

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra prostorových věd



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Hodnocení přesnosti výšek budov v
produktech ČÚZK a IPR v katastrálním území**

Praha – Braník

Bc. Jiří Šimánek

**Regionální environmentální správa –
kombinovaná**

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Přesnost výšek zástavby vygenerovaných z dat ČÚZK" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023

Poděkování

Rád(a) bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janu Komárkovi Ph.D. za vedení, pomoc a konzultace s touto prací. Dále bych chtěl velice poděkovat panu doc. Ing. Janu Skalošovi, Ph.D. a paní Mileně Ventové, kteří mi pomohli ze situace, kdy jsem v době odevzdání byl urgentně hospitalizován. Velké poděkování patří mé rodině za trpělivost a podporu při psání této diplomové práce. V neposlední řadě chci poděkovat firmě, ve které pracuji, za pochopení a vstřícnost.

Hodnocení přesnosti výšek budov v produktech ČÚZK a IPR v katastrálním území Praha – Braník

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá přesností výšek dostupných z datových sad Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a Institutu plánování a rozvoje hlavního města Prahy. Zpracovávané území pro tuto práci bylo vybráno v Praze, přesněji ve 4. městské části, katastrálního území Braník.

V rešeršní části této diplomové práce je obecně popsáno, co jsou to referenční výškové systémy včetně jejich historie a popis dvou jich nejvýznamnějších. Dále jsou v práci obecně popsány metody měření výšek budov, informace o moderní skenovací technologii Lidar, popis datových sad ČÚZK a IPR. Poslední popis v této části je zaměřen na historii a vývoj Braníku především po stránce zástavby.

Výsledná data o výškách budov byla získána za pomoci počítačového nástroje GIS, do kterého byla nahrána již zpracovaná data ze serverů ČÚZK nebo IPR. Z každé z těchto datových sad byly dále zpracovány digitální modely terénu a digitální modely reliéfu. Díky jejich prostému odečtení v kombinaci s vrstvou polygonů budov z Digitální technické mapy Praha vyšly výšky budov bez okolního terénu pro vrstvy ČÚZK a také pro IPR.

Aby bylo možné veškeré výsledky mezi sebou srovnat, bylo nutné provést terénní měření za pomoci měřicího laseru. Toto proběhlo na území k. ú. Braník u pečlivě zvolených budov. Výšková data zaměřených budov pak byla zpracována a porovnána s vytvořenými vrstvami dat z ČÚZK, IPR a staženou vrstvou výšky budov z IPR.

Po porovnání všech výsledků lze uvažovat, že nejlepší způsob pro zjištění výšky budovy by byl pomocí vrstvy Relativních výšek budov stažených z opendat z Geoportalpraha.

Klíčová slova: Výška budov, zástavba, Braník, DMP1G, DMR5G, model povrchu

Assessment of the accuracy of building heights in the ČÚZK and IPR products in the Prague – Braník

Abstract

This thesis deals with the accuracy of heights available from the datasets of the Czech Office of Surveying and Cadastre and the Institute of Planning and Development of the City of Prague. The area for this thesis was selected in Prague, more precisely in the 4th urban district, cadastral area Braník.

In the research part of this thesis it is generally described what reference height systems are, including their history and a description of two of their most important ones. Furthermore, the thesis describes in general the methods of measuring building heights, information about the modern Lidar scanning technology, description of the ČÚZK and IPR datasets. The last description in this part focuses on the history and development of Braník, especially in terms of building development.

The resulting data on building heights were obtained using a computer GIS tool into which already processed data from the ČÚZK or IPR servers were uploaded. Digital terrain models and digital elevation models were further processed from each of these datasets. Thanks to their simple subtraction in combination with the layer of building polygons from the Digital Technical Map of Prague, the heights of buildings without surrounding terrain were obtained for both the ČÚZK and IPR layers.

In order to compare all the results with each other, it was necessary to make field measurements using a measuring laser. This was carried out on the territory of k. ú. Braník at carefully selected buildings. The height data of the surveyed buildings were then processed and compared with the created data layers from ČÚZK, IPR and the downloaded building height layer from IPR.

After comparing all the results, it can be considered that the best way to find the building height would be by using the Relative Building Heights layer downloaded from the Geoportalprah.opendata.

Keywords: Building height, buildings, development, Braník, DMP1G, DMR5G, surface model

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Geografický informační systém	10
3.2 Referenční systémy	11
3.2.1 Historie	11
3.2.2 Jadranský výškový systém	11
3.2.3 Rozdíl mezi Baltským a Jadranským referenčním systémem	12
3.2.4 Baltský po vyrovnání	12
3.3 Výšky budov	13
3.3.1 Metody měření výšek budov	13
3.3.2 Měření výšky budov	13
3.4 Lidar	15
3.4.1 Lidar	15
3.4.2 Zpracování surových dat Lidar	16
3.4.3 Historie	16
3.5 ZABAGED	16
3.5.1 DMP1G	17
3.5.2 DMR5G	17
3.6 Geoportál Praha	17
3.6.1 Opendata.....	18
3.7 Zájmové území k. ú. Braník	18
3.7.1 Obecná historie před připojením k Praze	18
3.7.2 Zástavba	19
3.7.3 Vývoj katastrálního území Braník.....	20
4 Metodika	23
4.1 Rozdělení katastrálního území Braník na oblasti podle doby výstavby ...	23
4.2 Terénní měření výšek budov	24
4.2.1 Tabulky pro zápis měřených dat	25
4.3 Tvorba výšek budov z modelů povrchu a modelů terénu	25
4.3.1 Výšky budov z dat ČÚZK	25
4.3.2 Výšky budov z dat IPR	26
4.4 Porovnávání výšek budov z dat ČÚZK s open data Praha	26
5 Výsledky	28

5.1	Výšky budov z dat VB_{ČÚZK} a VB_{IPR}	28
5.1.1	Rozdíly mezi ČÚZK a IPR	29
5.1.2	Vybrané objekty s rozdílnými výškami VB _{IPR} a VB _{ČÚZK}	31
5.1.3	Výsledná tabulka výšek budov IPR	31
5.1.4	Výsledná tabulka výšek budov ČÚZK	32
5.1.5	Výsledná data výšek budov ze serveru IPR a ČÚZK	32
5.2	Terénní měření budov	33
5.2.1	Tabulka terénního měření s porovnáváním vrstvami VB _{ČÚZK} , VB _{IPR} a bud_vys_IPR	33
5.2.2	Statistické vyhodnocení odchylek od měřených dat	34
6	Diskuze	37
7	Závěr	38
8	Literatura	39
9	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

V dnešní době je růst měst velmi dynamický a jejich rozvoj je převážně komplexní. Řeší se plochy, které budou sloužit pro bydlení, které budou sloužit pro pracovní náplň, které budou sloužit pro průmysl, ale také se řeší vymezení ploch, které jsou důležité pro rekreaci. Jednou z nejdůležitějších a nejvíce řešenou problematikou v rámci urbanismu je bydlení a jeho přizpůsobení lidem tak, aby byly splněny veškeré potřeby.

To se samozřejmě týká i výšek budov, které se zástavbou souvisejí. Pro plánování a projektování nových staveb jsou výšky budov důležité, aby bylo zajištěno, že stavba bude v souladu s právními předpisy a normami a nebude tak nikde zakrývat například výhled nebo narušovat proslunění jiného vnitřního prostoru. Jednoduše není vůbec možné, aby byly výškové bytové domy stavěny uprostřed zástavby rodinných domů a opačně, aby byly rodinné domky situované mezi výškové budovy. Dalším důležitým aspektem je požární bezpečnost, kde znalost výšky budovy je důležitá pro složky záchranného systému. Výšky budov jsou dost zásadní i pro architekty, urbanisty a další odborníky, kteří se dále podílejí na dalším rozvoji města v rámci esteticky plánovacího procesu, aby na sebe vše navazovalo.

Obecně jsou tedy výšky budov velice důležité ve všech ohledech a je dobré také zjistit, z jakých dat můžeme čerpat při potřebě jejich co nejpřesnějšího a nejaktuálnějšího zjištění.

2 Cíl práce

Výškopisná data od ČÚZK zahrnují jak modely povrchu, tak modely reliéfu a jsou dostupná pro celou ČR. Rozdíl výšek modelů povrchů a modelů reliéfu představuje výšku objektu umístěného na zemi. Prostým rozdílem těchto dvou rastrů by se tak v místech zástavby měla zjistit výška budov. Pro řadu měst je výška budov ve formě geodat volně dostupná a je tudíž možné tato data porovnat s výškou budov zjištěnou z výškopisných dat ČÚZK. Zároveň proběhne měření in situ pomocí měřicího přístroje.

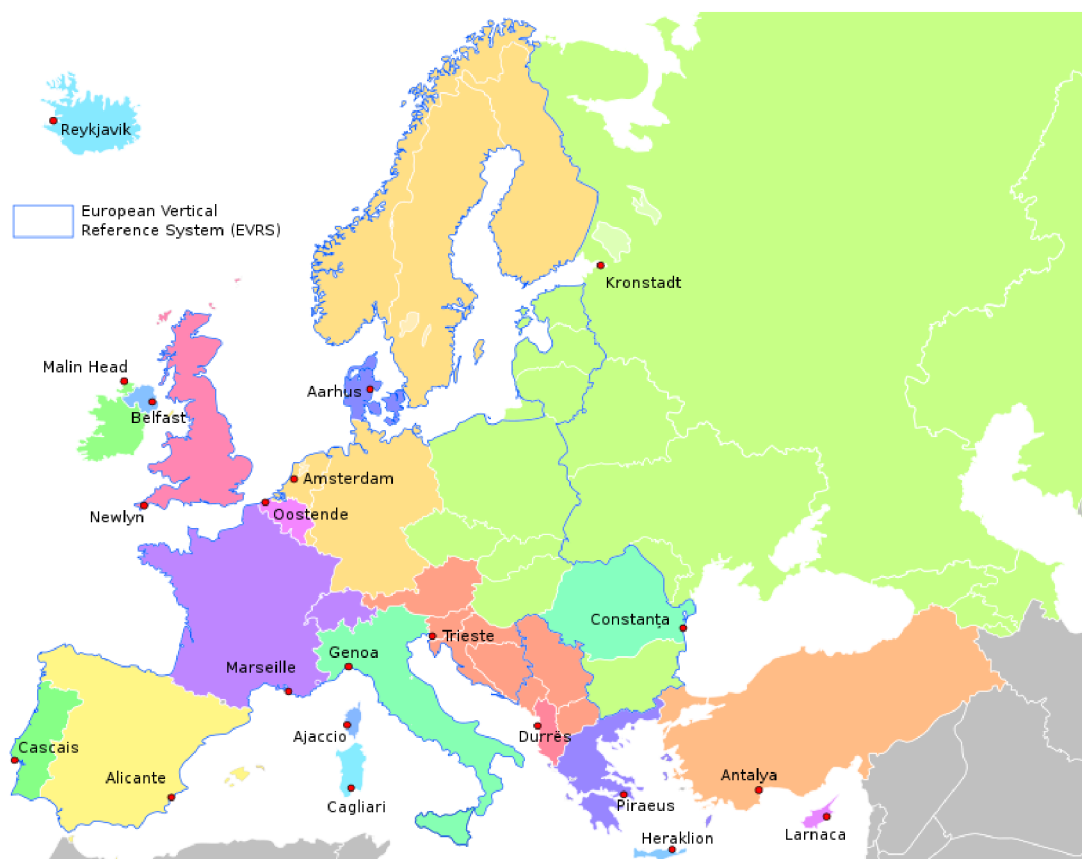
Cílem práce je vyhodnocení přesnosti stanovených výšek zástavby v odvozených produktech ČÚZK a IPR v katastrálním území Praha – Braník. Dále je cílem porovnat produktové výšky budov s vlastním terénním měřením a výsledky vyhodnotit i s ohledem na urbanistický vývoj zvoleného území.

3 Literární rešerše

3.1 Geografický informační systém

GIS je počítačový program, který umožňuje vytváření, zpracování, upravování a vizualizování geografických dat. Definice dle ESRI zní: „GIS je organizovaný soubor počítačového software, hardware a geografických údajů navržený pro efektivní získávání, upravování, ukládání, analyzování, obhospodařování a zobrazování všech forem geografických informací.“. Definice dle Clause a Schvill (1991): „Informační systém je soubor software a hardware na uchovávání, získávání, spojování a vyhodnocování informací. Informační systém se skládá ze systému báze dat, zařízení na zpracování dat a vyhodnocovacích programů“. Obecně se prostorová data dělí na rastrová a vektorová. Rastrem je myšlena pravidelná mřížka, která může pokrývat celý zemský povrch nebo jen jeho část. Buňky této mřížky se nazývají pixely. Jednotlivé pixely obsahují číselnou informaci, která může představovat jevy diskrétní jako je například číselný index, představující typ povrchu, ale také jevy spojité, kterými jsou srážky, nadmořská výška a teplota. Vektorová data kromě informací popisných (atributů) obsahují i informace prostorové. Vektorová data se dělí na body, linie a polygony (plošky na zemském povrchu). Příkladem vektorových dat je formát shapefile od firmy ESRI, může se používat i formát DWG od firmy AUTODESK, KML od firmy Google.

3.2 Referenční systémy



obr. 1: Mapa, kde jsou vykresleny jednotlivé výškové systémy v Evropě. (WIKI, 2013)

3.2.1 Historie

Historicky od roku 1872 do roku 1896 byla nivelační síť I. řádu měřena Vojenským zeměpisným útvarem. Pro veškeré výškové body pro určité státy byla vybrána místa, kde se nepředpokládal další geologický posun. Jeden z celkem sedmi hlavních bodů byl i pro ČR základní nivelační bod Lišov (565,1483 tehdy dle Jadranu, 564,7597 dnes dle Bpv), což je pomník nacházející se v okrese České Budějovice. Tyto body byly vztaženy ke střední hladině Jaderského moře v italském Terstu. Přesněji byl bod stabilizován v budově celnice, Molo Sartorio (Štroner, 2022)

3.2.2 Jadranský výškový systém

Je to výškový systém, který udává výšku nad hladinou moře se třemi různými referenčními body. Pro výšky nad mořem v Rakousku se využívá údaj ke střední hladině v přístavu Molo Sartorio s hladinou určenou v roce 1875, zatímco pro státy jako Slovinsko, Chorvatsko, Bosna a Hercegovina, Černá Hora, Kosovo, Makedonie a Srbsko se sice využívá údaj střední vody v přístavu Molo Sartorio, ovšem z roku

1900. Pro výšky nad mořem ve státě Albánie se využívá stejná definice Jadranského výškového systému, avšak výchozí bod středního moře se nachází v přístavním městě Drač (Wikipedie, 2022).

3.2.3 Rozdíl mezi Baltským a Jadranským referenčním systémem

Výškový rozdíl, který je mezi Baltem a Jadranem, činí cca 0,4 m. Tento rozdíl se neustále mění v řádu centimetrů. „Po vyrovnání“ je vztaženo k místnímu průběhu geoidu. Hladiny moří se liší, má na to vliv příliv, odliv a také vlny, ovšem pro výpočet se bere dlouhodobá určená střední hodnota za několik desítek let, která se stabilizuje a napevno se z ní vychází (TomF, 2006). Proces měření je založen na předpokladu, že oceány a zemský povrch jsou statické a jejich výška se nemění. V současnosti se výšky povrchu země a oceánů mění v důsledku globálního oteplování. Dochází k tání ledovců po celém světě, především tedy na Antarktidě a v Grónsku. To způsobuje hydrostatické vyrovnání změny výšky hladiny a globální izostatické vyrovnání zemského povrchu z důvodu hmotného úbytku ledu (Mojžeš a Kalafut, 2019).

3.2.4 Baltský po vyrovnání

Výškový referenční systém Baltský po vyrovnání (Bpv) pro ČR byl zaveden roku 1957. Podle Kaplana a et al. (2015) je definován výškovým nulovým bodem stupnice vodočtu, který je umístěný na břehu Baltského moře v Kronštadu v Rusku nedaleko Petrohradu. Dále je tento systém definován souborem normálních výšek z mezinárodního vyrovnání nivelačních sítí (Wikiwand, 2022).

3.3 Výšky budov

3.3.1 Metody měření výšek budov

Budova se měří pomocí geodetických metod a zařízení. Nejčastěji se používají dvě základní metody, kterými jsou vnější a vnitřní měření. Vnější měření výšky budov se nejčastěji používá pro účely architektury, designu nebo průmyslového projektování. K měření se obvykle používají dalekohledy, laserové měřiče, GPS nebo jiná speciální zařízení.

Vnitřní měření se používá k měření výšky uvnitř objektu. Obvykle využívá pro stavební účely, jako například při výstavbě nebo renovaci budov. K měření se používají laserové měřiče, dalekohledy nebo jiná speciální zařízení. U obou typů měření geodet umístí měřicí zařízení na pevný bod uvnitř budovy a měří vzdálenost a úhel mezi tímto bodem a vrcholem budovy. Následně je pomocí trigonometrických výpočtů nebo matematických modelů vypočtena výška budovy.

Při měření budov se obvykle používají také geodetické nástroje, jako jsou například total stanice, GPS přijímače, nivelíry a další speciální zařízení. Tyto nástroje umožňují velmi přesné měření a určení výšky budovy s minimálními chybami.

3.3.2 Měření výšky budov

Městské systémy se skládají z mnoha heterogenních složek, které jsou ale geograficky různorodé a mimořádně komplikované (Grigillo a Kanjir, 2012). Jejich expanze směru vertikálního po stránce objemu nebo výšek budov je vnímána stále více jako důležitý indikátor a prvek městského prostředí (Phakar et al., 2018). Systémy aglomerací ze své podstaty vyžadují sofistikované techniky a algoritmy, aby poskytovaly výsledky, které jsou především na bázi automatického vygenerování (Grigillo a Kanjir, 2012).

Tradičně se výška budov posuzovala na základě map zobrazujících poměr podlahové plochy odvozený z obchodních řízení s pozemky a aktualizovaných průzkumů využití půdy, statistických ročenek, leteckých snímků a map dodaných místními úřady (Phakar et al., 2018). Digitální model povrchu se v dříve publikovaných metodách používal pouze k detekci budov. Jen malý počet autorů zkoumal skutečný potenciál DMP s ohledem na rekonstrukci budov, a pokud tak učinili, použili buď zjednodušené modely, nebo využili dodatečná vstupní data (Brunn a Weidner, 2002). Dle Mi et al., (2013) byla vytvořena nová technika rozpoznávání

budov pouze z dat DMP, která funguje za pomoci tří kroků. Nejdříve je používáním principu minimální délky popisu rekonstruován povrch terénu, poté jsou pomocí extrakce z původních dat vyčleněny nadzemní objekty, kterými se rozumí budovy a stromy. Nakonec jsou stromy morfologickým způsobem odstraněny, tak aby bylo možné vidět jen budovy. Výsledky, které jsou nakonec porovnány s leteckými snímky, mají kvalitní míru rozpoznání a akceptovatelnou odchylku neboli chybovost.

Nyní se stále častěji oblíbenou technikou monitorování městského prostředí stávají digitální výškové modely budov vytvořené na základě technik a metod dálkového průzkumu Země (Phakar et al., 2018), které doplňuje možnost použití široké škály geoinformací (Frantz et al., 2021). Digitální výšky budov lze využít k mnoha různým účelům, včetně odstraňování a přestavby staveb a předvídaní růstu měst. Výšky budov z různých období mohou také poskytnout informace o tom, jak politika ovlivňuje horizontální i vertikální růst měst, pokud jsou tedy dostupné (Phakar et al., 2018).

Je to parametr, který je náročný přesně měřit ve větších regionech, jako jsou celé země. Alternativou pro měření výšek budov mohou být snímky vržených stínů budov s velmi vysokým rozlišením, ovšem když se stíny budov překrývají, nepřesnost měření se zvyšuje, což velmi ovlivňuje i samostatná vnější geometrie budovy.

Další metodou je fotogrammetrické porovnávání dvojic stereo-snímků s vysokým rozlišením nebo snímků leteckých, popřípadě z dronů (Frantz et al., 2021). U této metody je již více jak dvacet let významnou oblastí ve výzkumu fotogrammetricky využíváno automatické vygenerování městských objektů z dat shromážděných leteckými senzory (Grigillo a Kanjir, 2012). Musí se určitě počítat s výslednými daty, které ovlivňuje výška při jejich měření. Zvyšující se nadmořská výška totiž znamená rostoucí nepřesnosti fotogrammetrických údajů. Například získaná data z letadla jsou přesnější než z jejich vesmírných ekvivalentů. Přestože fotogrammetrie a LAS mohou být stejně přesné, metoda laserového skenování ze vzduchu (LAS) je vhodnější pro určování výšek budov, především tedy ve spojení při použití s trojrozměrnými modely měst, kde původ dat pochází z oficiálních katastrů (Frantz et al., 2021).

V posledních letech se zvýšil zájem a úsilí o vývoj automatických nebo alespoň poloautomatických metod pro sběr 3D dat městského prostředí včetně její modernizace (Brunn a Weidner, 2002), ovšem při těchto metodách automatického 3D ověřování staveb bývá problémem identifikovat objekty, které jsou zaneseny v modelu, který byl

již vytvořen, avšak současný stav budovy vykazuje, že budovy byly buď rekonstruovány, upraveny nebo zbourány a nepodobají se tak realitě (Nyaruhuma et al., 2012).

Pro vygenerování budov používá mnoho autorů kombinaci dat z lidarů s fotogrammetrickými snímky (Grigillo a Kanjir, 2012), aby byla zvýšena přesnost jejich detekce (Mi et al., 2013). Je zřejmé, že zkoumání výšek budov se využívá pro různé obory, které hrají v určitých výzkumech svoji roli. Dle Prahkar a Wataru, (2017) je možné díky satelitu s hrubým rozlišením v kombinaci s nočním světlem, které z vesmíru může indikovat lidskou činnost konanou na planetě, odhadovat výšky budov pomocí digitálního modelu terénu. Předpokládá se, že použití výšky budovy ve spojení s nočním světlem může poskytnout informace o charakteru různých urbanizovaných oblastí. Nejnovějšími datovými sadami DMP pro celý svět jsou ASTER a ALOS World 3D. Každá z nich je veřejně přístupná s rozlišením 30 metrů.

3.4 Lidar

3.4.1 Lidar

Lidar neboli také Light Detection and Ranging je využívaná technologie, která pomocí elektromagnetických vln dokáže zjistit vzdálenost mezi senzorem a analyzovaným prostředím, či objektem, pomocí laserového paprsku, který se šíří rychlostí světla. Lidar může být i používán k mapování land cover (Guan et al., 2022). Tato snímací technologie dálkového průzkumu země je jednou z nejpoužívanějších technik v oblasti analyzování geodetických dat, mapování a lokalizace (Benedek et al., 2021). Ostatní lokalizační systémy fungující na globálním navigačním satelitním systému se přizpůsobují prostředí a dokáží ho také bez problému analyzovat, avšak v urbanizovaných oblastech pro ně bývá dostupnost skenování složitější, protože se tam nachází budovy a stromy. Z těchto systémů proto oproti ostatním vyčnívá senzor Lidar, který je pro sken povrchu mnohokrát efektivnější, účinnější a přizpůsobivější vůči náhlým změnám osvětlení. Díky jeho kvalitám se ovšem musí počítat s velkým množstvím paměti na jeho zachycená data (Dong et al., 2023). Pomocí laserového skenování s kombinací půdorysů budov z katastru je dokonce možné tvarovat trojrozměrné modely budov (Frantz et al., 2021).

3.4.2 Zpracování surových dat Lidar

Při zpracování dat z měření LIDAR se při většině aplikací musí naskenovaná data efektivně vyfiltrovat, tedy odstranit z dat nežádoucí objekty a šum. Zejména se jedná o pohybující se objekty, jako jsou lidé, zvířata, automobily atp., nebo například o vegetaci v případě, že se zpracovatel snaží získat pouze model reliéfu. Pohybující se objekty mohou být odstraněny díky tomu, že se projevují nízkou hustotou mračna bodů v místě trajektorie pohybu (Xia et al. 2022).

3.4.3 Historie

První použití lidarů se datují k roku 1963, kdy byl využíván pro výzkumy atmosféry ve vysokohorském prostředí, monitorování životního prostředí, družicového měření, a dokonce také pro účely vojenské a národní obrany (Guan et al. 2022).

3.5 ZABAGED

Základní báze geografických dat České republiky je digitální geografický model vytvořený komplexně pro území ČR. Tato data jsou spravována Zeměměřickým úřadem v zájmu veřejném. Slouží jako zdroj geografických informací pro základní mapy ČR v měřítku od 1 : 10 000 do 1 : 100 000. Dále je také využíván pro Základní topografickou mapu, datovou strukturu INSPIRE a pro tvorbu vojenských map dle standardů aliance NATO. ZABAGED je momentálně tvořen ze 137 typů geografických objektů, které jsou zařazeny do polohopisné či výškopisné části. Objekty jsou pravidelně aktualizovány pro celé území ČR, a to aktualizacemi plošnými anebo aktualizacemi průběžnými. Data ZABAGED v letech 2013 – 2019 byla pomocí laserového skenování zpřesňována u určitých typů objektů, jako jsou například silnice a dálnice, železnice a vodstvo.

Polohopisná část ZABAGED obsahuje informační data o dvourozměrném prostoru a veškeré možné popisné informace o urbanizovaných oblastech, silnicích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách, CHKO, povrchu a vegetaci a terénním reliéfu. U určitých typů objektů se v databázi v atributové části nachází identifikátory, které obsahují přesnější a podrobnější informace.

3.5.1 DMP1G

Digitální model povrchu České republiky 1. generace jsou data poskytovaná serverem ČÚZK, které zobrazují nepravidelnou síť výškových bodů pro stavby a rostlinný pokryv pro území ČR. Pro budovy má úplnou střední chybu výšky 0,4 m a pro objekty, které se nedají ohraničit, což jsou například lesy a další rostlinný pokryv, 0,7 m. Vznik těchto dat byl pořízen pomocí lidarů, tedy metodou leteckého snímání výškopisů terénu pomocí laserového skenování v letech 2009 až 2013. DMP1G je využíván například při analýzách viditelnosti, modelování šíření radiových vln, modelování šíření škodlivých látek a nečistot do ovzduší, nebo také generování virtuálních pohledů na terén v leteckých simulátorech (ČÚZK, 2010).

3.5.2 DMR5G

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace jsou data poskytovaná serverem ČÚZK, které zobrazují zemský povrch přirozený nebo upravený lidskou činností ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti, která má své body v souřadnicích X,Y,H, kde H zobrazuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v terénu, který je odkrytý a 0,3 m v zalesněném terénu. Vznik těchto dat byl pořízen pomocí lidarů, tedy metodou leteckého snímání výškopisů terénu pomocí laserového skenování v letech 2009 až 2013. Dokončení pro celé území České republiky bylo 30.6.2016. DMR5G je využíván například při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb a dále také modelování přírodních jevů lokálního charakteru (ČÚZK, 2010).

3.6 Geoportál Praha

Vrstva polygonů budov, která je dostupná na Geoportalpraha, byla vytvořena v roce 2008 a je průběžně aktualizována (Geoportalpraha, 2022).

Vrstva digitálního modelu terénu byla vytvořena v roce 2015, zatímco vrstva relativních výšek byla vytvořena až v roce 2018. Výška budov byla vytvořena pomocí vrstvy Budovy 3D, která byla vytvořena fotogrammetricky stejného roku. Vrstva

digitálního modelu terénu byla tvořena taktéž fotogrammetricky, avšak poslední dobou jsou tato data tvořena letecky pomocí metody LAS, tedy laserového skenování, které vytváří mračna bodů. Jak digitální model terénu, tak relativní výška budov obsahují klasifikovaný rastr, což znamená, že v každém pixelu, který se tam nachází, má informace o jeho nadmořských výškách (Geoportalpraha, 2022).

3.6.1 Opendata

Navzdory skutečnosti, že možnosti pro otevřená data jsou obecně stále rozšířenější, mnoho datových sad zůstává soukromých, protože vyžadují značné náklady na jejich pořízení. Otevřené alternativy k datům katastru bývají komunitní (Otevřené – streetmapy), avšak jsou prostorově nedostatečné a geograficky nekonzistentní. (Frantz et al., 2021).

3.7 Zájmové území k. ú. Braník

K. Ú. Braník se nachází v městské části Prahy 4, která leží v jižní části území města Prahy, a to na pravém břehu řeky Vltavy. Do výše zmíněného katastrálního území spadá i část výše položeného sídliště Novodvorská.

3.7.1 Obecná historie před připojením k Praze

V roce 1366 Karel IV. udělil kapitulárům Pražského hradu privilegium vybírání cla v místě Braníku z plaveného dříví, se kterým se v území i obchodovalo.

První a potvrzené zmínky historie Braníku se ale datují ke 14. století, kdy část branických pozemků byla vlastněna českými královnami a druhá část některým z pražských kostelů.

V dnešní době se často užívá jako pojmenování této lokality „Braník“, což bývá ne úplně adekvátní k historickému významu pojmenování této lokality. Název nejspíše vznikl na základě termínu branný neboli také ohrazený, ozbrojený či opevněný.

V druhé polovině 14. století byly na stránkách území zakládány vinice, lámán vápenec z dnes známé a viditelné branické skály (Augusta, 2015). Dále se zde také lidé živili obchodováním se dřevem z vorů, rybářstvím a ledařstvím (Landová, 2003).

Za husitské revoluce bylo území zmocněno pražskými měšťany, avšak majetek jim byl zkonfiskován. V 16. století byl znovu koupen Staroměstskou obcí, ovšem po Bílé hoře o něj také přišla konfiskací a po nějaké době jí byl navrácen.

Za třicetileté války byl zničen staroměstský dvůr a opevněná tvrz, a to způsobem takovým, že se nepodařilo dodnes historicky zachovat vůbec nic.

V roce 1662 byla staroměstská část Braníka připojena k libeňskému panství, které bylo rovněž zakoupeno Staroměstskou obcí (Augusta, 2005).

Stavební růst během začátku 19. století před připojením k Praze nebyl stále nijak dramatický, především z důvodu, že jediným průmyslem, který byl v Braníku provozován, bylo pálení vápna. To tehdy bylo tak proslulé, že bylo ceněné dokonce až v Itálii, kam se vápno známé jako „Pasta di Praga“ dováželo. Důležité bylo pro tehdejší obec paroplavební spojení s Prahou, které bylo iniciováno tehdejším primátorem Prahy Františkem Dittrichem (Augusta, 1998). Historický střed Prahy byl obklopen velkými předměstími (jako např. Braník), tehdy ještě samostatnými obcemi, které s městem plynule souvisely, avšak připojení k hlavnímu městu se bránily z důvodu vyšších daní atp.

Po začátku 20. století byly vybudovány dnes známé stavby, pivovar, branické ledárny (Augusta, 1998) a silniční tunel ve Vyšehradské skále, který propojil Braník s Prahou, což předurčilo jeho další rozvoj (Bartoň et al., 2021). Braník byl tehdy nejvíce proslaven svými zelinářskými (Augusta, 1998) a květinářskými zahradami a ovocnými sady, které znamenaly pro velkou část tamního obyvatelstva možnost práce (Bartoň et al., 2021).

3.7.2 Zástavba

Před připojením k velké Praze bylo katastrální území Braníka se svým počtem 138 domů a s 1520 obyvateli menší obcí. Na přelomu 19. a 20. století se počet zvýšil na 3178 obyvatel a zhruba po dvaceti letech se počet navýšil pouze nepatrně. Změna nastala po vzniku samostatného Československého státu v období 1. republiky, kdy se začalo hodně stavět a začalo být i výhodné se připojit k městu Praha. Počty obyvatel se zdvojnásobily (Broncová, Polák 2014).

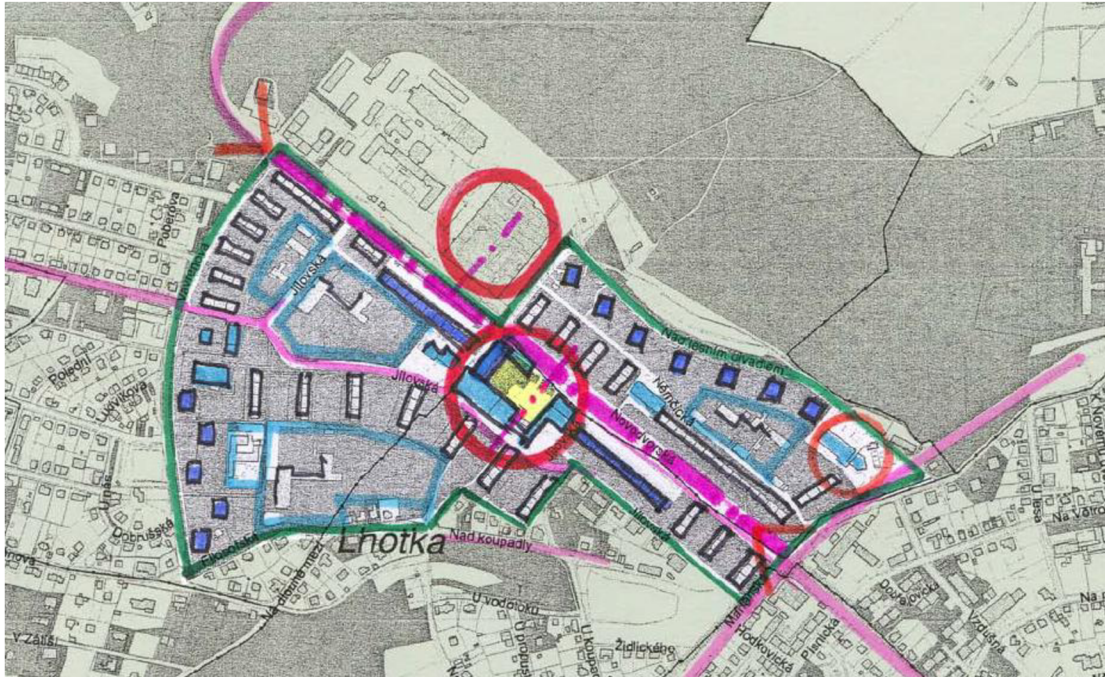
Charakteristický venkovní ráz ve středu obce zůstává sice stejný, ovšem okolo ní se začaly stavět rodinné domy a později vilové čtvrti. Charakteristiku vilové čtvrti si Braník dokázal udržet i po roce 1922 (Primusová et al., 1980), kdy po připojení 1. ledna začal být součástí Prahy (Dvořáková et. al., 2020). Během dvacátých let 20.

století byly v severní části území Braníka stavěny rodinné domy místním družstvem, které výstavbu dokončilo na přelomu 20. a 30. let. Vzorem pro výstavbu byly anglické domky se zahradami a zelení (Augusta, 1998).

Venkovská zástavba s nádechem původního uspořádání zůstala převážně podél Branické ulice. Na tradiční venkovskou zástavbu začaly být pozvolna napojovány první činžovní a vilové domy, které byly umístěovány na svazích a plochách obou kopců, které se nacházejí v katastrálním území Braník (Dvořáková et. al., 2020). Tyto první vícepodlažní bytové a vilové domy vznikaly už před rokem 1938 (Augusta, 1998), další se napojovaly okolo roku 1966, jako například Sídliště Novodvorská na jihovýchodě katastrálního území, které bylo postaveno mezi roky 1964–1969. Tato bytová zástavba opět navazovala na obytné plochy (především vila domy), které byly stavěny s předválečnými regulacemi. Nově stavěné území převzalo z tehdejších regulací hlavní uliční osu, tedy ulice Novodvorská a dále hlavní veřejné prostranství, kterým je dnes náměstí Novodvorská. Výšky bytových domů a jejich situování byly dobře promyšleny, protože pražské sídliště patří k vrcholu začlenění nového do již zastavěného území po stránkách estetiky a harmonizace (Hexner a Zajíc, 2007). Přes převažující výstavbu bytových domů v tehdejší období byly stavěny uvnitř vilových čtvrtí v určitých lokacích rodinné domy (Dvořáková et. al., 2020).

3.7.3 Vývoj katastrálního území Braník

Vymezení rozvojových oblastí bylo vytvořeno na základě historických podkladů. Ve vymezeném území na severu od roku 1938 do roku 1954 převažovala výstavba vila domů. Po roce 1954 do roku 1966 na západě K. Ú. byly stavěny vila domy a rodinné domy. Od roku 1966 do roku 1975 byly vybudovány bytové domy a menší množství domů rodinných na jihovýchodě Braníka. Poslední vývojová etapa se nachází uprostřed zájmového území, která byla vymezena pomocí leteckých snímků z roku 2022. Na nevyužitě ploše byla postavená novodobá bytová zástavba s rodinnými řadovými domy.



Obr. 2: návrh sídliště Novodvorská a jeho hlavní osa+ náměstí (Hexner a Zajíc, 2007)

Rozvoj bytové zástavby přinesl do 80. let 20. století rychlý nárůst v kategorii počtu obyvatel, který tvořil skoro 23 000 lidí. Po přelomu výše zmíněného období až k hranici tisíciletí začalo docházet naopak k úbytku, kde se počet dostal až k hranici 18 000 obyvatel a nyní jsou počty v zásadě neměnné. Na počátku 90. let začalo také klesat množství výstavby bytových domů a nyní se spíše usiluje o výstavbu bytových domů na plochách k tomu vhodných jako jsou například brownfields a volné nevyužité plochy. Trendem dnešní doby, stejně tak i v této vilové lokalitě, je asanace starých domů a výstavba nových rodinných domů namísto toho (Dvořáková et. al., 2020).

Obrázek č. 3 a 4 jsou příklady nacházející se v katastrálním území Braník, u kterých proběhla výše zmíněná asanace a výstavba nového rodinného domu s úplně diametrální výškou oproti předchozímu domu.



Obr. 3: Dům, který byl postaven během 20 století a nyní zde již nestojí (Google maps – street view, 2019)



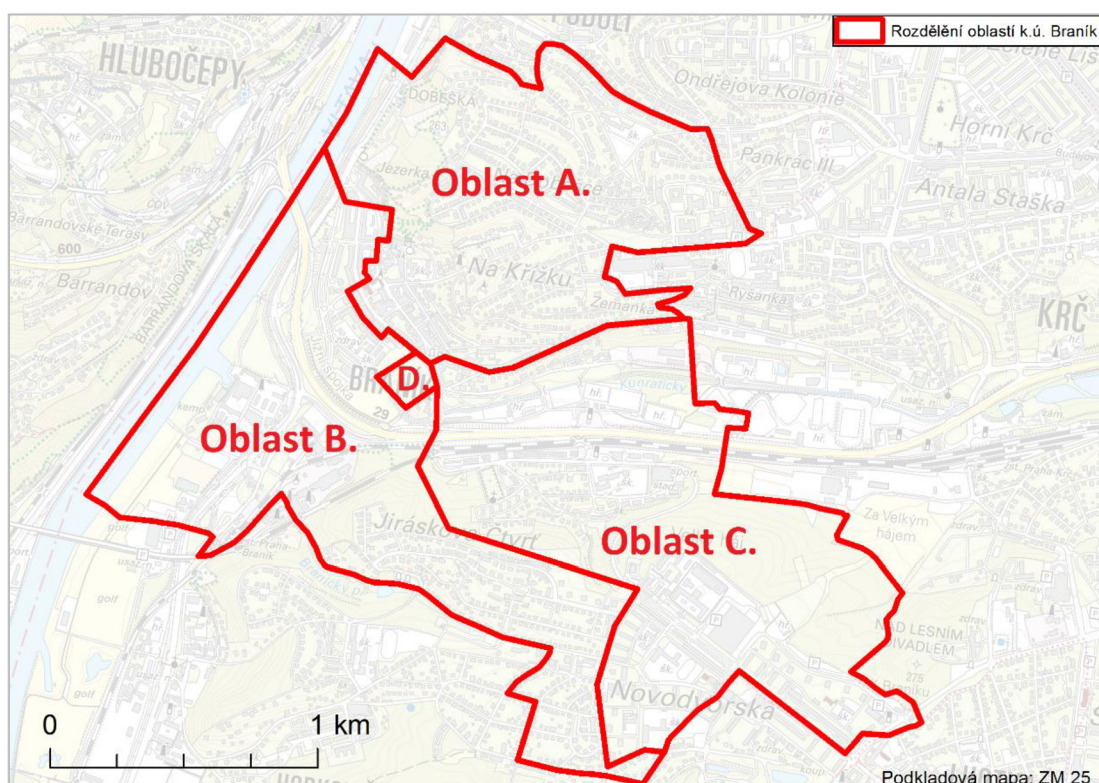
Obr. 4: Dům, který byl postaven na stejné parcele v K. Ú. Braník roce 2022, poté co předchozí dům byl asanován (fotoaparát telefonu Samsung A7)

4 Metodika

Rastry výšek budov byly vygenerovány z výškových modelů ČÚZK dále jako (VB_{ČÚZK}) a z výškových modelů IPR, dále jako (VB_{IPR}). Jako referenční data bude sloužit stažená rastrová vrstva výšek budov z IPR, dále jako (VB_{bud_vys_IPR}) a výšky budov získané terénním měřením v zájmové oblasti k. ú. Braník. Zkratka „VB“ (Výška Budov) byla použita pro vlastní pojmenování rastrů v tabulkách.

4.1 Rozdělení katastrálního území Braník na oblasti podle doby výstavby

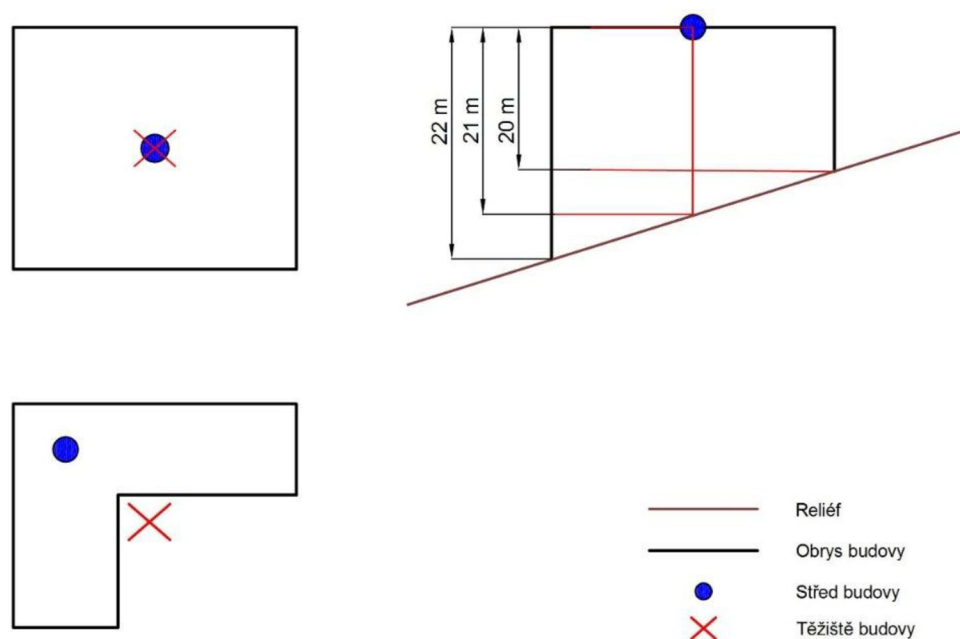
Nejdříve byl vybrán samostatný polygon katastrálního území Braník z vrstvy ArcČR 500. Následně pomocí editoru (nástroj split feature) bylo území rozděleno podle urbanistického rozvoje do čtyř vývojových oblastí.



obr. 5: Rozdělení vývojových oblastí (ArcMap 10.7.1)

4.2 Terénní měření výšek budov

Výšky budov byly měřeny pomocí ručního zařízení *Nikon Forestry Pro II*. Jak již bylo avizováno v kapitole 4.3, katastrální území Braník bylo rozděleno do čtyř vývojových etap. Mimo poslední, té nejnovější, pro které zatím nejsou metadata výšek budov, bylo v každé vymezené oblasti vybráno patnáct objektů budov, u kterých byly měřeny jejich výšky. V programu Arcmap 10.7.1 byl vytvořen nový shapefile (point), který byl umístěn na zvolené budovy tak, aby překrýval celkem 3 vrstvy, tedy výšky budov z již hotových metadat IPR a vrstvy vytvořených výšek (viz. 4.1 a 4.4) budov z datových podkladů DMP a DMR stažených ze serveru Českého zeměměřického úřadu a Institutu plánování a rozvoje hl. m. Prahy. Dalším kritériem pro umístění bodu bylo, aby odpovídal místu měření pro co nejpřesnější výsledky. Měřené budovy byly vybírány dle co nejrovinatějšího sklonu reliéfu, aby nedocházelo k chybnému přičítání nebo odečítání výšky k budovám. Stejně s tím byl i bod terénního měření volen tak, aby terén byl v rovině s budovou.



Obr. 6: Určování bodu pro měření (progeCAD 2020)

Měření jednotlivých budov bylo provedeno pomocí laserového dálkoměru značky *Nikon Forestry Pro II*. Pro výpočet výšky budovy byla vytvořena excel tabulka, kde byla zohledněna vzdálenost a výška budovy od místa měření. Pomocí

těchto dvou měření a pomocí Pythagorovy věty byla vypočítána výsledná výška budovy, ke které bylo nutné přičíst poziční výšku laserového měřáku v době měření.

4.2.1 Tabulky pro zápis měřených dat

Pro zápis výsledných měřených hodnot byla vytvořena sdílená excel tabulka, kam byly zapisovány hodnoty výšek budov ihned při měření. V tabulce bylo počítáno pro další rozdělení výsledků s typy střech a pro další výsledné porovnání byly přidány výškové bodové hodnoty budov z dat ČÚZK, IPR a stažená vrstva výšky budov z metadat IPR. Dalším postupem pro zkoumání výsledné kvality dostupných dat z jednotlivých zdrojů bylo odečtení každé kategorie (VB_{ČÚZK}, VB_{IPR}, bud_vys_IPR) od naměřené výšky. Pro výsledné tabulky byl zvolen průměr rozdílu měření – data a vypočtený výsledek byl také vynásoben funkcí ABS pro zobrazení rozdílu v kladné hodnotě. Dále byla využita pro výsledky směrodatná odchylka a směrodatná odchylka ABS.

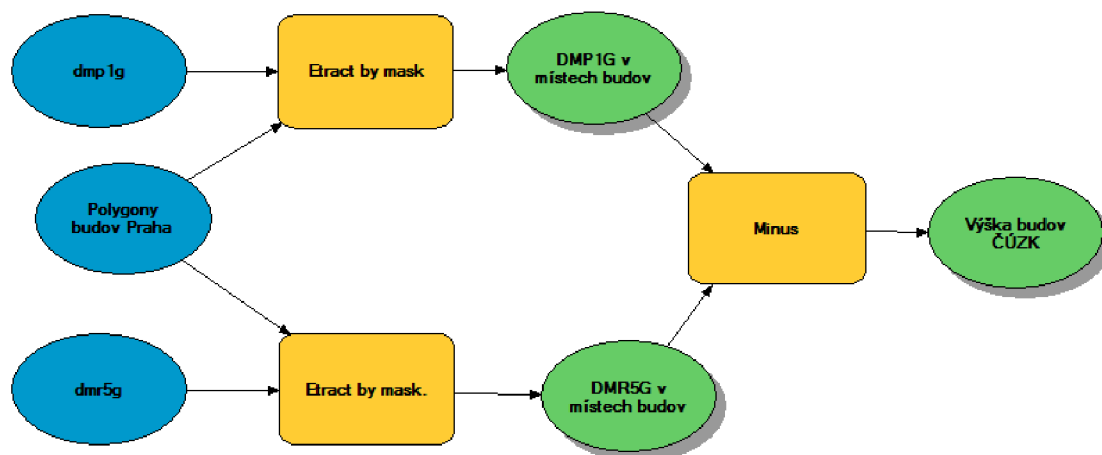
4.3 Tvorba výšek budov z modelů povrchu a modelů terénu

Model povrchu představuje obvykle nadmořskou výšku vrcholů objektů. K DMP se tak tak dá přistupovat jako k součtu výšky reliéfu a výšky objektů. Jednoduchým odečtem povrchu a terénu by tak měla ve výsledné vrstvě zůstat výška objektu.

4.3.1 Výšky budov z dat ČÚZK

Území Braníku bylo skenováno Lidarem od ČÚZK v roce 2011. Vygenerované výšky budov se tak vztahují k roku 2022 a podklady stažené pro účely práce (DMP-DMR) byly v listopadu roku 2022.

Ze serveru ČÚZK se do softwaru ArcMap 10.7.1 nahrála vrstva DMP1G (Digitální model povrchu ČR 1. generace). Tato vrstva se ořízla (funkce Extract by Mask) na rozsah budov zájmového území. Polygonová vrstva budov je volně k dispozici na serveru Geoportalpraha (<https://www.geoportalpraha.cz/>). Tím se získaly nadmořské výšky střech budov. Stejným postup byl aplikován na vrstvu DMR5G (Digitální model reliéfu ČR 5. generace), čímž se získal reliéf v místech budov. Dalším krokem bylo odečtení obou rastrových vrstev od sebe (DMP1G-DMR5G). Po odečtení povrchu od terénu(reliéfu) by získaný rozdíl měl představovat výšku budovy. Rozlišení tohoto rastru bylo 2 metry.



Obr 7: Tvorba vrstvy výšky budov ČÚZK (ArcMap 10.7.1)

4.3.2 Výšky budov z dat IPR

Ze serveru IPR do softwaru ArcMap 10.7.1 byla nahrána vrstva Digitální model povrchu ze serveru geoportalpraha.cz. Podle metadat se tato vrstva vztahuje k roku 2022 a stažena byla v lednu roku 2023. Následně tato vrstva byla oříznuta (funkce Extract by Mask) na rozsah budov v území. Tím se získaly nadmořské výšky střech budov. Stejný postup byl aplikován na vrstvu Digitální model terénu, čímž se získal reliéf v místech budov. Vrstva DMT byla aktualizována roku 2018 a stažena pro účely práce taktéž v lednu roku 2023. Dalším krokem bylo odečtení obou rastrových vrstev od sebe tedy (DMP-DMT). Po odečtení povrchu od terénu by získaný rozdíl měl představovat výšku budovy. Vzniklý rastr měl rozlišení 1 m stejně jako modely výšek z IPR. Výsledné výšky bylo nutné pro další práci s výslednými daty opět načíst do atributové tabulky středů budov pomocí nástroje Extract multi values to points.

Výsledné výšky budov bylo nutné pro další práci s výslednými daty opět načíst do atributové tabulky středů budov pomocí nástroje Extract multi values to points.

4.4 Porovnávání výšek budov z dat ČÚZK s open data Praha

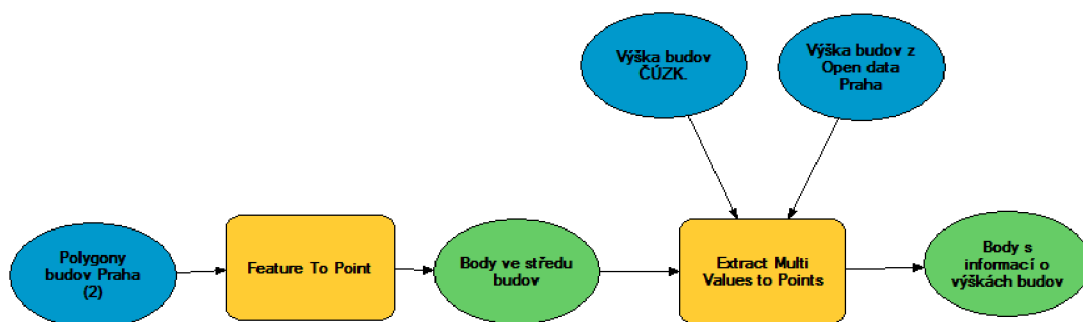
Pomocí funkce Feature to Point v softwaru ArcMap byly v polygonech budov vytvořeny body ve středu jejich půdorysu (těžiště). V případě, že by středový bod půdorysu budovy měl ležet mimo půdorys budovy je bod automaticky posunut tak, aby ležel uvnitř půdorysu (zaškrtnuto nastavení: Inside). Pro získané body reprezentující středy budov se stanovovaly příslušné výšky budov. Tento postup byl

zvolen z toho důvodu, že by se výška budovy obtížně stanovovala například v případě, kdy by budova byla umístěna na sklonitém reliéfu, viz obr. 8.

Pro jednotlivé objekty byly vybrány identifikátory FID z ArcMap především z důvodu, že se jednalo o jediný identifikátor, který byl nalezen u každé rastrové vrstvy a zároveň budovy. Tato přiřazená hodnota byla zkopírována do tabulky excel proto, aby každá budova dostala svůj pevný identifikátor, který se už v průběhu dalších úprav dat nebude měnit.

Ze serveru Geoportalpraha byla stažena rastrová vrstva výšek budov (Relativní výšky budov). Spolu s výškami budov vygenerovanými z dat ČÚZK (viz podkapitola 4.1) byly výšky z Geoportalpraha nahrány pomocí funkce Extract Multi Values to Points do bodové vrstvy představující středy budov jako sloupce v atributové tabulce.

Informace o výškách z Geoportalpraha jsou brány jako referenční data. Zjištěné odchylky tak mohou vypovídat o tom, s jakou přesností je možné stanovit výšku budovy po celé ČR na základě výškopisných dat ČÚZK

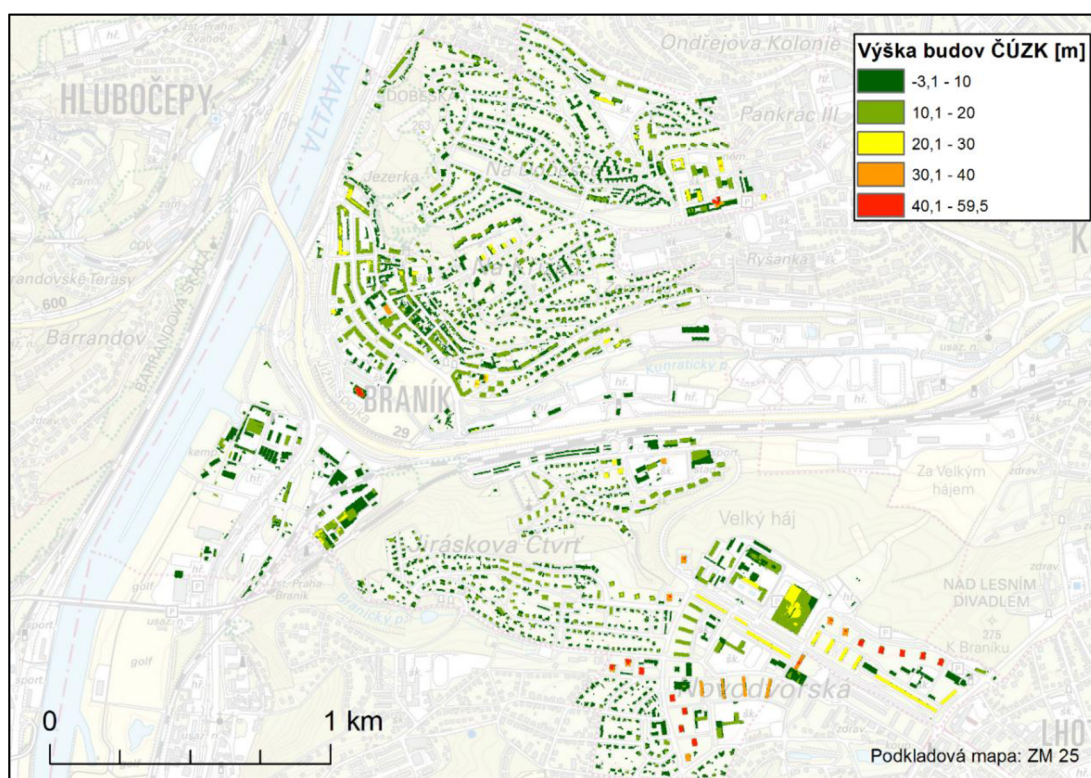


obr. 8: Porovnání výšek ČÚZK s metadaty výšky budov IPR (ArcMap 10.7.1)

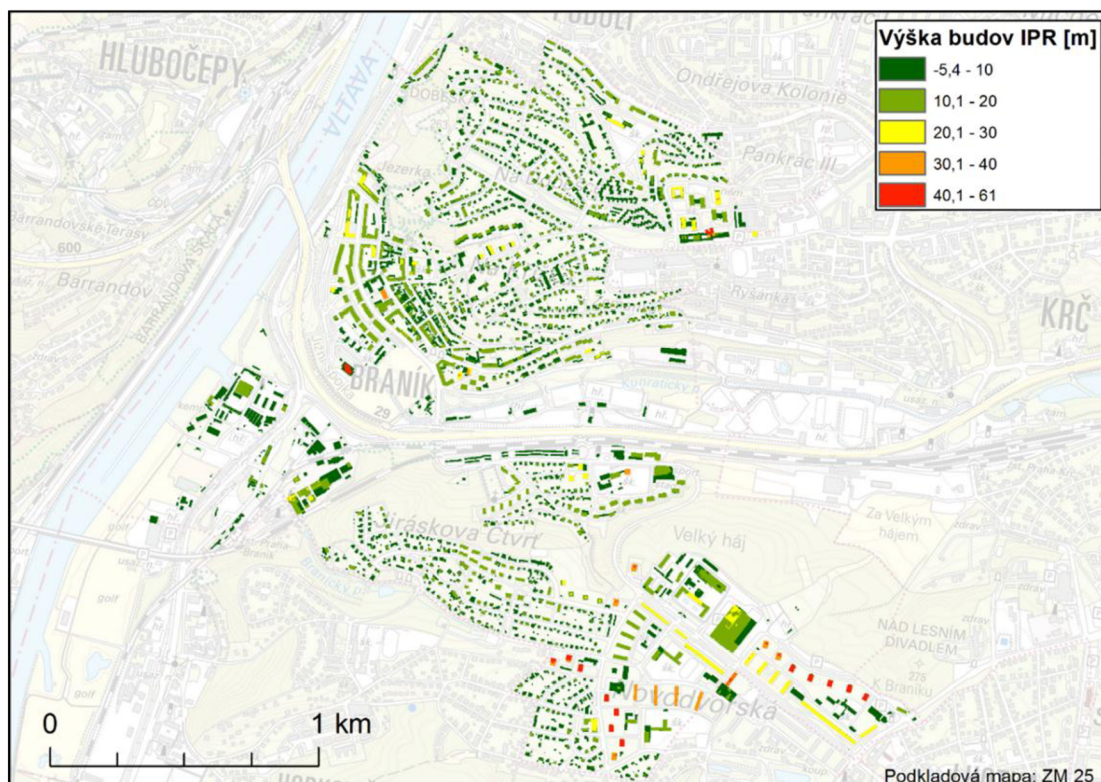
5 Výsledky

5.1 Výšky budov z dat VBČÚZK a VBIPR

Na obrázku č. 9 je VBČÚZK a na obrázku č. 10 je VBIPR. Většina budov má výšku do 10 m. Jedná se většinou o rodinné domy a vilky. Vyšší budovy, zejména panelové domy, se nachází v jihozápadní části zájmového území (Novodvorská). Paneláky rovnoběžně orientované s ulicí Novodvorská mají obvykle výšku do 30 m. Paneláky s přibližně čtvercovým půdorysem dosahují běžně výšky nad 40 m. Nejvyšší budova s výškou 59,5 m je Golden office (Bezová 1658/1). Bytová zástavba nacházející se na sever podél údolí Kunratického potoka mívá výšku do 20 m. Obě výstupní mapy jsou v grafickém porovnání prakticky stejné, avšak jejich výšková data jsou rozdílná. Obě tyto rozdílnosti jsou pomocí map vizualizovány v přílohách č.4-9, které jsou seřazeny podle vývojových oblastí.



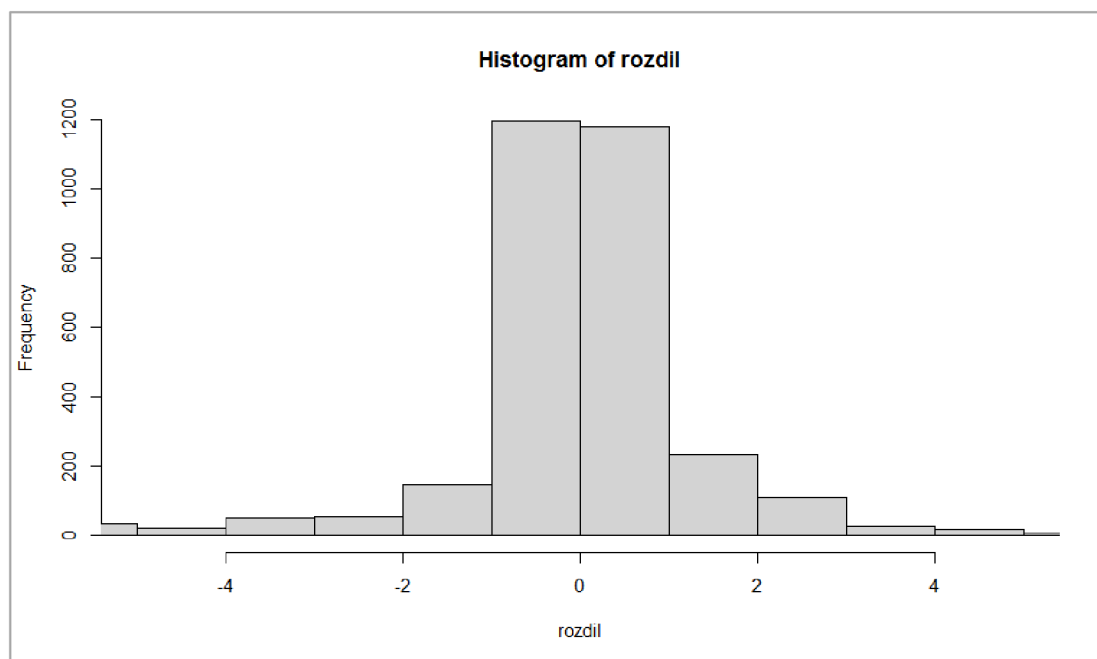
obr. 9: Výšky budov dle VBČÚZK pro rok 2011 (ArcMap 10.7.1)



obr. 10 - Výšky budov dle VB_{IPR} pro rok 2018 (ArcMap 10.7.1)

5.1.1 Rozdíly mezi ČÚZK a IPR

Na obrázku č. 11 byly vizualizovány odchylky výšek budov z dat ČÚZK a výšek budov dle Geoportál Praha. Většina odchylek se nacházela v intervalu od -1 do +1. Pokud se odchylkám vyjádří jejich absolutní hodnota, tak 90 % odchylek (90. percentil) je menších 2,87.



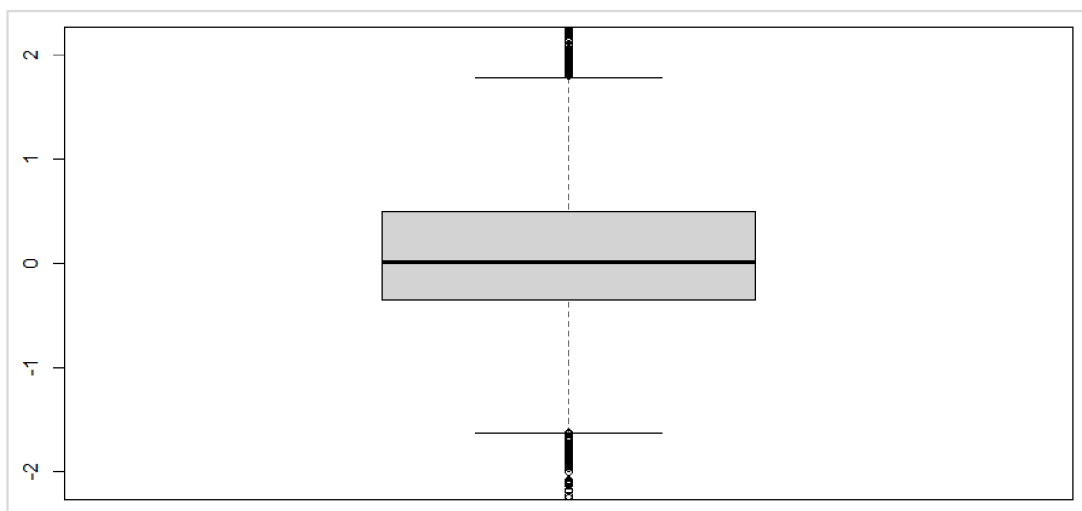
obr. 11: Histogram odchylek výšek budov z dat ČÚZK a IPR (Rstudio)

V tabulce č.1 jsou uvedeny základní statistické ukazatele odchylek výšek budov v k. ú. Braník. Medián i průměr jsou blízko nule (pokud se hodnota zaokrouhlí na celá čísla). Kladné odchylky jsou ty budovy, kde je výška budovy vypočítaná z dat ČÚZK, tedy nižší než data z IPR. Patrně se většinou jedná o budovy, které byly postaveny po roce 2011 (kdy bylo k. ú. Braník snímkováno lidarem za účelem sběru dat pro DMP1G). Po skenování byly budovy postaveny a v datech z IPR již zaneseny jsou.

MIN.	-18.81630
1st Qu.	-0.35020
Median	0.01270
Mean	0.06857
3rd Qu.	0.50550
Max.	27.00500

tab. 1: Tabulka explorační datové analýzy z dat ČÚZK (Rstudio)

Na obrázku č. 12 je krabicový diagram (vygenerovaný v softwaru R studio) odchylek výšek budov. Jak je vidět i některé výšky vyšší než přibližně 1,5 m a nižší než -1,5 m byly považovány za odlehlé hodnoty (outliery).



obr. 12: box plot odchylek výšek budov z dat ČÚZK (Rstudio)

5.1.2 Vybrané objekty s rozdílnými výškami VB_{IPR} a VB_{ČÚZK}

V každé z těchto tabulek (příloha č. 2 a č. 3) je dohromady přes 3200 budov, u kterých byly zjištěny různé odchylky. Důsledek těchto rozdílů může být odlišnou metodikou zpracování metadat jak u Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního, tak u Institutu plánování a rozvoje hlavního města Prahy. Současně s tím záleží i na roku jejich zpracování. Odchylky mohou vznikat i tím, že budova, která tam dle jedněch dat stojí, tak dle druhých již může být asanována, nebo nahrazena jinou budovou.

V této tabulce bylo vybráno 8 speciálních případů budov (z příloh č. 2 a 3) za účelem vizuálně představit rozdílnost dat, který byl popsán nad touto tabulkou. U budov identifikovaných jako objekty 478, 1770 a 2377 byla data v podstatě bez rozdílů, jejich odchylka se pohybovala maximálně okolo 20 centimetrů. U budovy 965 byla vidět podobnost z vrstvy a dat IPR, zatímco z dat ČÚZK byla budova nižší skoro o 1 metr. Budova číslo 1385 dle dat ČÚZK stále stojí, avšak vrstva i data IPR se shodují na tom, že tento objekt již byl asanován a nestojí tam. Budova číslo 2334, kterou je vyšší bytová zástavba, má dle dat ČÚZK podstatně nižší výšku oproti IPR, protože tento objekt má vchodovou před budovu, ze které byla výška pro ČÚZK chybně počítána. Poslední budova v tabulce č. 2760 byla dle vrstvy výšky budov z IPR a dle ČÚZK již postavena, což neodpovídá vypočtené výšce budovy IPR, která byla zachycena v momentě, kde na místě byly ještě základy pro nynější vybudovanou stavbu.

Objekt	Výška budov dle IPR	Výška budov dle ČÚZK	Vrstva výšek budov (IPR)
478	34,92	34,71	34,98
965	44,53	43,73	44,49
1385	1,36	19,63	1,24
1770	23,79	23,60	23,58
1787	53,88	53,84	55,55
2334	41,75	14,72	41,72
2377	41,29	41,14	41,04
2760	-4,42	10,31	10,65

tab. 2: Vybrané objekty s rozdílnými výškami (Microsoft excel)

5.1.3 Výsledná tabulka výšek budov IPR

V tabulce (příloha č. 2) IPR z celkem posuzovaných 3257 budov, které se nachází v K. Ú. Braník, byla zjištěna u 1227 objektů odchylka, která je nižší než 10 cm. U odchylek vyšších než 1 m se našlo dohromady 241 budov. U čtyř budov byla

vysledována odchylka vyšší než 10 metrů. S nejvyšší odchylkou v tabulce byla nalezena budova, kde její výškový rozdíl dle dat je více než 15 metrů.

5.1.4 Výsledná tabulka výšek budov ČÚZK

V tabulce (příloha č. 3) ČÚZK z celkem posuzovaných 3231 budov, které se nachází v K. Ú. Braník bylo zjištěno pouhých 526 objektů, kde byla nalezena odchylka nižší než 10 cm. U odchylek vyšších než 1 m bylo nalezeno 853 budov. Nejvyšší odchylky, tedy ty, které byly přes 10 metrů, byly nalezeny v počtu u 51 budov, z čehož 3 odchylky byly v tabulce dokonce přes 20 metrů. Nejvyšší nalezenou odchylkou byla budova s rozdílem 27 metrů.

5.1.5 Výsledná data výšek budov ze serveru IPR a ČÚZK

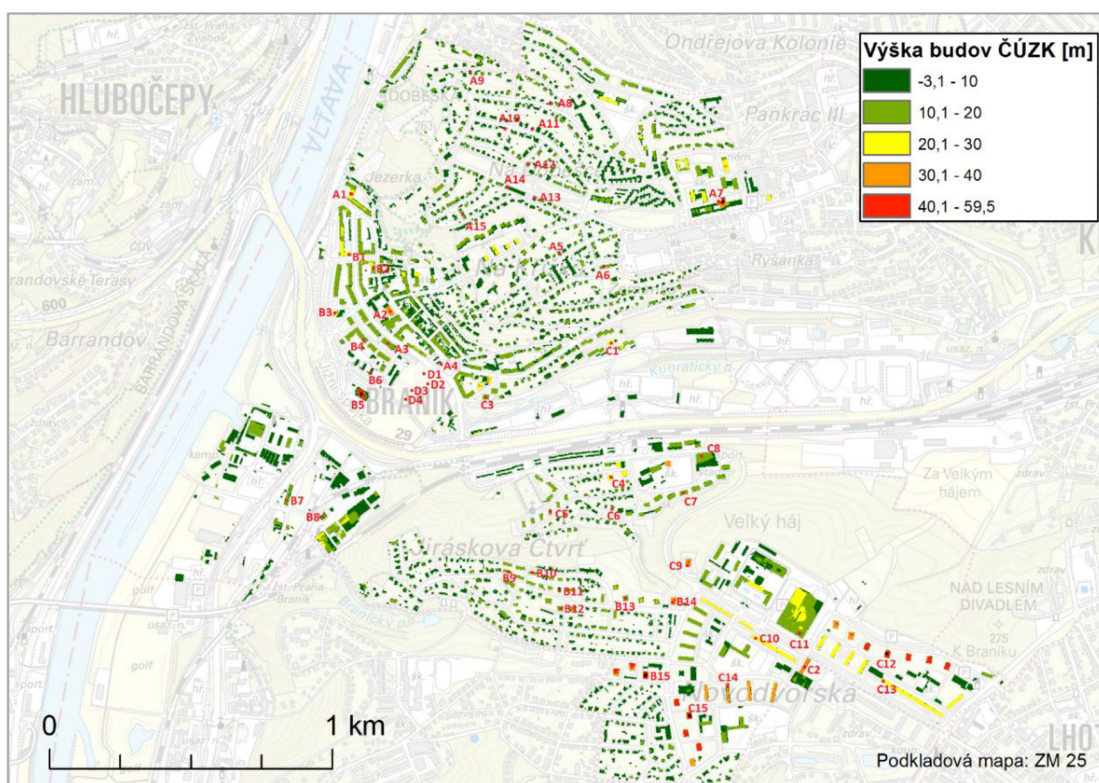
Po provedených metodách viz. kapitoly 4.1 a 4.4 byly vloženy výsledky do souhrnné tabulky 3, kde se nachází souhrn dat přesnosti výšek všech budov v katastrálním území Braník z podkladů ČÚZK A IPR (DMP, DMR a vrstva Výšky budov). Data ze serveru IPR jsou na první pohled přesnější. Průměrná odchylka z dat IPR je 0,089 m, což je vcelku porovnatelný údaj s průměrnou odchylkou z dat ČÚZK, která činí 0,069 m. Více napovídající výsledek je ovšem odchylka absolutní, která se z dat IPR oproti ČÚZK liší už rozdílem skoro 1 m. Hodnota absolutní odchylky z dat IPR pro k. ú. Braník, respektive porovnávaný rozdíl všech budov, je v průměru 36 cm, zatímco u výsledků zpracovaných z dat ČÚZK je průměrný rozdíl všech řešených objektů 1,2 m. Pro data IPR bylo zjištěno, že nižší odchylky do 0,5 m se nachází u 86,6 % výběrů, zatímco u dat ČÚZK se nachází pouze u 55,5 %. U odchylek vyšších, tedy do 1 m, bylo nalezeno z dat IPR celkem 92,6 % budov, zatímco z dat ČÚZK pouhých 73,5 %. Odchylky, které mají více než 1 m, byly zaznamenány u dat IPR ve výši 7,4 %. Z dat ČÚZK bylo nalezeno odchylek vyšších než jeden metr celkem přes 25 % zkoumaných budov.

	Průměr. odchyl. [m]:	Průměr. odchyl. (ABS) [m]:	Odchylka <0,5 m	Odchylka <1 m
data IPR	0,0891	0,3538	86,57 %	92,56 %
data ČÚZK	0,0686	1,2031	55,46 %	73,54 %

tab. 3: Výsledné odchylky budov v k.ú. Braník (Microsoft excel)

5.2 Terénní měření budov

Mapa, která zde byla vizualizována, souvisí s tabulkou (příloha č.1) zaměření výšek budov. Terénní měření bylo rozděleno do tří skupin dle etap vývoje k. ú. Braník a v každém území bylo provedeno 15 terénních měření, kromě oblasti vývoje D, která je úplně novou výstavbou a nebyla tak zahrnuta v metadatech IPR nebo ČÚZK. Tato oblast byla orientačně taktéž vymezena do obr č. 13.

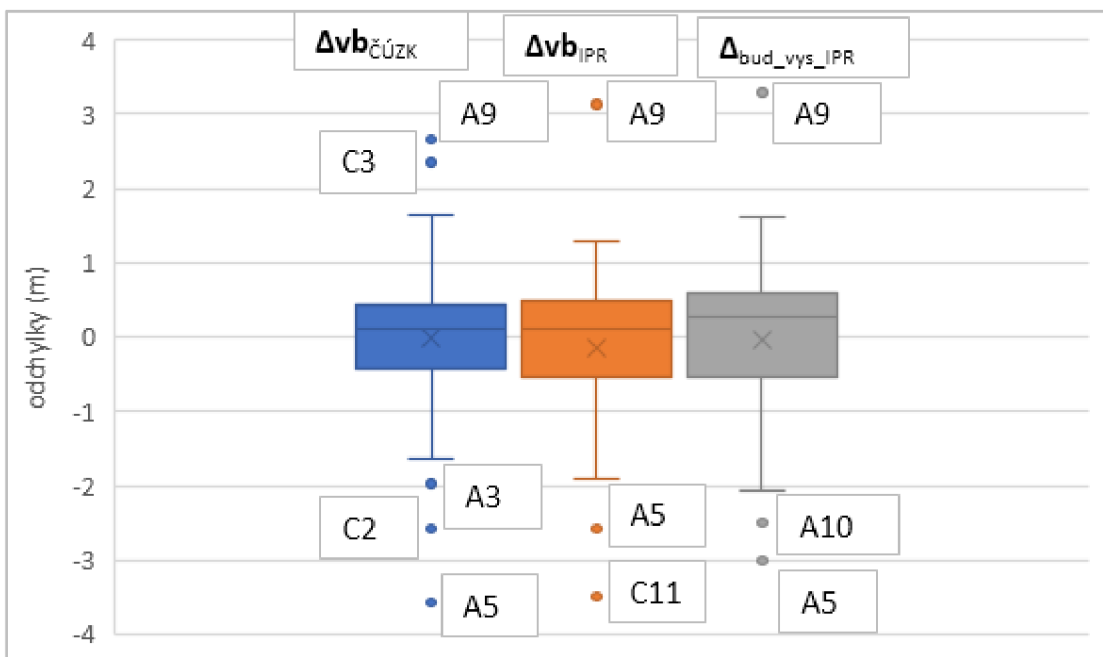


obr. 13: označení objektů pro terénní měření

5.2.1 Tabulka terénního měření s porovnáváním vrstvami VB_{ČÚZK}, VB_{IPR} a bud_vys_IPR

Tabulka (v příloze 1) má rozdělení dle vytvořených výškových dat ČÚZK (VB_{ČÚZK}) viz. kapitola 4.1, dle vytvořených výškových dat IPR (VB_{IPR}) viz. kapitola 4.4 a staženými metadaty výšky budov z IPR (bud_vys_IPR). Tato tabulka mimo rozdělení do tříd vývoje byla také pro přesnější indikaci výsledků rozčleněna podle typů střech budov. Nejvyšším zaměřeným objektem, který se nachází v katastrálním území Braník, byla kancelářská budova Golden Office s výškou 54,2 metrů. Další nejvyšší byla naměřena bytová budova s výškou necelých 46 metrů s tím, že hned u dalších tří objektů byla naměřena výška pohybující se přes 40 metrů. 30metrová výška

byla naměřena celkem u pěti budov. Ve výškovém intervalu 20-30 metrů bylo zaměřeno dohromady osm objektů. Největší množství zaměřených hodnot bylo u výšek objektů pohybující od 10 do 20 metrů, tedy přesně řečeno u dvaceti budov. Posledních jedenáct budov, které byly naměřeny, měly pod výškovou hladinu 10 metrů. Pro 37 budov, tedy pro většinu měřených objektů, byla zjištěná odchylka terénního měření a dat ČÚZK a dat IPR do 1 metru a dá se tak říct, že terénní měření je srovnatelné s vygenerovanými daty. U zbylých osmi terénních měření byla nalezená odchylka vyšší, přičemž u dvou budov se odchylka terénního měření pohybovala od 2 až 3,5 metrů. Rozložení jednotlivých odchylek od naměřených dat, pro $\Delta v_{\text{ČÚZK}}$, pro Δv_{IPR} a pro $\Delta_{\text{bud_vys_IPR}}$ je znázorněno v obrázku č. 14, kde budova A5 a A9 má vyšší rozdíl ve všech vrstvách oproti terénnímu měření o více jak 2,5 metru. Další odchylky, kde se projevuje rozdíl podobný, avšak pouze vždy u jedné z vrstev oproti terénnímu měření, byly zjištěny u budov A3, C2, C3 a C11.



obr. 14: odchylky výšek budov od měření v terénu (Microsoft excel)

5.2.2 Statistické vyhodnocení odchylek od měřených dat

Do této tabulky č. 4 byly zahrnuty všechny terénní měření, mimo oblasti D. Průměrná odchylka blížící se nejvíce nule byla zaznamenána v hodnotě -1,8 centimetrů u $\Delta v_{\text{ČÚZK}}$. Tento výsledek napovídá, že výška budov z $\Delta v_{\text{ČÚZK}}$ není vůči terénnímu měření nadhodnocená nebo podhodnocená i s ohledem na vysokou

směrodatnou odchylku. Průměrná hodnota absolutních odchylek je nejnižší u VB_{IPR}. Vzhledem k tomu, že při stanovení průměrné odchylky se mohou záporné a kladné odchylky kompenzovat, tak průměr z absolutních rozdílů by měl mít vyšší vypovídající hodnotu o přesnosti vrstvy. Směrodatné odchylky byly v obou případech zaznamenány nižší u odchylek vrstvy bud_vys_IPR a je proto možné, že se v tomto vyhodnocení nachází systematická chyba.

Tab. terén. měření komplet	VB _{ČÚZK}	VB _{IPR}	bud_vys_IPR
Průměr	-0,018	-0,150	-0,031
Směrodatná odchylka	1,145	1,114	1,091
Průměr abs	0,782	0,767	0,799
Směrodatná odchylka abs	0,837	0,821	0,744

tab. 4: Vyhodnocení odchylek – měření komplet

Objekty A5 a A9 dosahují u všech tří výběrů těch nejvyšších odchylek (Δ vb_{ČÚZK}, Δ vb_{IPR}, Δ bud_vys_IPR), jak je vidět na obrázku č. 14. Odchylky se pohybují v rozmezí od 2 až 3 metrů a oba objekty mají výšku nižší než 10 m. To naznačuje, že dané budovy byly buď chybně změřené, nebo byly modelovány z nevhodných dat. Pokud by tato data byla vynechána z výběru, pro které se stanovovalo statistické vyhodnocení z odchylek modelů a terénního měření, tak jako jednoznačně nejlepší vrstva vychází bud_vys_IPR. Statistické vyhodnocení těchto objektů je v tabulce č. 5. Jak je vidět, došlo k předpokládanému přiblížení všech ukazatelů směrem k nule, ale z hlediska toho, která vrstva je nule nejbliž, se nic nezměnilo.

Tab. komplet bez A5/A9	VB _{ČÚZK}	VB _{IPR}	bud_vys_IPR
Průměr	0,002	-0,169	-0,039
smodch	0,954	0,954	0,885
Průměr abs	0,673	0,669	0,690
abs směrod. odch.	0,677	0,700	0,556

tab. 5: Vyhodnocení odchylek – měření bez budov A5 a A10

Tabulka č. 6 byla vytvořena pro získání výsledných hodnot u budov se střechami, které jsou geometricky rovné. Nejnižší průměr 6 centimetrů byl zjištěn u kategorie VB_{IPR}, zatímco u jeho absolutní hodnoty byla nalezena nejnižší průměrná výška 0,64 metru u VB_{ČÚZK}. U směrodatné odchylky byla nalezena hodnota nejbližší

nulové výšce taktéž u VB_{ČÚZK} o hodnotě blízké 1 metru, zatímco u její absolutní hodnoty nejméně vyšlo 0,66 metru u bud_vys_IPR.

Rovné střechy	VB _{ČÚZK}	VB _{IPR}	bud_vys_IPR
Průměr	0,265	0,056	0,209
Směrodatná odchylka	0,928	1,042	0,930
Průměr abs	0,639	0,674	0,690
Směrodatná odchylka abs	0,724	0,796	0,657

tab. 6: Vyhodnocení odchylek – měření budov s rovnými střechami

Tabulka č. 7 byla vyhotovena pro kategorii sklonitých střech, kterých je v celkovém počtu terénních měření oproti rovným střechám menšina. Sklonité střechy jsou pro přesnost terénního měření složitější než rovné, protože umístění bodu v softwaru ArcMap bude mít vždy výše položený bod výšky právě z důvodu sklonité střechy. Terénní měření hrany budovy bude mít hodnotu naopak nižší, o čemž vypovídá výsledek, kde terénní měření bylo v průměru skoro 1,3 metrů nižší než u vrstvy VB_{ČÚZK}. U budov se sklonitými střechami byla vypočtena nejnižší hodnota blízká nule i u ostatních počítaných kategorií ve vrstvě VB_{IPR}. U průměru s absolutní hodnotou byla zjištěna stejně rozdílná výška jako u průměru. Směrodatná odchylka a její absolutní hodnota byly u vrstvy VB_{IPR} zjištěny také ve stejné hodnotě 0,77 metru.

Sklonité střechy – komplet	VB _{ČÚZK}	VB _{IPR}	bud_vys_IPR
Průměr	-1,557	-1,269	-1,329
Směrodatná odchylka	0,973	0,773	0,982
Průměr abs	1,557	1,269	1,392
Směrodatná odchylka abs	0,973	0,773	0,891

tab. 7: Vyhodnocení odchylek – měření budov se sklonitými střechami

6 Diskuze

Výhodou postupu využitého pro VB_{ČÚZK} je to, že je použitelný pro celé území České republiky. Nevýhodou této metody je referenční datum, ke kterému se vrstva vztahuje, protože zástavba se neustále vyvíjí a bylo by tedy vhodné, kdyby aktualizace těchto dat byla častější. Na druhou stranu aspoň zachycuje stav v určitém datovém rozmezí a je možnost, že v budoucnu bude ČÚZK aplikovat nová terénní měření.

Výšky budov byly stanovovány v metrech na 3 desetinná místa (tedy na mm). Je nutné přihlídnout k tomu, že rozlišení výškových modelů bylo v případě VB_{ČÚZK} 2 metry a v případě VB_{IPR} 1 metr. Přestože byla snaha vybírat pro terénní měření objekty ležící převážně na rovině, tak nulová čára pro danou budovu mohla ležet v jiné výšce, než představuje výška modelů reliéfu, se kterými se pracovalo.

Myslím si, že by bylo vhodné v rámci nějaké profesionální práce, která půjde více do hloubky v tomto tématu, naměřit v budoucnu více referenčních dat a provést toto terénní měření například pomocí teodolitu.

7 Závěr

Budovy, které se nachází v zájmovém katastrálním území Braník, jsou rovnoměrnou kombinací zástavby rodinných domů a bytových domů, co se týče zastavěné plochy. Nachází se zde pár vysoko podlažních domů, které jsou vysoké necelých 60 metrů nad zemským povrchem. Co se týče převažujícího typu bydlení, určitě díky rozsáhlým vilovým čtvrtím, převládají domy rodinné, které jsou vysoké nejčastěji do 10 až 20 metrů.

Lepší podmínky při terénním měření byly při měření budov s rovnými střechami, protože tam nebyl problém s okapy a začínající střechou, která mnohdy zasahovala pod úroveň vrcholu budovy. Po konečném porovnání napovídaly i samotné výsledky, že sklonité střechy u budov pro terénní měření byly při porovnávání s ostatními vrstvami více nepřesné.

Odchylka výšek budov do 0,5 m z dat ČÚZK má přes slabých 50 % budov v celém zájmovém území, zatímco pro stejnou odchylku z dat IPR bylo nalezeno necelých 90 % budov v k. ú. Braník. Nejpřesnější považovanou vrstvou, která byla nalezena při porovnání VBČÚZK, VBIPR a bud_vys_IPR s terénním měřením, byla vrstva bud_vys_IPR (vrstva – Relativních výšek budov stažená z opendat Geoportálupraha).

Tato práce mi ukázala, jak je znalost výšek budov důležitá, protože se na jejím základě odvíjí například další výstavba, urbanistický koncept nebo navrhuje se dle ní protipožární opatření. Vzhledem k tomu, že v k. ú. Braník bydlím, jsem vděčný za zjištění faktů k tomuto relativně historicky významnému místu.

8 Literatura

- Augusta P.**, 1998: KNIHA O PRAZE 4: Nusle, Michle, Krč. Podolí, Braník. MILPO, Praha, 161 s.
- Augusta P.**, 2005: PRAHA 4 křížem krážem. MILPO, Praha, 227 s.
- Benedek C., Majdik A., Nagy B., Rozsa Z., Sziranyi T.**, 2021: Positioning and perception in LIDAR point clouds. Digital Signal Processing, P. 119.
- Broncová D., Polák M.**, 2014: Praha 4 známá neznámá. MILPO, Praha, 199. P.
- Brunn A., Weidner U.**, 2002: Extracting Buildings From Digital Surface Models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. P. 32.
- Bartoň J., Čech J., Degen M., Glezgová H., Hruběš J., Hruběšová E., Jásek J., Novák R., Pasáková J., Šírová J.**, 2001: PRAHA 4. Městská část Praha 4, P. 242.
- ČÚZK**, ©2010: ZABAGED® - Výškopis - DMR 5G. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (online) [cit. 2022.11.02], dostupné z [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(tsscwnmdj5i113i5sofunvaf\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(tsscwnmdj5i113i5sofunvaf))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302).
- ČÚZK**, ©2010: ZABAGED® - Výškopis - DMP 1G. Digitální model povrchu České republiky 1. generace (online) [cit. 2022.11.02], dostupné z [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(nifuvvpajmxl3mkyp4fqd4i1\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&mapid=8&menu=303](https://geoportal.cuzk.cz/(S(nifuvvpajmxl3mkyp4fqd4i1))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&mapid=8&menu=303).
- Dong H., Chen X., Särkkä S., Stachniss C.**, 2023: Online pole segmentation on range images for long-term LiDAR localization in urban environments. Robotics and Autonomous Systems, 159. P.
- Dvořáková N., Ptáček B., Ouředníček M., Nemeškal J., Klsák A.**, 2020: Braník – od zemědělské vsi k pražské rezidenční čtvrti. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Urbánní a regionální laboratoř, Praha, 10. P.
- Frantz D., Schug F., Okujeni A., Navacchi C., Wagner W., Linden S., Hostert P.**, 2021: National-scale mapping of building height using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. Remote Sensing of Environment, 252. P.

Geoportalpraha ©2010-2019: Budovy 3D (online) [cit 2023.02.03.], dostupné z <<https://www.geoportalpraha.cz/cs/data/metadada/44EE8B0A-641A-45E8-8DC9-CF209ED00897>>

Geoportalpraha ©2010-2019: Digitální model terénu (online) [cit 2023.02.03.], dostupné z <<https://www.geoportalpraha.cz/cs/data/metadada/6F72EDDF-CAA4-4243-8776-7006CB0B2521>>

Geoportalpraha ©2010-2019: Digitální technická mapa Prahy – plochy (polygony) budov (online) [cit 2023.02.03.], dostupné z <<https://www.geoportalpraha.cz/cs/data/metadada/C170F739-D27C-4556-9138-CAF7C14FB01B>>

Geoportalpraha ©2010-2019: Relativní výšky budov (online) [cit 2023.02.03.], dostupné z <<https://www.geoportalpraha.cz/cs/data/metadada/A9B9C4A8-A009-461F-82CC-BE51DE8795C7>>

Grigillo D., Kanjir U., 2012: Urban object extraction from digital surface model and digital aerial images. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. I-3 P. 215-220.

Guan Y., Li H., Xue L., Yin R., Zhang L., Wang H., Zhu G., Kang L., Chen J., Wu P., 2022: Lidar with superconducting nanowire single-photon detectors: Recent advances and developments. Optics and Lasers in Engineering, 156. P.

Hexner M., Zajíc J., 2007: CENNÉ A POZORUHODNÉ URBANISTICKÉ SOUBORY. Útvar rozvoje hl. m. Prahy, 84. P.

Kaplan V., Keprtová K., Konečný M., Stachoň Z., Tajovská K., 2015: 1.4.3. Geodetické referenční systémy a kartografická zobrazení ČR (online) [cit. 2022.11.02], dostupné z <<https://ucebnice.geogr.muni.cz/kartografie/obsah.php?show=45&&jazyk=cz>>.

Landová Z., 2003: BRANÍK, NÁŠ DOMOVE. Městská část Praha 4, 153. P.

Mi L., Zhou S., Geng Y., 2013: Building Detection in Digital Surface Model. IST 2013 - 2013 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques

Mojzeš M., Kalafut M., 2019: Vertikálne referenčné systémy na území Slovenska a ich zájorné diferencie. Geodetický a kartografický obzor, 65. P. 177-208.

Nyaruhuma A., Gerke M., Vosselman G., 2012: Verification of 3D building models using mutual information in airborne oblique images. *SPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, I-3. P. 275-280

Prakhar M. & Wataru T., 2017: DIGITAL SURFACE MODEL (DSM) DATASETS FOR BUILT STRUCTURE HEIGHT ESTIMATION OVER INDIAN CITIES, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

Prakhar M., Ram A., Wataru T., 2018: Comparison of digital building height models extracted from AW3D, TanDEM-X, ASTER, and SRTM digital surface models over Yangon City. *Remote Sensing*, 10. P. 1-25.

Primusová H., Kubíková J., Michl J., 1980: PRAHA 4. Obvodní národní výbor, 109. P.

Svět Outdooru – TomF, ©2006: Rozdíl mezi Baltem (Balt pv) a Jadranem... (online) [cit. 2022.12.04], dostupné z <https://www.svetoutdooru.cz/diskuse/rozdil-mezi-baltem-balt-pv-a-jadranem/>.

Štroner M., 2014: Geodézie 3 (154GD3) (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z <https://slideplayer.cz/slide/2296282/>.

Wikiwand, ©2022: Baltský po vyrovnání (online) [cit. 2022.11.03], dostupné z https://www.wikiwand.com/cs/Baltský_po_vyrovnání.

Wikipedie, ©2022: Jadranský výškový systém (online) [cit. 2022.12.04], dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadranský_výškový_systém.

Xia Y., Sun Z., Tok A., Ritchie S., 2022: A dense background representation method for traffic surveillance based on roadside LiDAR. *Optics and Lasers in Engineering*, P. 152.

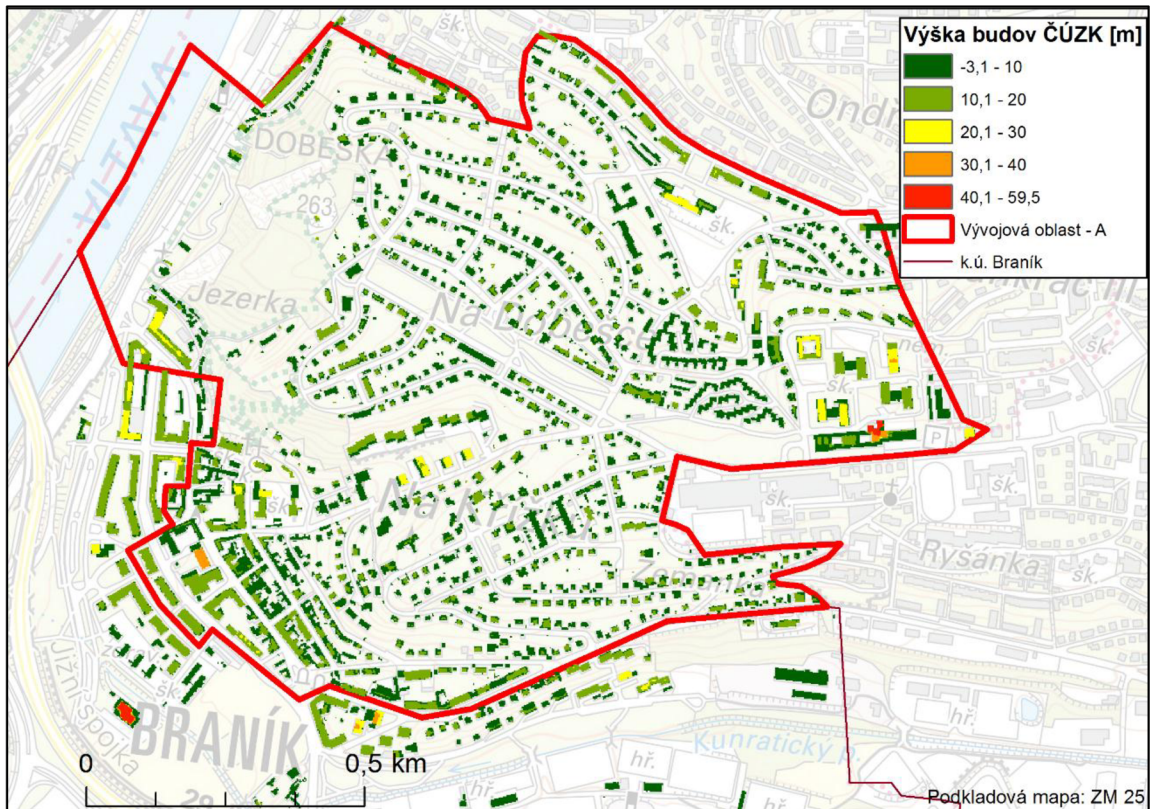
9 Samostatné přílohy

budova:	Typ střechy	VB _{ČÚZK}	VB _{IPR}	bud_vys_IPR	terénní měření:
A1	rovná	23,452	23,452	23,275	23,589
A2	rovná	36,114	35,969	35,702	36,476
A3	sklonitá	14,907	13,575	13,577	12,938
A4	sklonitá	8,303	8,790	8,637	6,895
A5	sklonitá	9,360	8,372	8,798	5,790
A6	rovná	11,151	11,395	11,147	11,041
A7	rovná	54,169	53,738	53,873	54,174
A8	sklonitá	10,632	10,511	10,720	9,377
A9	rovná	7,865	7,403	7,243	10,532
A10	rovná	3,660	5,350	7,801	5,300
A11	rovná	7,454	7,778	7,760	7,320
A12	rovná	12,138	12,756	12,839	13,644
A13	rovná	8,948	9,952	9,963	10,589
A14	rovná	9,676	9,533	9,466	9,740
A15	rovná	11,133	11,078	10,748	11,566
B1	rovná	26,049	26,307	26,156	26,864
B2	rovná	19,968	20,406	19,987	20,073
B3	rovná	23,195	23,189	23,321	24,125
B4	sklonitá	12,436	12,741	13,037	10,979
B5	rovná	45,879	45,878	45,893	46,313
B6	rovná	7,570	7,500	7,485	7,867
B7	rovná	13,536	13,310	13,782	12,773
B8	sklonitá	12,812	12,237	12,412	11,679
B9	rovná	11,229	11,157	11,020	10,813
B10	rovná	11,921	11,874	11,573	12,101
B11	sklonitá	6,658	6,868	6,333	6,552
B12	rovná	12,629	12,675	12,759	12,698
B13	rovná	18,549	19,016	18,568	18,670
B14	rovná	36,791	36,706	36,425	37,347
B15	rovná	41,480	42,012	41,630	41,248
C1	rovná	27,372	26,222	25,891	27,519
C2	rovná	39,975	39,975	37,768	37,402
C3	rovná	13,193	15,551	14,992	15,544
C4	rovná	21,598	21,926	21,884	22,613
C5	rovná	13,605	13,294	13,282	14,034
C6	rovná	10,799	11,074	10,847	9,156
C7	rovná	15,496	15,306	14,953	15,486
C8	rovná	11,264	11,135	12,781	11,265
C9	rovná	37,177	37,110	36,668	37,240
C10	rovná	23,773	23,695	23,409	23,168
C11	rovná	11,804	14,678	11,819	11,190
C12	rovná	41,260	41,145	41,345	41,821
C13	rovná	24,285	24,342	24,108	24,452
C14	rovná	34,907	35,107	35,012	35,074
C15	rovná	41,184	41,186	41,228	41,499
D1 byt. 1	rovná	-	-	-	18,743
D2 byt. 2	rovná	-	-	-	16,439
D3 řad. 1	rovná	-	-	-	9,255
D4 řad. 2	rovná	-	-	-	9,077

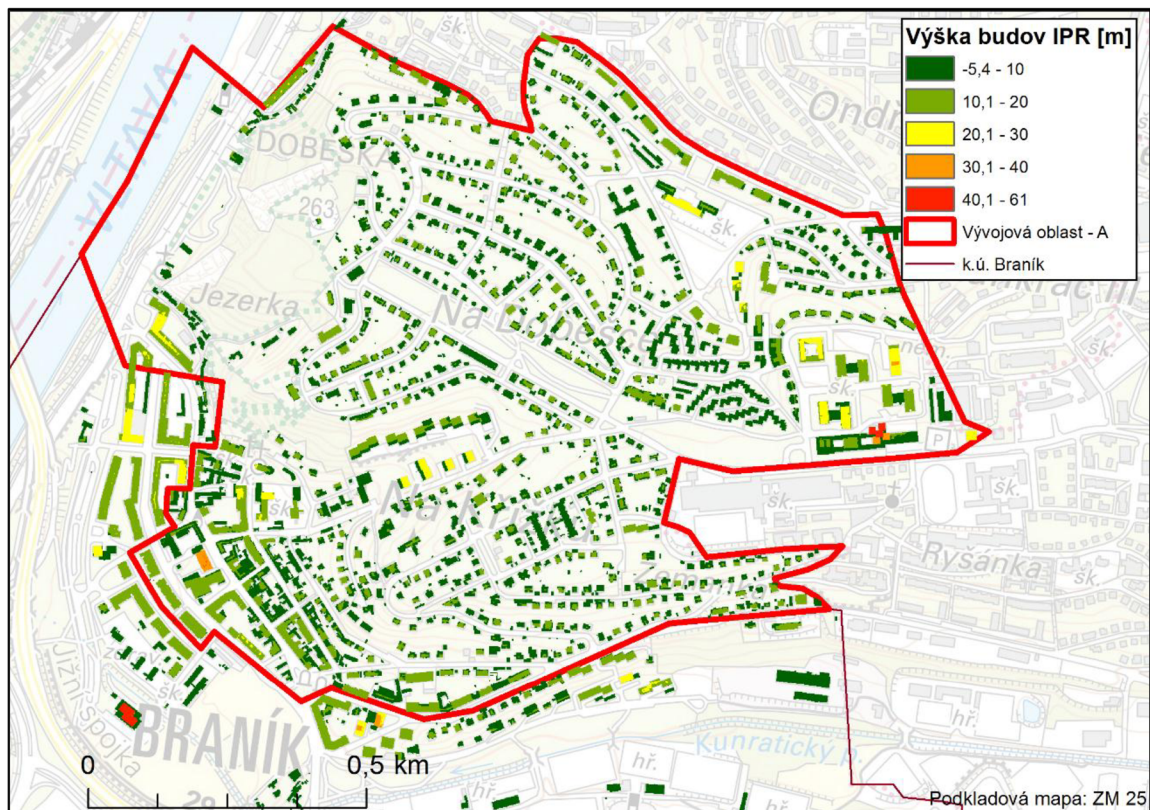
příloha č.1: Tabulka měření

Přílohy č. 2 – příloha na vyžádání autora z důvodu nadměrného množství řádků

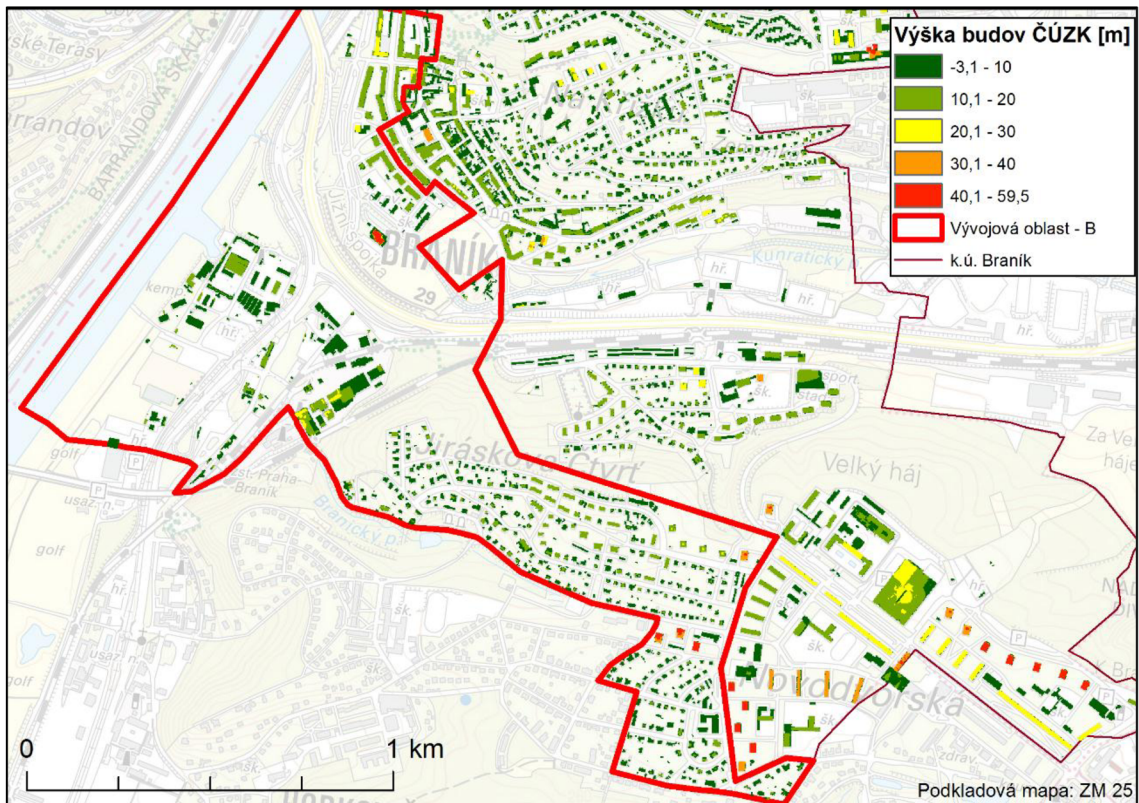
Příloha č. 3 – příloha na vyžádání autora z důvodu nadměrného množství řádků



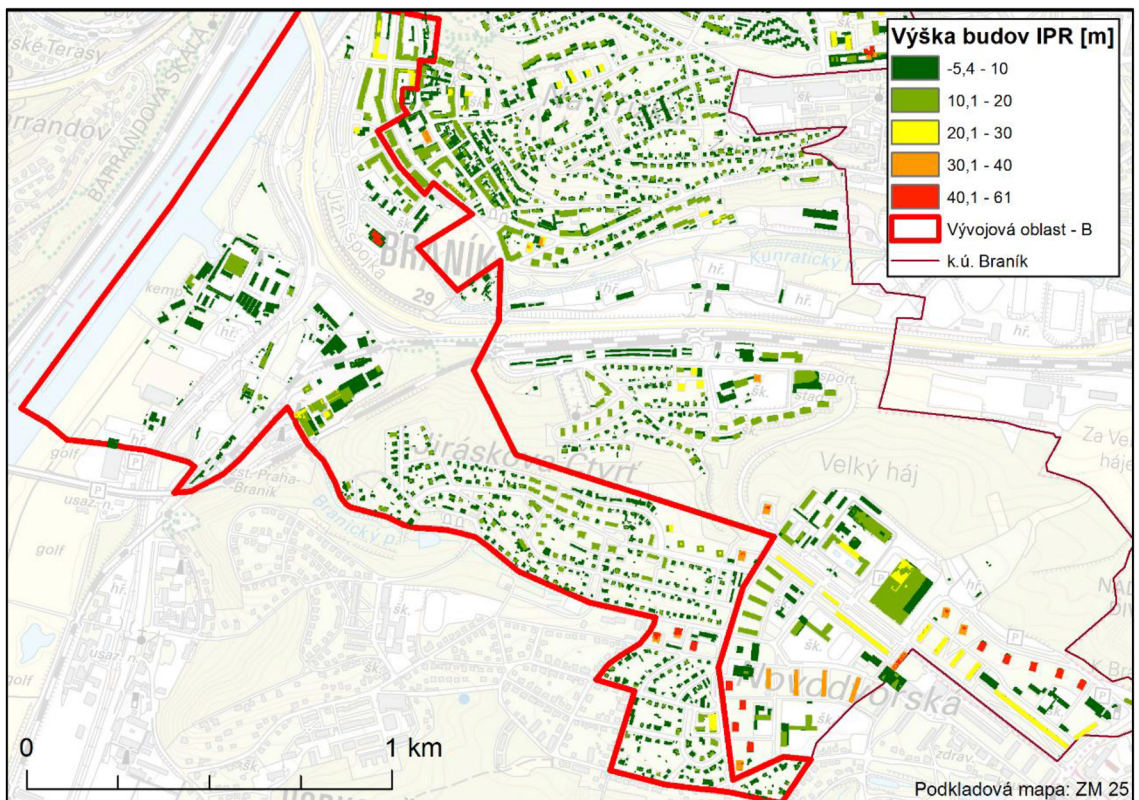
Příloha č. 4: Vývojová oblast A – ČUZK



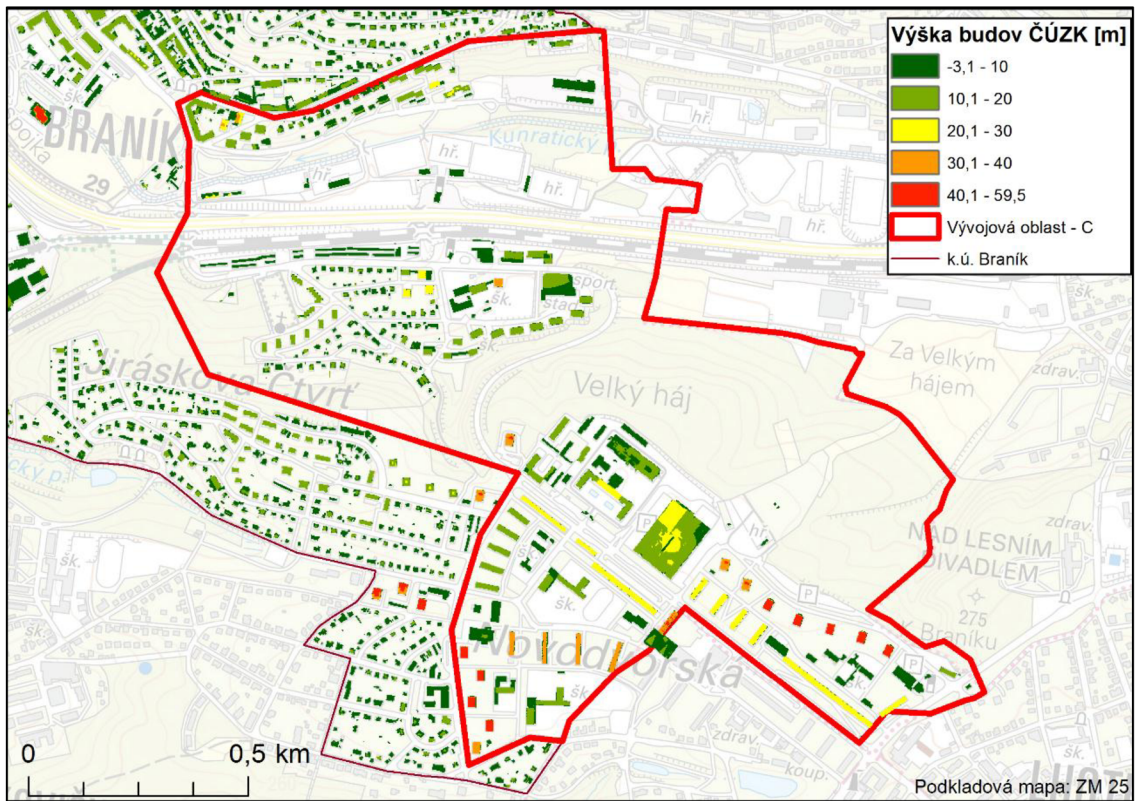
Příloha č. 5: Vývojová oblast A – IPR



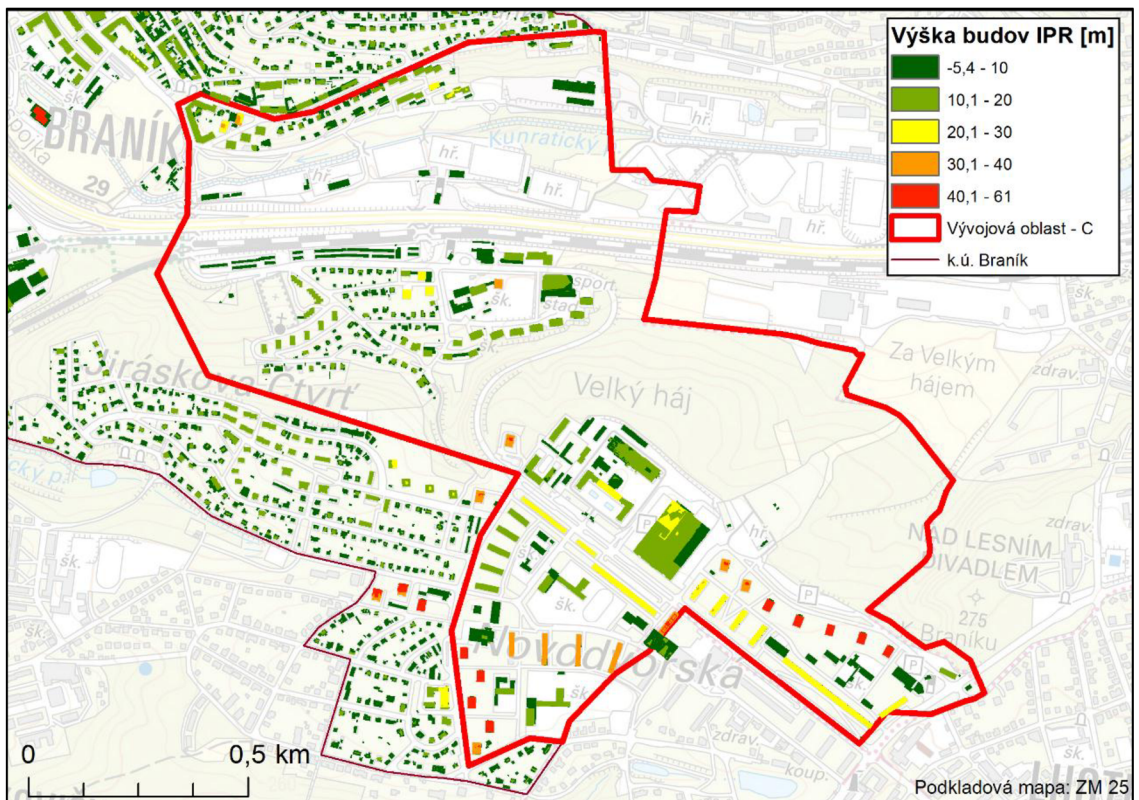
Příloha č. 6: Vývojová oblast B – ČÚZK



Příloha č. 7: Vývojová oblast B – IPR



Příloha č. 8: Vývojová oblast C – ČÚZK



Příloha č. 9: Vývojová oblast C – IPR