnotu, nežli je referenční hodnota.



Obrázek 38 Graf představující naměřené výšky jednotlivých budov.

## 7. Diskuse

V rámci práce na vlastním modelu bylo pro zpracování použito pro jednotlivá města 250 mapových listů/výdejních jednotek z geoportálu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), s tím, že pro Brno to bylo 77 výdejních jednotek, pro Plzeň 44 a pro Prahu 134. Průměrná velikost jedné výdejní jednotky činila kolem 4 MB.

Mezi výhody vlastního modelu patří skutečnost, že jednotlivá data jsou dostupná zdarma na webových stránkách ČÚZK a že z nich je možné vytvořit model i pro celé území České republiky. Další výhodou tohoto modelu, ale i dalších modelů založených na datech z leteckého laserového skenování, je vysoká přesnost, například v porovnání s celoevropským modelem výšek budov z programu Copernicus. Nevýhodou může být relativně delší doba na zpracování, kdy je nejprve nutné stáhnout jednotlivé výdejní mapové jednotky, které je pak pro použití v programu ArcGIS Pro nutné ještě konvertovat ze souboru typu LAZ na LAS, se kterým je pak dále možné v programu pracovat. Poměrně velkou nevýhodou modelu využívajícího data od ČÚZK je, že jeho data pocházejí z let 2009-2013, což má za následek, že budovy vystavěné po tomto období v modelu nejsou zahrnuty. To se projevilo například v případě porovnání výšek budov Art a Gen, kde tento model zachytil jejich výstavbu, a tak jejich naměřená výška byla kolem 4 metrů. Ovšem tato nevýhoda se týká i modelu Copernicus, jehož data pocházejí ze snímků pořízených v roce 2012. V rámci časového hlediska tak nejlépe vychází datový model poskytnutý Institutem plánování a rozvoje hlavního města Prahy, jelikož jeho data byla snímána v roce 2018.

Rozmanitost datových zdrojů tak přináší otázky ohledně jejich časového a prostorového rozlišení, což ovlivňuje přesnost a relevanci výsledných modelů. Tato časová diferenciací má významný dopad na aktuálnost informací a prostorové rozlišení zase na kvalitu, kterou modely poskytují, a je třeba ji zvážit při jejich interpretaci. Je klíčové, aby výsledné modely byly konzistentní a aktuální, což vyžaduje pravidelnou aktualizaci dat.

V rámci zkoumání alternativních metod tvorby map výšek budov bylo v práci E. Keanyho a kolektivu (2022) zjištěno, že použití konvoluční neuronové sítě výrazně zlepšuje výsledky při vytváření mapy výšek budov, s výjimkou výpočetního času. B. Cai a kolektiv (2023) zase představili inovativní přístup využívající veřejně dostupná data Sentinel-1/-2 a crowdsourcingová data. Jejich síť pro odhad výšky budov, známá jako Building Height Estimating Network spolu s vylepšeným multimodálním modulem Selective-Kernel, kde po pečlivém tréninku dosáhl model významné přesnosti prokázala vysokou účinnost s malou kvadratickou chybou. Využití těchto metod by mohlo být velice přínosné pro oblasti, kde nejsou k dispozici data z leteckého laserového skenování, ale pouze data ze satelitů Sentinel.

Stejně jako ve vědeckém článku, který se zabývá vytvořením nákladově efektivní celostátní výškovou mapou Irska, se ukázalo, že u modelu Copernicus díky svému „nízkému“ rozlišení není možné přesně určit skutečné výšky budov, a tak není vhodný pro určité aplikace, které naopak vyžadují přesnou výšku budov (Keany et al., 2022). Ačkoliv se může jednat o nízkonákladové řešení v oblasti

zjišťování výšky budov, tak v průběhu práce se ukázalo, že mezi největší problémy modelu Copernicus se řadí hustá nízká zástavba, kde jeho výsledky nejméně odpovídaly realitě. Dalším limitujícím faktorem této datové sady byl fakt, že data tohoto modelu pocházejí z roku 2012, díky čemuž je nemožné zjistit výšku u budov postavených po tomto roce. Na druhou stranu klady tohoto modelu jsou jeho snadná dostupnost a fakt, že obsahuje data, která je možné stáhnout jednotlivě pro téměř všechna větší evropská města, nebo i v celku pro celou Evropu.

Výsledky analýzy výškových modelů budov v Brně přinesly několik překvapení, protože v mnoha případech výrazně neodpovídaly realitě a některé budovy chyběly úplně. Původně jsem předpokládal, že problém může být v poškozeném souboru shapefile, který je k dispozici ke stažení na stránkách Brněnského magistrátu. Avšak i po opakovaném stažení, a dokonce i při použití novější verze dat, se ukázalo, že některé budovy a jejich data stále chybí. Na webových stránkách magistrátu lze tuto vrstvu výškových modelů budov prohlížet přes ESRI online webovou mapu. Zde se paradoxně ukázalo, že budovy, které v shapefilovém souboru chyběly, jsou zde k dispozici. Tato rozporuplnost mezi offline a online verzí dat vyvolává otázky týkající se správnosti a aktualizace poskytovaných informací, a vyžaduje důkladné zkoumání a možná i komunikaci se správcem dat.

Co se týče modelu z geoportálu Prahy, tak ten se ukázal jako vůbec nejpresnější. Velkou roli v tom hrál fakt, že data tohoto modelu jsou z roku 2018. To souvisí s tím, že k pořízení dat mohla být využita novější a přesnější technika. Vyšší přesnost tohoto modelu oproti vlastnímu modelu je také zapříčiněna tím, že zahrnuje budovy vystavěné po roce 2013. Nevýhodou je pouze to, že aktuální model využívá data z roku 2018. Nicméně začátkem roku 2024 Praha zveřejnila na stránkách svého geoportálu nový 3D model. Tento nový model využívá nedávno získaná data z leteckého laserového snímkování. Zatím však existuje omezení, protože tento model je dostupný pouze online ve formě ESRI webové mapy. Přesné informace, jako například výšky budov, nejsou momentálně k dispozici ke stažení pro další zpracování v GIS programech nebo pro offline použití.

Pokud jde o širší využití, výsledné výškové mapy budov, například dle studie M. Kakoeiho a Y. Belegiho (2023), ukazují, že kombinací dat o výškách budov a údajů z družicového senzoru MODIS lze efektivně využít při zjišťování tepelných mostů. Výzkum provedený K. Perini a A. Magliocom (2014) prokazuje, že hustota a výška budov v městských oblastech ovlivňují potenciální teplotu a průměrnou sálavou teplotu. Jak zdůrazňují, výška budov sehrává klíčovou roli při určování potenciální teploty ve výšce 1,6 m nad úrovní terénu (Perini & Magliocco, 2014). Další využití prezentují ve své práci Alahmadi a kolektiv (2013), kde kombinací výškových map budov s daty ze sčítání lidu lze využít pro účely odhadu rozložení obyvatelstva na úrovni malých geografických jednotek, včetně úrovně parcel (Alahmadi et al., 2013). Dalším potenciálním využitím je při výzkumu výskytu nebezpečných látek ve vzduchu a dalších proměnných v městském prostředí (Kakoei & Baleghi, 2023). V neposlední řadě, také pro správné nastavení urbanistických procesů je rovněž klíčové znát výšky budov, jak zdůrazňuje Zhu a jeho tým ve své práci (Zhu et al., 2019).

## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit výškové mapy vybraných budov v několika městech České republiky, konkrétně v Praze, Brně a Plzni. Následně byly dosažené výsledky porovnány s existujícími datovými sadami reprezentujícími výškové mapy těchto měst. Účelem bylo ověřit konzistenci datových sad z různých zdrojů a zhodnotit přesnost jednotlivých vstupních výškových map.

Jednotlivé cíle, jako je tvorba vlastního modelu výšek budov a porovnání s ostatními datovými sadami z různých zdrojů, se podařilo naplnit. Výsledkem jsou vlastní výškové mapy jednotlivých měst vytvořené z dat leteckého laserového skenování ČÚZK, ze kterých je možné určit absolutní výšku budov na území vybraných měst. Dalším cílem bylo zhodnocení přesnosti a konzistence jednotlivých modelů výšek budov, což se také podařilo a přineslo zajímavé, avšak očekávané výsledky. Nejvíce přesné byly modely pořízené leteckým laserovým skenováním, přičemž nejpřesnějším byl model od Institutu plánování a rozvoje hlavního města Prahy, následovaný vlastním modelem. Jako předposlední skončil model výšek budov z programu Copernicus a jako poslední model Výšky budov Brna, v jehož vektorovém souboru zcela chyběly některé budovy nebo byly změřeny jen určité části budov, které se však neřadily mezi ty nejvyšší.

Celkově lze konstatovat, že modely založené na datech z leteckého laserového skenování patří mezi ty nejpřesnější, pokud jde o stanovení výšek budov, a nemají problém ani v hustě zastavěných oblastech, na rozdíl například od celoevropského modelu výšek budov z programu Copernicus. U tohoto modelu bylo hlavním omezením nízké rozlišení, což ho činí nevhodným pro aplikace, které vyžadují přesné informace o výšce budov. Avšak nevýhodou modelů získaných pomocí leteckého laserového skenování je to, že ne každá země má kompletně zmapováno své území tímto způsobem. Další nevýhodou, která platí i pro model Copernicus, je již značná zastaralost dat. Copernicus čerpá data ze snímků nasnímaných v roce 2012, což je v dnešní době již poměrně dlouhá doba. Stejně lze říci i o datových sadách ČÚZK, jejichž sběr probíhal v letech 2009 až 2013. Z tohoto hlediska byla v nejlepší pozici data poskytnutá IPR, protože byla na snímána v roce 2018.

Dalším směrem, kterým by se práce dále mohla ubírat, je inspirovat se přístupem D. Frantze a jeho kolektivem, kteří vytvořili výškovou mapu budov pro celé Německo a podobným způsobem vytvořit model pro celou Českou republiku, vycházející z dat leteckého laserového skenování. Postup zpracování by byl velmi podobný tomu, který byl použit při vytváření výškových map budov v rámci této diplomové práce, avšak v mnohem širším a časově náročnějším měřítku. Výsledný výstup by pak mohl být například k dispozici ke stažení ve formě rastrového souboru nebo online mapy, která by byla hostována například v rámci Esri Community Maps.

## 9. Literatura

### Literárni zdroje

- **Adeline, K. R. M., Chen, M., Briottet, X., Pang, S. K., & Paparoditis, N.**, 2013: Shadow detection in very high spatial resolution aerial images: A comparative study. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 21–38.
- **Alahmadi, M., Atkinson, P., & Martin, D.**, 2013: Estimating the spatial distribution of the population of Riyadh, Saudi Arabia using remotely sensed built land cover and height data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 167–176.
- **Ali, M. M., & Al-Kodmany, K.**, 2012: Tall Buildings and Urban Habitat of the 21st Century: A Global Perspective. *Buildings*, 2(4), 384–423.
- **Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A., & Nencini, F.**, 2004: A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(4), 313–317.
- **Arévalo, V., González, J., & Ambrosio, G.**, 2008: Shadow detection in colour high-resolution satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(7), 1945–1963.
- **Borck, R.**, 2016: Will skyscrapers save the planet? Building height limits and urban greenhouse gas emissions. *Regional Science and Urban Economics*, 58, 13–25.
- **Cai, B., Shao, Z., Huang, X., Zhou, X., & Fang, S.**, 2023: Deep learning-based building height mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122, 103399.
- **Campbell, J. B., & Wynne, R. H.**, 2011: Introduction to remote sensing. Guilford press, New York, 667 s.
- **Cheng, L., Wu, Y., Wang, Y., Zhong, L., Chen, Y., & Li, M.**, 2015: Three-Dimensional Reconstruction of Large Multilayer Interchange Bridge Using Airborne LiDAR Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(2), 691–708.
- **Chung, K.-L., Lin, Y.-R., & Huang, Y.-H.**, 2009: Efficient shadow detection of color aerial images based on successive thresholding scheme. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(2), 671–682.
- **Dare, P. M.**, 2005: Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(2), 169–177.
- **Erener, A.**, 2013: Classification method, spectral diversity, band combination and accuracy assessment evaluation for urban feature detection. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 397–408.
- **European Union**, 2015: Copernicus: Europe's eyes on Earth. Office of the European Union, Brussels, 28 s.
- **Frantz, D., Schug, F., Okujeni, A., Navacchi, C., Wagner, W., van der Linden, S., & Hostert, P.**, 2021: National-scale mapping of building height using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112128.

- **French, A. N., Norman, J. M., & Anderson, M. C., 2003:** A simple and fast atmospheric correction for spaceborne remote sensing of surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 87(2), 326–333.
- **Gargoum, S., & El-Basyouny, K., 2017:** Automated extraction of road features using LiDAR data: A review of LiDAR applications in transportation. 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 563–574.
- **Gelautz, M., Frick, H., Raggam, J., Burgstaller, J., & Leberl, F., 1998:** SAR image simulation and analysis of alpine terrain. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(1), 17–38.
- **Goetz, Alexandre. F. H., & Srivastava, V., 1985:** Mineralogical mapping in the Cuprite mining district, Nevada. *Proc. of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop JPL Publication 85(41)*, 22-31.
- **Haala, N., & Brenner, C., 1997:** Generation Of 3D City Models From Airborne Laser Scanning Data. 3rd EARSeL Workshop on LIDAR, Remote Sensing on Land and Sea, 1, 105–112.
- **Harvey, W., & Mckeown, D., 2008:** Automatic compilation of 3d road features using lidar and multi-spectral source data. *ASPRS 2008*, 1, 2-11.
- **Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, 2014:** Třetí rozměr města. Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, 2014, 60s.
- **Jia, J., Sun, H., Jiang, C., Karila, K., Karjalainen, M., Ahokas, E., Khoramshahi, E., Hu, P., Chen, C., Xue, T., Wang, T., Chen, Y., & Hyypä, J., 2021:** Review on Active and Passive Remote Sensing Techniques for Road Extraction. *Remote Sensing*, 13(21).
- **Jia, J., Wang, Y., Chen, J., Guo, R., Shu, R., & Wang, J., 2020:** Status and application of advanced airborne hyperspectral imaging technology: A review. *Infrared Physics & Technology*, 104, 103115.
- **Kaartinen, H., & Hyypä, J., 2006:** Evaluation of building extraction. Final Report, EuroSDR – European Spatial Data Research, Official Publication, 50, 9–77.
- **Kakooei, M., & Baleghi, Y., 2023:** Spatial-Temporal analysis of urban environmental variables using building height features. *Urban Climate*, 52, 101736.
- **Keany, E., Bessardon, G., & Gleeson, E., 2022:** Using machine learning to produce a cost-effective national building height map of Ireland to categorise local climate zones. *Advances in Science and Research*, 19, 13–27.
- **Lee, D., Lee, K. M., & Lee, S., 2008:** Fusion of Lidar and Imagery for Reliable Building Extraction. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74, 215–225.
- **Li, Y., Gong, P., & Sasagawa, T., 2005:** Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 26(18), 3911–3929.

- **Liasis, G., & Stavrou, S.**, 2016: Satellite images analysis for shadow detection and building height estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 437–450.
- **Lorenzi, L., Melgani, F., & Mercier, G.**, 2012: A complete processing chain for shadow detection and reconstruction in VHR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(9), 3440–3452.
- **Maier K.**, 2000: *Urbanistická čítanka: vybrané texty urbanistické literatury XX. století*. Česká komora architektů, Praha, 127 s.
- **Misra, P., Avtar, R., & Takeuchi, W.**, 2018: Comparison of Digital Building Height Models Extracted from AW3D, TanDEM-X, ASTER, and SRTM Digital Surface Models over Yangon City. *Remote Sensing*, 10(12).
- **Moon, W.**, 2012: *Geographic Information Systems and Science (3rd Edition)* by P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind (Book Review). *The Leading Edge (Society of Exploration Geophysicists)*, 31, 975–976.
- **Nagao, M., Matsuyama, T., & Ikeda, Y.**, 1979: Region extraction and shape analysis in aerial photographs. *Computer Graphics and Image Processing*, 10(3), 195–223.
- **Oke, T. R.**, 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8), 769–779.
- **Oke, T. R.**, 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24.
- **Oke, T. R.**, 2002: *Boundary layer climates*. Routledge.
- **Perini, K., & Magliocco, A.**, 2014: Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 495–506.
- **Potůčková, M., & Hofman, P.**, 2016: Comparison of Quality Measures for Building Outline Extraction. *The Photogrammetric Record*, 31(154), 193–209.
- **Rapant, P.**, 2002: *Úvod do geografických informačních systémů*. VŠB-TU, Ostrava, 112 s.
- **Resch, E., Bohne, R. A., Kvamsdal, T., & Lohne, J.**, 2016: Impact of Urban Density and Building Height on Energy Use in Cities. *Energy Procedia*, 96, 800–814.
- **Rottensteiner, F., Sohn, G., Gerke, M., Wegner, J., Breitkopf, U., & Jung, J.**, 2014: Results of the ISPRS benchmark on urban object detection and 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 256–271.
- **Rutzinger, M., Rottensteiner, F., & Pfeifer, N.**, 2009: A Comparison of Evaluation Techniques for Building Extraction From Airborne Laser Scanning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(1), 11–20.
- **Saha, P., Bandopadhyay, S., Kumar, C., & Mitra, C.**, 2020: Multi-approach synergic investigation between land surface temperature and land-use land-cover. *Journal of Earth System Science*, 129(1), 74.

- **Shao, Y., Taff, G. N., & Walsh, S. J.**, 2011: Shadow and building-height estimation using IKONOS data. *International Journal of Remote Sensing*, 32(22), 6929–6944.
- **Šilhánková, V.**, 2021: *Urbanistická typologie. Civitas per Populi*, Hradec Králové, 178 s.
- **Sirmacek, B., & Unsalan, C.**, 2011: A probabilistic framework to detect buildings in aerial and satellite images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(1 PART 1), 211–221.
- **Stal, C., Tack, F., De Maeyer, P., De Wulf, A., & Goossens, R.**, 2013: Airborne photogrammetry and lidar for DSM extraction and 3D change detection over an urban area – a comparative study. *International Journal of Remote Sensing*, 34(4), 1087–1110.
- **Sun, Y., Mou, L., Wang, Y., Montazeri, S., & Zhu, X. X.**, 2022: Large-scale building height retrieval from single SAR imagery based on bounding box regression networks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 184, 79–95.
- **Svatoňová, H., & Lauermann, L.**, 2010: *Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací: Vol. 1. Masarykova univerzita, Brno*, 96 s.
- **Szatmári, D., Kopecká, M., & Feranec, J.**, 2022: Accuracy Assessment of the Building Height Copernicus Data Layer: A Case Study of Bratislava, Slovakia. *Land*, 11(4).
- **Tanikawa, H., Fishman, T., Okuoka, K., & Sugimoto, K.**, 2015: The Weight of Society Over Time and Space: A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan, 1945–2010. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 778–791.
- **Terjung, W. H., & Louie, S. S.-F.**, 1973: Solar radiation and urban heat islands. *Annals of the Association of American Geographers*, 63(2), 181–207.
- **Tsai, V. J. D.**, 2006: A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(6), 1661–1671.
- **Tunka M.**, 2005: *Územní plánování v pojetí nového stavebního zákona. Prezentace Ministerstva pro Místní Rozvoj*, Praha.
- **Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C.**, 2012: An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sensing*, 4(5), 1392–1410.
- **Ul Islam, S., Jan, S., Waheed, A., Mehmood, G., Zareei, M., & Alanazi, F.**, 2022: Land-Cover Classification and its Impact on Peshawar's Land Surface Temperature Using Remote Sensing. *Computers, Materials & Continua*, 70(2), 4123–4145.



- **Wentz, E. A., York, A. M., Alberti, M., Conrow, L., Fischer, H., Inostroza, L., Jantz, C., Pickett, S. T. A., Seto, K. C., & Taubenböck, H., 2018:** Six fundamental aspects for conceptualizing multidimensional urban form: A spatial mapping perspective. *Landscape and Urban Planning*, 179, 55–62.
- **Wieczorek, W. F., & Delmerico, A. M., 2009:** Geographic information systems. *WIREs Computational Statistics*, 1(2), 167–186.
- **Wu, T., Perrings, C., Kinzig, A., Collins, J. P., Minter, B. A., & Daszak, P., 2017:** Economic growth, urbanization, globalization, and the risks of emerging infectious diseases in China: A review. *Ambio*, 46(1), 18–29.
- **Wu, Y., Blunden, L. S., & Bahaj, A. S., 2019:** City-wide building height determination using light detection and ranging data. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(9), 1741–1755.
- **Xiaoying, J., & Davis, C. H., 2005:** Automated Building Extraction from High-Resolution Satellite Imagery in Urban Areas Using Structural, Contextual, and Spectral Information. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2005.
- **Yang, B., Xu, W., & Dong, Z., 2013:** Automated Extraction of Building Outlines From Airborne Laser Scanning Point Clouds. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 10, 1399–1403.
- **Yang, X., & Li, Y., 2015:** The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature. *Building and Environment*, 90, 146–156.
- **Yari, D., Mokhtarzade, M., Ebadi, H., & Ahmadi, S., 2014:** Automatic reconstruction of regular buildings using a shape-based balloon snake model. *The Photogrammetric Record*, 29(146), 187–205.
- **Ye, Q., Xie, H., & Xu, Q., 2012:** Removing shadows from high-resolution urban aerial images based on color constancy. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B3, 525–530.
- **Zhu, Z., Zhou, Y., Seto, K. C., Stokes, E. C., Deng, C., Pickett, S. T. A., & Taubenböck, H., 2019:** Understanding an urbanizing planet: Strategic directions for remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 228, 164–182.

## Internetové zdroje

- **Brněnský architektonický manuál**, 2011: Objekty (online) [cit. 2024.02.02.], dostupné z <<https://www.bam.brno.cz/objekt>>.
- **Budějovická Alej s.r.o.**, 2003: Budějovická alej (online) [cit. 2023.11.12], dostupné z <<https://www.budejovickaalej.cz>>.
- **Budějovická Alej s.r.o.**, 2003: Fotogalerie (online) [cit. 2023.11.12], dostupné z <[https://www.budejovickaalej.cz/fotogalerie\\_vizualizace.php](https://www.budejovickaalej.cz/fotogalerie_vizualizace.php)>.
- **Building STATICS s.r.o.**, 2008: Budova České pojišťovny (online) [cit. 2023.10.21], dostupné z <<https://www.building-statics.cz/budova-ceske-pojistovny>>.
- **Building STATICS s.r.o.**, 2008: Budova České pojišťovny fotogalerie (online) [cit. 2023.10.21], dostupné z <[https://www.building-statics.cz/attachments/references/1\\_158](https://www.building-statics.cz/attachments/references/1_158)>.
- **CRISP**, 2001a: Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing – Microwave Remote Sensing (online) [cit. 2024.02.01], dostupné z <<https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/sargm.gif>>.
- **CRISP**, 2001b: Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing – Principles of remote sensing (online) [cit. 2024.02.01], dostupné z <<https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm>>.
- **Česká národní banka**, 2018: Historie ČNB – Období 1970 až 1989 (online) [cit. 2023.12.03], dostupné z <[https://www.historie.cnb.cz/cs/bankovni\\_budovy\\_a\\_pobockova\\_sit/vyvoj-pobockove-site/1970\\_1989.html](https://www.historie.cnb.cz/cs/bankovni_budovy_a_pobockova_sit/vyvoj-pobockove-site/1970_1989.html)>.
- **Český statistický úřad**, 2023: Statistiky (online) [cit. 2023.10.23], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/statistiky>>.
- **Český úřad zeměměřický a katastrální**, 2016a: ZABAGED® - Výškopis – DMP 1G. Digitální model povrchu České republiky 1. generace v S-JTSK, Bpv. (online) [cit. 2023.10.15], dostupné z <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(5zrvpgdoz0nauqjsif0jv3ay\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZZK-DMP1G-V&mapid=8&menu=303](https://geoportal.cuzk.cz/(S(5zrvpgdoz0nauqjsif0jv3ay))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZZK-DMP1G-V&mapid=8&menu=303)>.
- **Český úřad zeměměřický a katastrální**, 2016b: ZABAGED® - Výškopis – DMR 5G. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace v S-JTSK, Bpv. (online) [cit. 2023.10.15], dostupné z <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(5zrvpgdoz0nauqjsif0jv3ay\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(5zrvpgdoz0nauqjsif0jv3ay))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302)>.
- **Český úřad zeměměřický a katastrální**, 2023: ZABAGED® - polohopis – úvod (online) [cit. 2023.11.06], dostupné z <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(k4fwvm4hlq5vkvith2ceg34b\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady\\_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(k4fwvm4hlq5vkvith2ceg34b))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)>.

- **Dijkstra L., Hamilton E., Lall S., & Wahba S.**, 2020: How do we define cities, towns, and rural areas? (online) [cit. 2023.12.04], dostupné z <<https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/how-do-we-define-cities-towns-and-rural-areas>>.
- **ESRI**, 2021: ArcGIS Pro (online) [cit. 2023.10.21], dostupné z <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>>.
- **ESRI**, 2022: History of GIS (online) [cit. 2024.01.28], dostupné z <<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis>>.
- **European Environment Agency**, 2022: Urban Atlas Building Height 2012 (raster 10 m), Europe – version 3 (online) [cit. 2023.12.10], dostupné z <<https://doi.org/10.2909/42690e05-edf4-43fc-8020-33e130f62023>>.
- **European Space Agency**, 2023: Sentinels (online) [cit. 2023.12.11], dostupné z <[https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/Sentinels](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinels)>.
- **Evropská komise**, 2015: O programu Copernicus (online) [cit. 2023.11.06], dostupné z <<https://www.copernicus.eu/cs/o-programu-copernicus>>.
- **GIS WORLD**, 1996: Roger Tomlinson: The Father of GIS (online) [cit. 2024.01.28], dostupné z <<https://web.archive.org/web/20010312175609/http://www.geoplace.com/gw/1996/0496/0496feat2.asp>>.
- **McGaughey. B.**, 2018: LIDAR Basics. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station (online) [cit. 2024.02.01], dostupné z <<http://forsys.cfr.washington.edu/LIDAR/lidar.html>>.
- **Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy**, 2023: Absolutní výšky budov (online) [cit. 2024.02.02], dostupné z <<https://geoportalpraha.cz/data-a-sluzby/b5db29c4f156475086de2d25e430d290>>.
- **Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy**, 2023: O nás (online) [cit. 2023.11.06], dostupné z <<https://iprpraha.cz/o-nas>>.
- **Kudělková, L.**, 2018: Encyklopedie Brna – Jihomoravská plynárenská, a.s. (online) [cit. 2023.12.13], dostupné z <[https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil\\_domu&load=943](https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_domu&load=943)>.
- **Lenovo Group Limited**, 2022: ThinkPad T14 Gen 3 Intel Specifications (online) [cit. 2023.10.15], dostupné z <[https://psref.lenovo.com/syspool/Sys/PDF/ThinkPad/ThinkPad\\_T14\\_Gen\\_3\\_Intel/ThinkPad\\_T14\\_Gen\\_3\\_Intel\\_Spec.pdf](https://psref.lenovo.com/syspool/Sys/PDF/ThinkPad/ThinkPad_T14_Gen_3_Intel/ThinkPad_T14_Gen_3_Intel_Spec.pdf)>.
- **Loxia a.s.**, 2003: Budějovická alej (online) [cit. 2023.11.12], dostupné z <<https://www.loxia.cz/budejovicka-alej>>.
- **Magistrát hlavního města Prahy**, 2023a: Historie hlavního města Prahy (online) [cit. 2023.10.30], dostupné z <[https://www.praha.eu/jnp/cz/co\\_delat\\_v\\_praze/o\\_praze/historie\\_mesta/index.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/co_delat_v_praze/o_praze/historie_mesta/index.html)>.

- **Magistrát hlavního města Prahy**, 2023b: Základní informace (online) [cit. 2023.10.30], dostupné z <[https://www.praha.eu/jnp/cz/co\\_delat\\_v\\_praze/o\\_praze/zakladni\\_informace/index.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/co_delat_v_praze/o_praze/zakladni_informace/index.html)>.
- **Magistrát města Brna**, 2011: Historie města Brna (online) [cit. 2023.10.29], dostupné z <<https://web.archive.org/web/20211018070710/http://www.brno.cz/turista-volny-cas/historie-mesta/historie-mesta-brna/>>.
- **Magistrát města Brna**, 2020: Výška budov v Brně (online) [cit. 2023.10.21], dostupné z <<https://data.brno.cz/datasets/mestobrno::v%C3%BD%C5%A1ka-budov-building-heights/about>>.
- **Metlička, D.**, 2021: Goethova Č. P. 2704 (online) [cit. 2023.12.03], dostupné z <[https://encyklopedie.plzen.eu/home-mup/?acc=profil\\_domu&load=103](https://encyklopedie.plzen.eu/home-mup/?acc=profil_domu&load=103)>.
- **Odbor územního plánování a rozvoje Magistrátu města Brna**, 2004: Areál Jihomoravské Plynárenské po přestavbě (online) [cit. 2023.12.13], dostupné z <[https://web.archive.org/web/20190905163919im\\_/https://www.ibrno.cz/images/stories/clanky/2013/O5/Brownfields-areal\\_JMP.jpg](https://web.archive.org/web/20190905163919im_/https://www.ibrno.cz/images/stories/clanky/2013/O5/Brownfields-areal_JMP.jpg)>.
- **Pecuch, M.**, 2022: Po stopách historie města (online) [cit. 2023.10.23], dostupné z <<https://www.plzen.eu/o-meste/historie/po-stopach-historie/>>.
- **Plzeňský architektonický manuál**, 2014: Objekty (online) [cit. 2024.02.02], dostupné z <<https://pam.plzne.cz/objekt>>.
- **PPF Real Estate s.r.o.**, 2014: Art Gen – Fotogalerie (online) [cit. 2023.10.16], dostupné z <<http://www.artgen.cz/assets/frontend/img/gallery/58.jpg>>.
- **PPF Real Estate s.r.o.**, 2014: Art Gen – K pronájmu (online) [cit. 2023.10.16], dostupné z <<http://www.artgen.cz/k-pronajmu>>.
- **PSN s.r.o.**, 2023: Pronájem kancelářských prostor v Brně (online) [cit. 2023.12.13], dostupné z <[https://www.psn.cz/images/property\\_pictures/8111/full/img\\_156512.webp](https://www.psn.cz/images/property_pictures/8111/full/img_156512.webp)>.
- **Spojené národy**, 2023: Cíl 11: Zajistit, aby města byla inkluzivní, bezpečná, odolná a udržitelná (online) [cit. 2023.12.04], dostupné z <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>>.
- **Stavbaweb.cz, & Česká tisková kancelář**, 2012: Komplex administrativních budov Argentinská hvězda (online) [cit. 2023.10.16], dostupné z <<https://www.stavbaweb.cz/komplex-administrativnich-budov-argentinska-hvezda-7396/clanek.html>>.
- **Tuza K., & Uhlíř A.**, 2005: Nový komplex plynáren opět v odlesku světla (online) [cit. 2023.12.13], dostupné z <<http://old.konstrukce.cz/clanek/novy-komplex-plynaren-opet-v-odlesku-svetla/>>.
- **Vulpo, R.**, 2015: Komerční banka v Plzni, pohled od budovy BCB (online) [cit. 2023.12.03], dostupné z <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plze%C5%88,\\_Komer%C4%8Dn%C3%AD\\_banka,\\_1.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plze%C5%88,_Komer%C4%8Dn%C3%AD_banka,_1.jpeg)>.

### **Legislativní materiály**

- Zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), v platném znění.
- Zákon č. 359/1992 Sb., o zeměměřičských a katastrálních Orgánech, v platném znění.

### **Projektové dokumentace**

- **A PLUS a.s.**, 2002: Provozní objekt „F1“ – Změna JMP a.s. Brno, Radlas – Řez C-C, „nepublikováno“. Dep: GasNet s.r.o., Brno.
- **IQservis.cz, s.r.o.**, 2020: Požárně bezpečnostní řešení – Technická zpráva PO Budějovická alej, „nepublikováno“. Dep: Budějovická Alej s.r.o., Praha.
- **Kolářová V.**, 1983: Adaptace a přestavba rodinného domu, garáže, skleníku, „nepublikováno“. Dep: Špátová, Z., Praha
- **Metrostav a.s.**, 2007: Projektová dokumentace – Budova Generali-České Pojišťovny Na Pankráci 123, „nepublikováno“. Dep: Generali Česká pojišťovna a.s., Praha.
- **Syner s.r.o.**, 2012: Projektová dokumentace Art Gen, „nepublikováno“. Dep: Art Office Gallery a.s., Praha
- **Wild R.**, 2011: Projektová dokumentace – Rekonstrukce KB Goethova, „nepublikováno“. Dep: In. point architekti s.r.o., Praha.

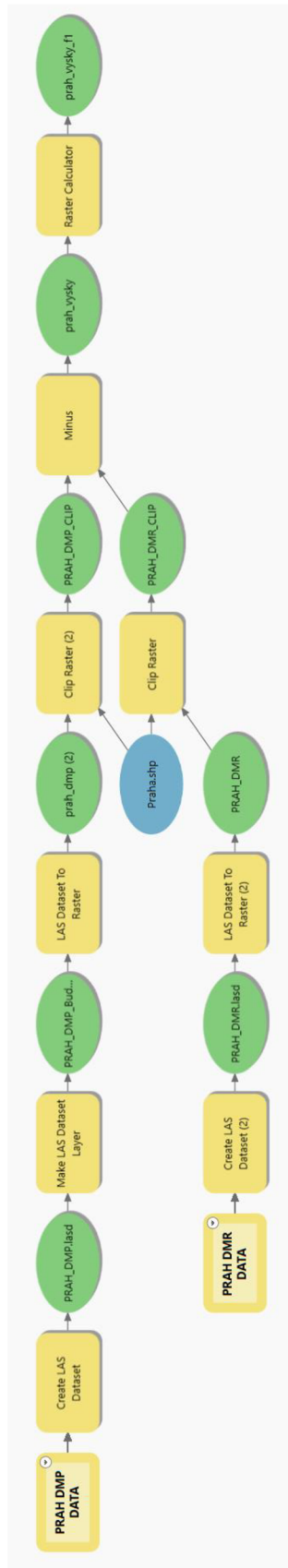
## 10. Seznam obrázků

Obrázek 1 Princip pasivního snímání (Ul Islam et al., 2022). .....	14
Obrázek 2 Princip aktivního snímání (Ul Islam et al., 2022). .....	15
Obrázek 3 Princip snímání radaru se syntetickou aperturou (CRISP, 2001a). .....	15
Obrázek 4 Snímání pomocí lidarů (Bob McGaughey, 2018). .....	16
Obrázek 5 Porovnání rastrů a vektorů (Humboldt State University, 2018). .....	18
Obrázek 6 Město Praha vyznačené na mapě České republiky s vybranými budovami (1. Budějovická alej, 2. Art Gen, 3. Ústřední telekomunikační budova, 4. Generali-ČP Na Pankráci 112, 5. Dům Sluneční náměstí, 6. Prague Towers). .....	25
Obrázek 7 Pohled na budovu Art (vlevo) a Gen (vpravo) (PPF Real Estate s.r.o., 2014). .....	27
Obrázek 8 Pohled na budovu Budějovická alej (Budějovická Alej s.r.o., 2003). .....	27
Obrázek 9 Záběr na budovu Generali České Pojišťovny – Na Pankráci 123 (Building STATICS s.r.o., 2008). .....	28
Obrázek 10 Lokace města Brna vyznačená na mapě České republiky společně s vybranými budovami (1. Objekt E a F1 v areálu Plynárenská 1, 2. Pávilon L nemocnice Bohunice, 3. AZ Tower, 4. M-Palác). .....	29
Obrázek 11 Foto nižší východní části objektu E a objektu F1 (nalevo od schodiště) (Odbor územního plánování a rozvoje Magistrátu města Brna, 2004). .....	30
Obrázek 12 Pohled na budovu F1 v Plynárenské ulici, v popředí část objekt E (PSN s.r.o., 2023). .....	30
Obrázek 13 Krajské město Plzeň vyznačené na mapě České republiky s vybranými budovami. (1. KB Goethova, 2. Business Center Bohemia, 3. RD Richarda Krofty, 4. Poštovní a telegrafní úřad Plzeň, 5. Nájemní domy Živnostensko-občanského stavebního a bytového družstva Plzeň. ....	31
Obrázek 14 Pohled na budovu Komerční Banky (Renardo la Vulpo, 2015). .....	32
Obrázek 15 Pracovní plocha programu ArcGIS Pro. ....	36
Obrázek 16 Model, jenž vedl k vytvoření mapy výšek budov pro jednotlivá města. ....	37
Obrázek 17 Konverze dat stažených z ČUZK. ....	38
Obrázek 18 Slučování LAS výdejných jednotek do jednoho souboru. ....	38
Obrázek 19 Vyfiltrování vegetace a zemského povrchu z vrstvy DMP. ....	39
Obrázek 20 Převedení DMP LAS dat na rastr. ....	40
Obrázek 21 Převedení DMR LAS dat na rastr. ....	40
Obrázek 22 Oříznutí DMR dle hranic města. ....	41
Obrázek 23 Odečtení výšky terénu z rastru DMP pomocí nástroje Minus. ....	41
Obrázek 24 Početní operace v nástroji Raster Calculator. ....	42
Obrázek 25 Porovnání vlastního výškového modelu (vpravo) s modelem Copernicus (vlevo). .....	43
Obrázek 26 Nastavení nástroje Zonal statistics as table. ....	43
Obrázek 27 Vypočet souhrnné statistiky pro vektorovou vrstvu výšek města Brna. ....	43
Obrázek 28 Celkové porovnání přesnosti jednotlivých modelů v metrech. ....	44
Obrázek 29 Celkové porovnání přesnosti jednotlivých modelů v procentech. ....	44
Obrázek 30 Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Prahy. ....	45
Obrázek 31 Tabulka podrobného srovnání výškových map Prahy. Pro objekt označený tučně jsou dostupná data o absolutní výšce z projektové dokumentace. Červené zvýraznění výšek indikuje, že naměřená hodnota je menší než referenční hodnota. V případě zeleného označení je naměřená hodnota vyšší než referenční hodnota. ....	46
Obrázek 32 Graf jednotlivých naměřených výšek budov. ....	46

Obrázek 33 Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Brna. ....	47
Obrázek 34 Tabulka podrobného srovnání výškových map Brna. Pro objekt vyznačený tučným textem jsou k dispozici informace o absolutní výšce z projektové dokumentace. Červené označení výšek signalizuje, že naměřená hodnota je nižší než referenční hodnota. Naopak, zelené označení naznačuje, že naměřená hodnota je vyšší než referenční hodnota. ....	48
Obrázek 35 Graf zobrazující individuální naměřené výšky budov. ....	48
Obrázek 36 Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Plzně. ....	48
Obrázek 37 Tabulka podrobného srovnání výškových map Plzně. U tučně zvýrazněného objektu je známa absolutní výška z projektové dokumentace. Červené vybarvení výšek poukazuje na menší naměřenou hodnotu, než je referenční hodnota. Zelené vybarvení značí vyšší naměřenou hodnotu, nežli je referenční hodnota. ....	49
Obrázek 38 Graf představující naměřené výšky jednotlivých budov. ....	49

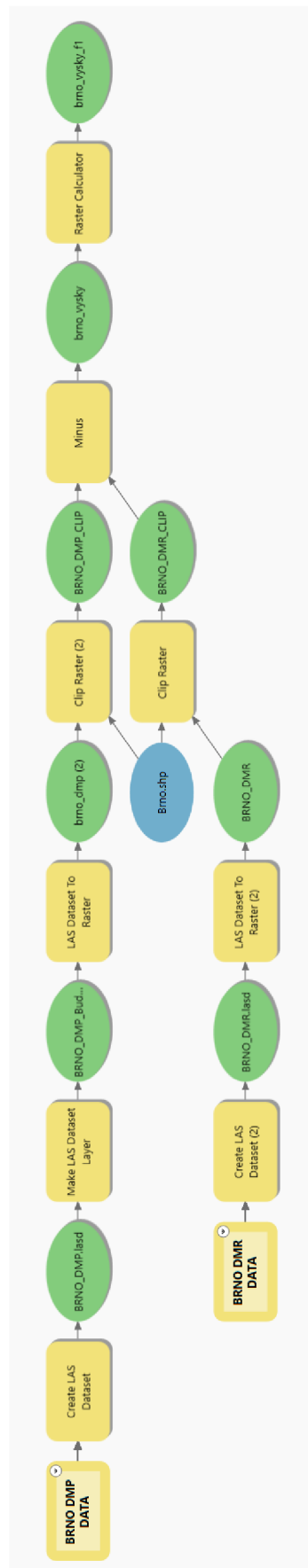
# 11. Přílohy

## Příloha č.1 – Model builder Praha

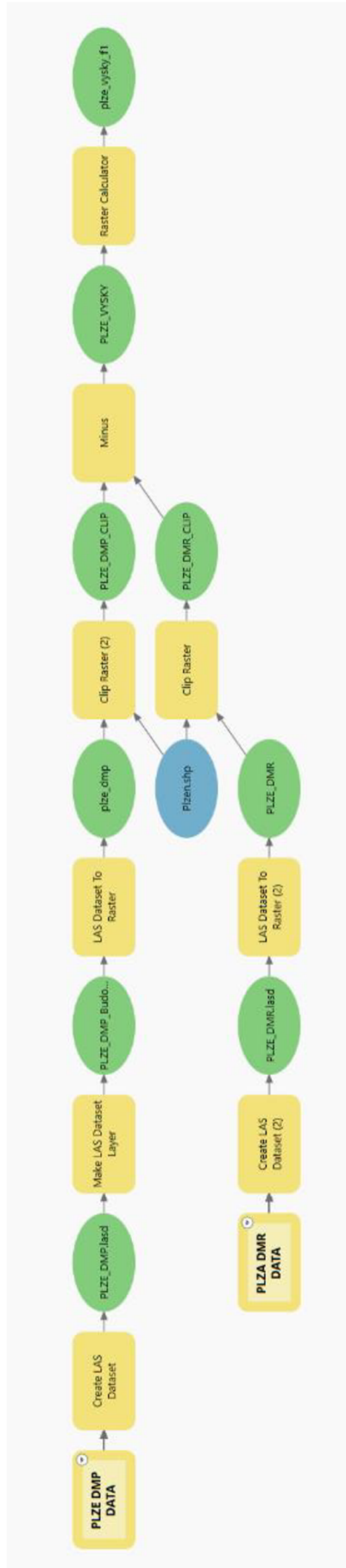




## Příloha č.2 – Model builder Brno



### Příloha č.3 – Model builder Plzeň



**Příloha č.4 – Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Prahy**

Objekt	Referenční hodnota		Výška vlastní		Δh vlastní		Δ% vlastní		Výška Copernicus		Δh Copernicus		Δ% Copernicus		Model IPR		Δh model IPR		Δ% model IPR	
	hodnota	model	model	model	model	model	model	model	Copernicus	Copernicus	Copernicus	Copernicus	IPR	IPR	IPR	IPR	IPR	IPR		
Budova Art	38,30 m	4,55 m	-33,75 m	-88,12%	0,00 m	-38,30 m	-100,00%	38,45 m	0,15 m	0,39%										
Budova Gen	27,60 m	4,25 m	-23,35 m	-84,60%	0,00 m	-27,60 m	-100,00%	25,54 m	-2,06 m	-7,46%										
Budějovická alej	45,10 m	39,60 m	-5,50 m	-12,20%	25,00 m	-20,10 m	-44,57%	38,72 m	-6,38 m	-14,15%										
Generali ČP Na Pankráci 112	25,00 m	27,72 m	2,72 m	10,88%	26,00 m	1,00 m	4,00%	27,26 m	2,26 m	9,04%										
Bytový dům SOL Hotel International	73,00 m	67,44 m	-5,56 m	-7,62%	66,00 m	-7,00 m	-9,59%	67,11 m	-5,89 m	-8,07%										
Palác Vínohrady	67,80 m	67,84 m	0,04 m	0,06%	77,00 m	9,20 m	13,57%	68,70 m	0,90 m	1,33%										
Ubytovna Kupa	80,00 m	70,84 m	-9,16 m	-11,45%	63,00 m	-17,00 m	-21,25%	71,31 m	-8,69 m	-10,86%										
Arnika	73,00 m	66,72 m	-6,28 m	-8,60%	66,00 m	-7,00 m	-9,59%	73,07 m	0,07 m	0,10%										
Dům Sluneční náměstí	73,50 m	73,42 m	-0,08 m	-0,11%	73,00 m	-0,50 m	-0,68%	73,87 m	0,37 m	0,50%										
Prague Towers	65,00 m	65,08 m	0,08 m	0,12%	64,00 m	-1,00 m	-1,54%	66,11 m	1,11 m	1,71%										
City Tower	109,00 m	109,78 m	0,78 m	0,72%	116,00 m	7,00 m	6,42%	108,13 m	-0,87 m	-0,80%										
ÚTB	85,00 m	82,53 m	-2,47 m	-2,91%	86,00 m	1,00 m	1,18%	81,18 m	-3,82 m	-4,49%										
Sportovní centrum Řepy hala SO1	12,36 m	0,00 m	-12,36 m	-100,00%	0,00 m	-12,36 m	-100,00%	0,00 m	-12,36 m	-100,00%										
RD Nedražická 1	9,30 m	9,57 m	0,27 m	2,90%	11,00 m	1,70 m	18,28%	9,59 m	0,29 m	3,12%										
Průměr			-6,25 m	-19,98%		-7,53 m	-23,12%		-2,94 m	-9,56%										
Medián			-2,47 m	-2,91%		-2,00 m	-2,99%		-0,87 m	-0,80%										
Směrodatná odchylka			10,18 m	37,31%		13,27 m	42,42%		4,52 m	25,88%										

## Příloha č.5 – Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Brna

Objekt	Referenční hodnota		Výška vlastní model		Δh vlastní model		Δ% vlastní model		Výška Copernicus		Δh Copernicus		Δ% Copernicus		Výška budov Brno		Δh budov Brno		Δ% Výška budov Brno	
	hodnota	model	model	model	model	model	model	model	Copernicus	Copernicus	Copernicus	Copernicus	Copernicus	Copernicus	Brno	Brno	Brno	Brno	Brno	Brno
<b>Objekt E</b>																				
<b>Plynárenská 1</b>	14,35 m	14,64 m	0,29 m	2,02%	14,00 m	-0,35 m	-2,44%	8,30 m	-6,05 m	-42,16%										
<b>Objekt F1</b>																				
<b>Plynárenská 1</b>	11,93 m	12,99 m	1,06 m	8,89%	11,00 m	-0,93 m	-7,80%	11,24 m	-0,69 m	-5,78%										
AZ Tower	111,00 m	98,93 m	-12,07 m	-10,87%	13,00 m	-98,00 m	-88,29%	10,96 m	-100,04 m	-90,13%										
FSI VUT	74,00 m	74,10 m	0,10 m	0,14%	4,00 m	-70,00 m	-94,59%	8,34 m	-65,66 m	-88,73%										
Nemocnice Bohunice Pavilon L	69,00 m	69,89 m	0,89 m	1,29%	61,00 m	-8,00 m	-11,59%	0,00 m	-69,00 m	-100,00%										
M-Palác	60,00 m	59,72 m	-0,28 m	-0,47%	57,00 m	-3,00 m	-5,00%	0,00 m	-60,00 m	-100,00%										
Hotel Continental	51,00 m	51,67 m	0,67 m	1,31%	29,00 m	-22,00 m	-43,14%	0,00 m	-51,00 m	-100,00%										
<b>Průměr</b>			-1,33 m	0,33%		-28,90 m	-36,12%		-50,35 m	-75,26%										
<b>Medián</b>			0,48 m	1,30%		-5,50 m	-9,69%		-60,00 m	-90,13%										
<b>Směrodatná odchylka</b>			4,76 m	5,83%		39,19 m	40,20%		35,53 m	36,88%										

Příloha č.6 – Tabulka celkového srovnání jednotlivých výškových map Plzně

Objekt	Referenční hodnota	Výška vlastní model	Δh vlastní model	Δ% vlastní model	Výška Copernicus	Δh Copernicu	Δ% Copernicu
<b>KB Goethova</b>	26,00 m	26,89 m	0,89 m	3,42%	27,00 m	1,00 m	3,85%
Business Centre Bohemia	61,00 m	60,94 m	-0,06 m	-0,10%	60,00 m	-1,00 m	-1,64%
Nové divadlo	13,80 m	0,00 m	-13,80 m	-100,00%	14,00 m	0,20 m	1,45%
RD Richarda Krofty	15,26 m	15,27 m	0,01 m	0,07%	11,00 m	-4,26 m	-27,92%
Poštovního a telegrafní úřad Plzeň	24,53 m	24,31 m	-0,22 m	-0,90%	19,00 m	-5,53 m	-22,54%
Anglické nábřeží 943/9	24,65 m	24,48 m	-0,17 m	-0,69%	23,00 m	-1,65 m	-6,69%
<b>Průměr</b>			<b>-2,23 m</b>	<b>-16,37%</b>		<b>-1,87 m</b>	<b>-8,92%</b>
<b>Medián</b>			<b>-0,06 m</b>	<b>-0,10%</b>		<b>-1,00 m</b>	<b>-1,64%</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>			<b>5,69 m</b>	<b>41,00%</b>		<b>2,55 m</b>	<b>13,23%</b>

