

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2023

Bc. Pavel KOREC

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
STUDIJNÍ OBOR INŽENÝRSKÁ GEODÉZIE  
KATEDRA GEOMATIKY



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Hrad Týnec nad Sázavou – dílčí měřická dokumentace**  
**Týnec nad Sázavou Castle – partial metrical documentation**

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

květen 2023

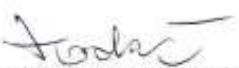
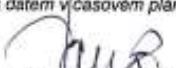
Bc. Pavel KOREC

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení:	Korec	Jméno:	Pavel	Osobní číslo:	484415
Zadávatel katedra:	Katedra geomatiky - K155				
Studijní program:	N0732A260020 - Geodézie a kartografie				
Studijní obor/specializace:	36T0GKIG - Inženýrská geodézie				

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Hrad Týnec nad Sázavou - dílčí měřická dokumentace		
Název diplomové práce anglicky:	Týnec nad Sázavou Castle - partial metrical documentation		
Pokyny pro vypracování:	<ul style="list-style-type: none"><li>- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci zaměřovaného prostoru a definujte typ, parametry a rozsah výstupů projektu,</li><li>- navrhnete vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,</li><li>- proveďte měřické práce v zájmovém území v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti,</li><li>- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,</li><li>- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypočítací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem</li></ul>		
Seznam doporučené literatury:	<p>NOVOTNÝ, Radek. Kostel Stěti sv. Jana Křtitele Dolní Chabry (Praha) - dílčí měřická dokumentace. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2020.</p> <p>PÚBAL, Miloslav. Tvorba fotoplánu rozvinutím - možnosti zpracování. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2016.</p> <p>VARHANÍK, Jiří. Věž rotundy v Týnci nad Sázavou. In: Dějiny staveb 2002. Plzeň: Klub Augusta Sedláčka, 2002, str. 182-188.</p> <p>BREJCHA, Marcel et al. Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek. Ústí nad Labem: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Ústí nad Labem, 2015.</p> <p>VESELÝ, Jan. Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. Praha: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze, 2014.</p>		
Jméno vedoucího diplomové práce:	Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.		
Datum zadání diplomové práce:	20. února 2023	Termín odevzdání DP v IS KOS:	22. května 2023
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>			
 Podpis vedoucího práce		 Podpis vedoucího katedry	

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

<u>22. 2. 2023</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	--

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma “Hrad Týnec nad Sázavou – dílčí měřická dokumentace“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce. Odbornou literaturu a další použité informační zdroje, které jsou citovány v práci, uvádím v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne .....

.....

Bc. Pavel KOREC

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D. za poskytnuté rady při konzultacích během zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval mojí rodině a přítelkyni za trpělivost a velkou podporu během mého studia. Chtěl bych také poděkovat firmě Pavel KOREC zeměměřické práce za technickou spolupráci.

## **Abstrakt**

Tématem této diplomové práce bylo praktické využití různých geodetických metod pro vytvoření dílčí měřické dokumentace hradu v Týnci nad Sázavou. V rámci práce bylo vytvořeno několik různých výstupů, které byly průběžně konzultovány se zástupci Národního památkového ústavu v Praze.

Exteriér hradu byl celý nasnímkován fotogrammetricky pomocí dronu (RPAS) a v interiéru bylo použito metody 3D laserové skenování. Vše ještě bylo doplněno geodetickým měřením vlícovacích bodů pro souřadnicové připojení. Bylo provedeno polohové připojení do S-JTSK a výškové připojení do Bpv.

Cílem práce bylo vytvořit ortofota vnějšího pláště objektu, prostorový model exteriéru z fotogrammetrie a spojená mračna bodů interiéru celého objektu z laserového skenování. V rámci badatelské části práce byly pro výzkumné účely vytvořeny řezy týkající se výškových a geometrických poměrů rotundy s apsidou a detailní snímky zazděných otvorů v horní části hranolové věže, dle požadavků zadavatele.

## **Klíčová slova**

měřická dokumentace, fotogrammetrie, 3D laserové skenování, ortofoto, mračno bodů, rozvinutí, dron, vlícovací bod, rotunda, hrad, Týnec nad Sázavou

## **Abstract**

The topic of this diploma thesis was the practical use of various geodetic methods for the creation of partial measurement documentation of the castle in Týnec nad Sázavou. As part of the work, several different outputs were created, which were continuously consulted with representatives of the National Monuments Institute in Prague.

The entire exterior of the castle was photogrammetrically photographed using a drone (RPAS) and 3D laser scanning methods were used in the interior. Everything was supplemented by geodetic measurement of the ground control points for the coordinate connection. A position connection to S-JTSK and a height connection to Bpv were made.

The aim of the work was to create an orthophoto of the outer shell of the object, a spatial model of the exterior using photogrammetry and aligned point clouds of the interior of the entire object using laser scanning. As part of the research part of the work, sections regarding the height and geometrical proportions of the rotunda with the apse and detailed images of the walled-up openings in the upper part of the prismatic tower were created for research purposes, according to the client's requirements.

## **Keywords**

measurement documentation, photogrammetry, 3D laser scanning, orthophoto, point cloud, unwrapping, drone, ground control point, rotunda, castle, Týnec nad Sázavou

# OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Literární řešerše .....	11
3	Lokalita.....	12
3.1	Týnec nad Sázavou.....	12
3.2	Hrad Týnec.....	15
3.2.1	Historie hradu a města.....	16
3.2.2	Archeologické nálezy .....	18
3.2.3	Informace o pozemku .....	19
3.2.4	Architektura.....	20
3.2.5	Chráněné památky.....	22
4	Použité technologie.....	24
4.1	Geodetické metody.....	25
4.1.1	Polární metoda.....	25
4.1.2	Nivelace .....	26
4.2	GNSS technologie.....	27
4.3	Letecká fotogrammetrie.....	29
4.3.1	Provoz dronu z pohledu legislativy.....	29
4.3.2	Metody IBMR – teorie obrazové korelace .....	32
4.3.3	Vlivy na kvalitu snímků.....	33
4.4	3D laserové skenování.....	35
4.4.1	Teorie laserového skenování .....	35
4.4.2	Technické parametry .....	37
4.4.3	Vliv povrchu na skenování .....	38
5	Použité měřické přístroje a vybavení .....	39
5.1	GNSS přijímač Topcon GR-3 .....	39
5.2	Nivelační přístroj Topcon AT-G3 .....	40
5.3	Totální stanice Topcon GPT-9003A .....	41
5.4	Dron DJI Mavic Mini .....	42
5.5	Laserový skener Leica BLK360.....	43
6	Použitý software.....	44
7	Měřické práce .....	48
7.1	Rekognoskace terénu.....	48
7.2	Tvorba bodového pole.....	48



7.3	Zaměřování vlčovacíh bodů.....	51
7.4	Ověření výškového připojení.....	52
7.5	Letecká fotogrammetrie – technologie RPAS.....	53
7.6	Laserové skenování .....	55
8	Kancelářské práce .....	56
8.1	Zpracování geodetického měření .....	56
8.2	Zpracování a editace skenů .....	57
8.3	Tvorba 3D modelu z fotogrammetrie .....	60
8.4	Tvorba ortofot.....	63
8.5	Tvorba výstupů pro badatelské účely .....	65
9	Zhodnocení přesnosti.....	68
10	Závěr .....	72
11	Seznam zdrojové literatury .....	73
12	Seznam obrázků.....	75
13	Seznam tabulek.....	77
14	Seznam příloh.....	78

# 1 Úvod

V této diplomové práci byly aplikovány různé měřické metody za účelem vytvoření dílčí měřické dokumentace historického objektu. Zájmový objekt představoval hrad v Týnci nad Sázavou. Tento objekt byl vybrán z důvodu snadné dostupnosti, jelikož se nachází v místě mého bydliště a pro měření v terénu je velmi dobře přístupný ze všech stran. Na rozdíl od mé bakalářské práce, ve které jsem pouze zpracovával již získaná mračna bodů do 2D výstupů, tak v tomto případě bylo prováděno i kompletní geodetické zaměření a následné zpracování naměřených dat do podoby 2D a 3D výstupů.

Před zaměřením historického objektu byl v rámci průzkumu místa přizván i zástupce z řad odborníků na památkovou péči Ing. arch. Jan Veselý z Národního památkového ústavu, Územního odborného pracoviště středních Čech v Praze a doc. Ing. arch. Milena Hauserová, CSc., členka Ústavu dějin architektury a umění Fakulty architektury ČVUT v Praze, se kterými byly upřesněny výstupy. Hlavním účelem bylo vytvářet takovou dílčí měřickou dokumentaci, která následně bude mít patřičný význam a užitek pro památkovou péči a další výzkumy spojené s historií hradu.

Na základě požadavků zadavatele z památkové péče bylo nutné provést kompletní dokumentaci pláště hradu pomocí letecké fotogrammetrie a důkladné naskenování interiéru objektu za účelem ověření určitých hypotéz o stavebních fázích vývoje objektu a rozšíření stávající dokumentace. Mezi další zkoumané části patří různé zazděné stavení otvory v horní části věže.

Kromě nové dokumentace hradu, která vznikla v rámci této práce, je zde v přílohách doplněna i ta historická z let 1949 a 1974, kdy na hradě probíhaly stavebně-historické a archeologické průzkumy. Historická dokumentace byla získána od Národního památkového ústavu v Praze a po naskenování přiložena k této práci. Pomocí řezů byla porovnána historická a nově vzniklá dokumentace.

V následujících kapitolách je popsána lokalita Týnec nad Sázavou spolu s místním hradem, ke kterému je krátce doplněna i zajímavá historie zmiňující původní účely vybudování hradu nad řekou Sázavou.

Dále pak zmiňuji použité měřické metody aplikované v této práci, které jsou popsány v principu teoreticky a následně i z praktické stránky v kapitole o samotné měřické práci v terénu. Je zde doplněn i přehled měřických přístrojů a dalšího vybavení, které bylo použité pro měření. Poté následuje popis průběhu zpracování naměřených dat zahrnující například ověření výšky připojovacího nivelačního bodu, výběr vhodných snímků z letecké fotogrammetrie při použití dronu nebo proces ředění mračen bodů, se kterými lze pracovat na počítači.

V rámci kapitoly o kancelářské práci jsou čtenáři i krátce seznámeni s prostředím a základními uživatelskými funkcemi použitých softwarů, které byly využity pro zpracování získaných dat z terénu.

Jedna z částí textu se také okrajově zabývá badatelskou činností, která byla realizována na základě požadavků a vzájemných konzultací s paní docentkou Hauserovou. Jedná se především o zkoumání geometrického průběhu tvaru rotundy.

Závěr je zaměřen na celkové shrnutí práce. Zhodnocení přesnosti je zde demonstrováno uvedením některých základních způsobů vzájemného ověření a porovnání dat, která byla pořízena v rozdílných souřadnicových systémech při použití odlišných geodetických metod.

Na závěr bych rád zmínil a zároveň poděkoval za vstřícné jednání a umožnění vstupu do hradu paní Krejzarové z Náboženské obce Církve československé husitské v Týnci nad Sázavou a paní Hruškové, kastelánce městského muzea a hradu.



*obr. č. 1: týnecký hrad; vlastní zdroj*

## 2 Literární rešerše

Následující stručná rešerše má sloužit k okrajovému přiblížení dosavadních poznatků o daném místě měření, které je historicky velmi významné. V této kapitole se zaměřuji na informace o významu a badatelských poznatcích týneckého hradu a také na měřické metody používané pro dokumentaci historických objektů.

Jiří Varhaník ve své práci *Věž rotundy v Týnci nad Sázavou* se zabývá týneckým hradem po stránce historické i archeologické. Zmiňuje historické kořeny Týnce jako opevněného místa, které následně podle toho dostalo svůj název. Upíná svou pozornost na historii a jednotlivé stavební fáze na hradě. Při tom se také částečně odkazuje na výsledky archeologického průzkumu, který zde prováděl Archeologický ústav ČSAV pod vedením A. Hejmy v letech 1969-1973. Dále ve své práci podrobněji popisuje různé pozůstatky stavebních otvorů, které byly zazděny v průběhu historie a uvádí možné účely, ke kterým původně sloužily. U hradní věže předpokládá původně zvonové patro s více sdruženými okny, po kterých zůstaly jen jejich zazděné části, což naznačuje, že věž byla kostelního charakteru. A vyvrací teorie o možných pozůstatcích cimbuří. Text je doplněn i fotografiemi a půdorysnými nákresey jednotlivých podlaží hradu. [32]

Ing. Jan Veselý z NPÚ v Praze ve své práci *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči* komplexně zasvěcuje do problematiky zaměřování historických objektů a poukazuje na rozdíly mezi různými typy dokumentace. Tento metodický předpis je určen pro osoby z oblastí ochrany památkové péče a osoby pohybující se v oblasti kulturního dědictví. Vrací se ke kořenům a zmiňuje prvotní pokusy o vytvoření obdoby historické dokumentace u významných objektů kolem 16. století, kdy bylo používání oměrných metod. Uvádí se zde srovnání ve vývoji měřických postupů a používaného přístrojového vybavení. Podle informací z práce vyplývá, že v polovině 20. století vznikala snaha o vytvoření jednotné metodiky pro dokumentaci v památkové péči. Postupem času přicházela modernější technika a postupně se rozvíjely i používané metody, například průseková fotogrammetrie. Dále je zde uváděno velmi rozšířené používání GNSS technologie, digitální fotogrammetrie a 3D laserového skenování pro účely dokumentace historických památek. [11]

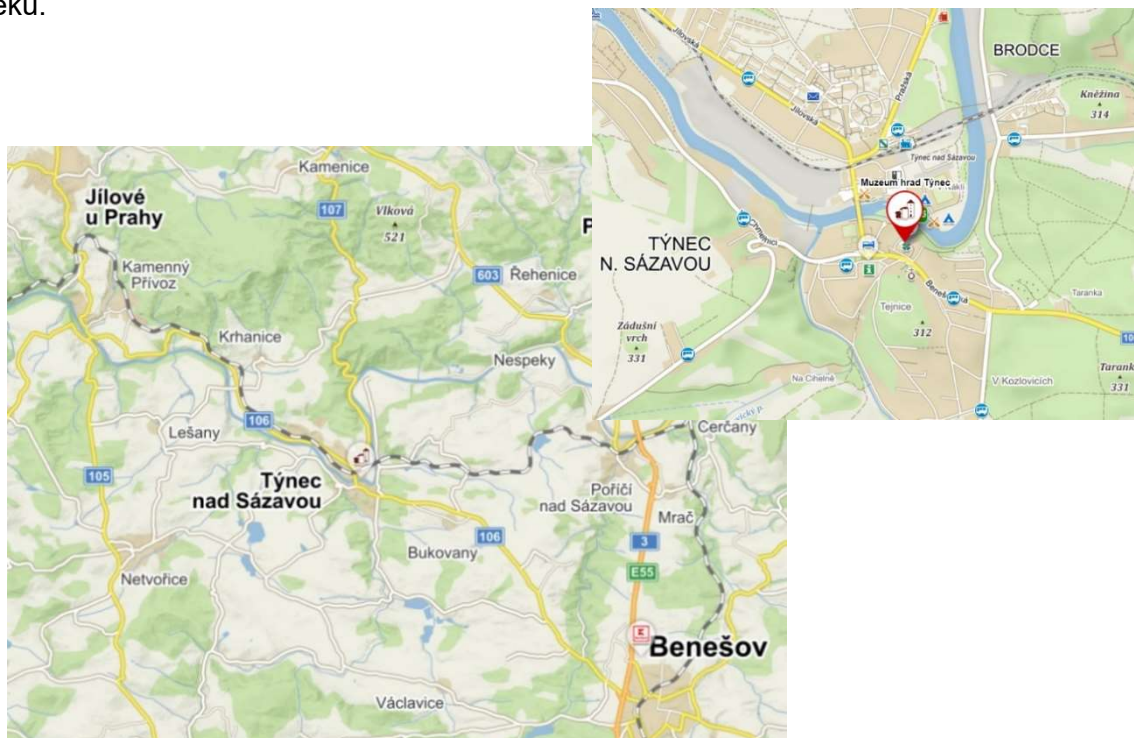
Bc. Michal Zíma se ve své diplomové práci na téma *Ulice Havelská (Praha 1) – měřická dokumentace podloubí domů č. p. 504–512* zabývá pořízením a zpracováním skenů do podoby výstupů. Celkem podrobně je zde popsán proces registrace a jednotlivých kroků zpracování mračen bodů v programech Leica Cyclone REGISTER 360 a CloudCompare. V kapitole o porovnání jednotlivých zájmových částí jsou čtenáři seznámeni se základními funkcemi pro práci s mračky v programu CloudCompare. Tento program se jeví jako vhodný pro práci s mračky bodů. Mezi nejpoužívanější funkce patří segmentace a porovnání mračen. [33]

### 3 Lokalita

V následující části textu je popsána lokalita měření. Základní informace o městě a o místním hradě jsou doplněny o důležité střípky historie, které vystihují také průmyslový ráz celé oblasti.

#### 3.1 Týnec nad Sázavou

Město Týnec nad Sázavou se nachází v jižní části Středočeského kraje v okrese Benešov, přibližně 35 km jižně od Prahy a 10 km od Benešova. Rozprostírá se na levém i pravém břehu řeky Sázavy, která jím protéká. Týnec se svojí celkovou rozlohou 26 km<sup>2</sup> a populací kolem 5 700 obyvatel se řadí spíše mezi menší města. K městu patří i místní části Brodce, Čakovice, Chrást nad Sázavou, Krusičany, Pecerady, Podělusy, Zbořený Kostelec a osady Větrov a Hůrka. Město patří k významným turistickým lokalitám v dolním Posázaví a je především oblíbeným místem zejména pro vodáky, kteří sem každoročně přijíždí splouvat řeku.



obr. č. 2, 3: výřez mapy s detailem Týnce nad Sázavou; zdroj [2]

V rámci města je zajištěné velmi dobré autobusové a vlakové spojení, jak směrem na Prahu, tak směrem na Benešov a Jílové u Prahy. Týncem prochází železniční trať č. 210 z Prahy hl. n. do Čerčan, která je především v letních měsících hojně využívána příznivci vodních aktivit a turismu jako způsob dopravení se do města. Tato jedinečná železniční trať, která bývá označována jako Posázavský pacifik, vede malebným údolím řeky Sázavy a byla vybudována na přelomu 19. a 20. století. Posázavský pacifik dostal svůj název již počátkem minulého století od trempů, kteří po této trati cestovali po okolí.



*obr. č. 4: pohled z věže hradu na Týnec nad Sázavou, pravý břeh Sázavy; vlastní zdroj*

Již zmíněná řeka, která městem protéká, ho rozděluje na dvě rozdílné poloviny. Na levém břehu se rozprostírá starší část města nazývaná Tejnice, která zahrnuje kromě starší zástavby i historicky významné objekty. Mezi ně patří kostel sv. Šimona a Judy ze 14. století, výrazný měšťanský dům U Micků z konce 19. století s bohatě zdobenou fasádou, kulturní dům z počátku 19. století a zejména týnecký hrad.

Na obrázku č. 5 je v levé části v popředí zachycena budova místní fary a za ní se tyčí velká budovy základní školy. V pravé části snímku je k vidění již zmíněný dům U Micků se zdobenou fasádou a za ním kostel sv. Šimona a Judy se starým hřbitovem.



*obr. č. 5: pohled z věže hradu na Tejnici, levý břeh Sázavy; vlastní zdroj*

Na pravém břehu převládá spíše novější zástavba s vybudovanou rozsáhlou infrastrukturou spolu s dopravním terminálem pro autobusovou i železniční dopravu a stavbami občanské vybavenosti. Pro vodáky je ve městě také k dispozici i místní kemp v meandru řeky Sázavy. Značnou část území na pravém břehu řeky zaujímá slévárna Metaz Týnec a.s., která vyrábí odlitky z oceli a slitin hliníku. Týnec nad Sázavou je také samozřejmě neodmyslitelně spjatý i s výrobou světoznámých motocyklů značky JAWA. Sídlo společnosti JAWA Moto spol. s r.o. se nachází v místní části nazývané Brodce. Do značné míry se jedná o dva z největších průmyslových podniků v oblasti, které se zároveň řadí i mezi největší zaměstnavatele ve městě a okolí.



*obr. č. 6: pohled z věže hradu na meandr řeky; vlastní zdroj*

Postupně sílící rozvoj a rozmach průmyslové výroby, který byl již historicky s touto oblastí spjatý, znamenal zvýšený nárůst počtu obyvatel a celkový rozkvět lokality, což vyústilo v to, že se Týnec nad Sázavou stal dne 01. 01. 1969 městem. V současné době je stále částečně zachován průmyslový ráz města, ovšem ne již v tak velké míře, jako v minulém století.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [1], [5].*



*obr. č. 7: hrad a kulturní dům, pohled od západu; vlastní zdroj*

## 3.2 Hrad Týnec

Týnecký hrad je bezesporu největší dominantou města a velmi vzácnou částí historie nejen pro místní obyvatele. Z pohledu geografického umístění opevnění se jedná o velmi výhodnou pozici už jen proto, že se nachází na mohutném skalním výběžku nad řekou s možností rozhledu do širokého okolí. Dále je velmi dobře chráněn okolními příkrými svahy a řekou Sázavou, která obklopuje hrad od severního směru a vytváří tak dokonalou přírodní bariéru před případným obléháním hradu. Funkcí hradu bylo především zajistit bezpečnost kupců směřujících po obchodní stezce, která tímto územím procházela. Dalším strážním opevněním, který zabezpečoval trasu, byl nedaleký hrad Kostelec vybudovaný na mohutném skalnatém masivu tyčícím se nad řekou Sázavou.

Do dnešní doby se z původního hradního areálu zachovala románská rotunda z 11. století, která je zasvěcena sv. Václavu a hranolová gotická věž ze 13. století. Samotná rotunda, která plnila funkci hradní kaple, je zároveň i nejstarší dochovanou památkou ve městě.

V současnosti je objekt využíván jako kaple pro konání bohoslužeb církve Československé husitské v Týnci nad Sázavou. Věž slouží v sezóně jako rozhledna pro turisty a konají se zde drobné výstavy. Jelikož se hrad nachází na vyvýšeném místě, je z něj krásný rozhled do okolí. Věž také slouží jako letní sídlo netopýra velkého, největšího netopýra vyskytujícího se v České republice. Mezi další dochované objekty bývalého hradního areálu patří také původně gotický palác, který byl později v 18. století přestavěn a nyní se zde nachází městské muzeum. Z druhé strany budovy městského muzea jsou patrné zbytky základů románského přemyslovského paláce z 12. století.



obr. č. 8: rotunda a věž, pohled od jihu; vlastní zdroj

Během roku se zde konají různé výstavy, akce, koncerty a divadelní představení. Při velikonočních a vánočních svátcích jsou zde kromě tematických výstav pořádána drobná minitržiště a další doprovodný program plný soutěží, který je vhodný pro rodiny s dětmi.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [1], [6].*

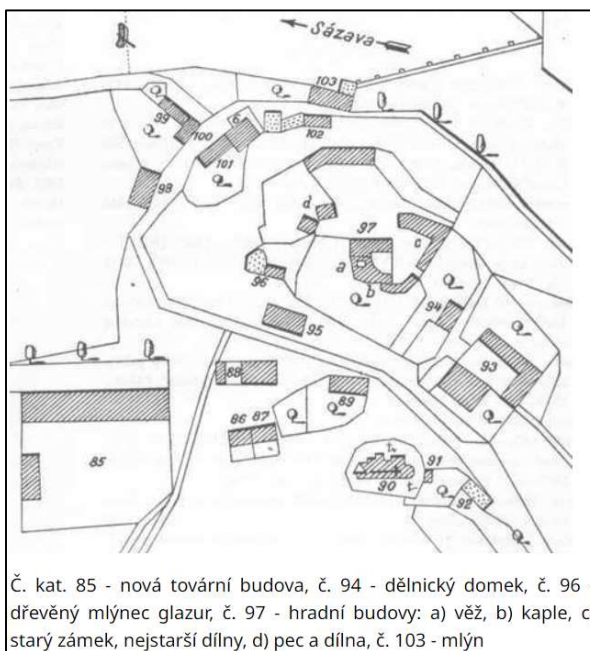


### 3.2.1 Historie hradu a města

První historické prameny o území dnešního Týnce pochází již z roku 1318, kdy je datována první písemná zmínka o místním hradu. Z archeologických nálezů při výzkumu na hradním nádvoří z let 1969-1973 vyplývá, že tato oblast byla osídlena již v 8. – 10. století. Už podle samotného názvu původní osady Týnec lze soudit, že se zde nacházel nějaký druh středověkého sídla opevněného hradbou. Osada dostala název právě podle staročeského označení “týn“ ve významu opevněné místo. Tento historický objekt, který plnil zejména strážní a obranou funkci, se nacházel na trase strategické obchodní cesty, která vedla z jižních Čech přes údolí řeky Sázavy až do Prahy.

Svým účelem lze, do jisté míry, připodobnit význam tohoto týneckého opevnění ke hradu Kašperk v jižních Čechách. Ten byl postaven jako strážní hrad, aby střežil významnou obchodní trasu tzv. Zlatou stezku. Ale zpět k historii Týnce a jeho nejvýznamnější památce. Jak již bylo zmíněno, nejstarší písemná zmínka hovoří o Oldřichovi z Týnce, členu rodu Medků z Valdeka, jako prvním majiteli hradu. Postupem času se zde vystřídalo několik různých majitelů. Počátkem 17. století se hrad dostává do majetku rodu Hodějovských z Hodějova. Po bitvě na Bílé hoře roku 1620 dochází ke konfiskaci majetku, který kupuje následně Albrecht z Valdštejna. Přicházející období bylo pro týnecký hrad velkou ranou, jelikož v letech 1627 a 1654 hrad vyhořel a zůstal ve zuboženém stavu na dlouhá léta. Týnecký hrad tím okamžikem následně přestal být sídlem vrchnosti. Počátkem 18. století kupují Konopiště a Týnec hrabata z Vrtby, kteří dají týnecký areál dohromady a udělají z něj opět obyvatelné místo.

S ohledem na velký rozmach keramického průmyslu v Evropě, byla velká poptávka po tomto zboží i u nás, ale většina se ho dovážela ze zahraničí. Až koncem 18. století vzniklo v Čechách několik továren na zpracování kameniny a porcelánu. Jednou z nich byla i nově vzniklá továrna na zpracování kameninového zboží v Týnci, kterou roku 1791 založil hrabě František Josef z Vrtby. Ten se současně také stal novým majitelem hradu, který ho nechal opravit a uzpůsobit ho pro tovární účely. Postupem času Týnec proslul výrobou kameniny a v rámci rozšíření výroby bylo nutné zařídit nové prostory pro vzkvétající továrnu. Dnešní kulturní dům, který v Týnci stojí, byl původně vybudován hrabětem z Vrtby jako nová tovární budova kameninového podniku roku 1812. Zkáza celého týneckého podniku přišla v polovině 19. století, kdy se továrna potýkala se silnou konkurencí levnějšího porcelánového nádobí a s vlastními zásobovacími problémy. Továrna ukončila svůj provoz v roce 1866.



obr. č. 9: mapa Týnce z roku 1840 (dle katastrální mapy); zdroj [6]

V následujícím století začíná v Týnci psát novou kapitolu moderního průmyslu a rozvoje oblasti pražský podnikatel a vynálezce Ing. František Janeček. Začátkem 20. století Ing. Janeček při návštěvě malebného Posázaví zavítal jako letní host do Týnce. Oblíbil si místí kraj na tolik, že zde nakoupil pozemky a nechal si zde postavit rodinnou vilu kruhového půdorysu. Postupně se v jeho mysli začaly formovat představy o přeměně Týnce v město průmyslu, které by si vytvořil a vedl podle svých představ stejně jako Baťa. Začal přispívat na rozvoj města. Chtěl se aktivně podílet na chodu a rozvoji města, čímž si také nárokoval zásadní vliv ve všech oblastech vývoje města, které se v jeho očích mělo stát druhým Zlínem.

Janeček se rozhodl na pravém břehu řeky vystavět velkou slévárnu, kam by přesunul provoz ze své pražské zbrojovky. Původní továrna zaměřená na zbrojní průmysl byla kvůli ukončení odběru ze strany armády přeorientována na výrobu motocyklů. Kromě pozemků na její stavbu nakoupil v Týnci ještě spoustu okolních pozemků určených pro plánovanou výstavbu továrního města s dostatečným počtem bytů a s objekty občanské vybavenosti až pro 30 tisíc obyvatel. Tuto lokalitu si vybral nejspíše díky dopravní dostupnosti v podobě železniční trati a řece Sázavě.

V roce 1930 byla založena slévárna hliníku, oceli a barevných kovů, která funguje dodnes pod názvem Metaz Týnec a.s. Tento metalurgický závod byl vybudován jako pobočka Janečkovy továrny na motocykly JAWA, která sídlí na Brodcích. Hlavním účelem provozu slévárny v Týnci bylo zajištění soběstačnosti produkce a kvalitních odlitků z hliníku, oceli a dalších dílů potřebných pro motocykly a automobily značky JAWA, které Janeček vyráběl ve své druhé továrně na Brodcích. Továrna na výrobu motocyklů JAWA vznikla v areálu bývalé brodecké přádelny bavlny, která ukončila svůj provoz v roce 1936. Mezi nejslavnější motocykly patří především JAWY 250 nazývané "pérák" a "kývačka". Při druhé světové válce byly podniky orientovány na zbrojní výrobu. Oba průmyslové podniky fungují dodnes.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [1], [6], [7].*



*obr. č. 10: Ing. František Janeček; zdroj [8]*

### 3.2.2 Archeologické nálezy

Z mnoha stran se již v druhé polovině 19. století objevovaly teorie, o jaký druh týneckého opevnění se původně jednalo. Z dochovaných objektů není zcela zřejmé, jaká byla podoba celého areálu a kolik budov obsahoval celý komplex. V 60. letech 19. století při prováděných zemních pracích v okolí rotundy bylo nalezeno staré pohřebiště. O století později zde v letech 1969-1973 a 1976-1977 probíhal rozsáhlý archeologický výzkum s cílem více zjistit o nejstarší fázi osídlení v areálu týneckého hradu. Byla snaha se dopátrat pozůstatků původních staveb, které se nedochovaly a vymezit průběh hradního opevnění. Z výsledků průzkumu vyplývá, že nejstarší objekt představovala rotunda s objeveným pohřebištěm z 11. století. Archeologické nálezy tedy jednoznačněji pomohly upřesnit období, ze kterého pochází místní rotunda. V rámci pozdějšího vývoje sídla došlo začátkem 13. století k vybudování mohutné hranolové věže, která byla stavebně propojena s původní rotundou. V podobném časovém období vzniká severně od rotundy i nová stavba, která plnila obytnou funkci. Vybudováním takového komplexu objektů byl vytvořen jeden sídelní celek, který plnil obytnou, obrannou, sakrální a správní funkci. S postupným rozvojem oblasti a rozšířeným zemědělstvím zde byly v okolí budovány také stavby pro hospodářské účely.

Dále pak lze konstatovat, že původně dřevěný palác byl na přelomu 12. – 13. století nahrazen kamenným gotickým palácem, který byl v úrovni druhého podlaží stavebně propojený s hranolovou věží. Tím vznikl na počátku 13. století královský středověký hrad. Samotná rotunda zprvu plnila funkci farního kostela pro obyvatele opevnění i pro ty z podhradí, ale později nejspíše sloužila jako hradní kaple pro vrchnost a jejich služebnictvo. Později, když ve 14. století byl postaven gotický kostel, nesloužila rotunda zřejmě již k sakrálním účelům. Na přelomu 16. – 17. století se hovoří o místním sídle jako o zámku, který Týnec představoval díky své rozlehlosti až na pravý břeh řeky Sázavy, kde se nacházel druhý dvůr. Na jeho místě se v současné době nachází budova městského úřadu. Mezi další významné a důležité stavby v rámci zámeckého areálu patřil pivovar a vodní mlýn s pilou na řece Sázavě. Na levém břehu řeky se při ústí Janovického potoka do Sázavy rozprostíraly plochy s vinicemi a chmelnicemi. Na hradě nebyla studna, voda byla přiváděna potrubím z nedaleké Taranky do kašny.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [1].*



*obr. č. 11: týnecký hrad nad meandrem řeky; vlastní zdroj*

### 3.2.3 Informace o pozemku

V katastru nemovitostí lze najít tyto základní informace o pozemku, na kterém se hrad a rotunda nachází.

- obec: Týnec nad Sázavou
- okres: Benešov
- kraj: Středočeský
- k. ú.: Týnec nad Sázavou
- parcelní čísla: st. 97/3 KN
- druh pozemku: zastavěná plocha a nádvoří
- způsob využití stavby: objekt občanské vybavenosti
- adresa: Nádvoří Hodějovského 535, 257 41 Týnec nad Sázavou
- vlastníci: Náboženská obec Církve československé husitské v Týnci nad Sázavou, Nádvoří Hodějovského 535, 257 41 Týnec nad Sázavou
- ochrana nemovitosti:
  - přírodní rezervace nebo přírodní památka
  - menší chráněné území
  - ochr. pásmo jiného zvlášť chrán. území nebo pam. stromu

*V předchozím textu bylo čerpáno z [3].*



obr. č. 12: katastrální mapa + ortofoto, areál týneckého hradu; zdroj [3]

### 3.2.4 Architektura

Hradní historie je velmi dlouhá a je patrné, že jednotlivé objekty areálu byly budovány v různém období. Proto zde můžeme narazit na různé architektonické slohy spolu s jejich charakteristickými prvky. Jedná se hlavně o románský sloh a gotiku.



obr. č. 13: hrad a městské muzeum, v pozadí kostel a kulturní dům; vlastní zdroj

Typickým zástupcem románského slohu je rotunda, která pochází z dob raného středověku. Jedná se o nejstarší typ sakrálních staveb, které byly budovány ve významných lokalitách. Charakteristickým znakem, kterým se rotundy vyznačují, je jejich kruhový půdorys doplněný apsidou, kam se umísťoval oltář. Střecha má převážně kuželovitý tvar. Rotundy byly zaklenuty kopulí, průchod světla dovnitř zajišťovala úzká románská okna, která byla zakončena půlkruhovou klenbou. Zdi byly stavěny z kamene nepravidelných kusů, nebo z pečlivě opracovaných kvádrů a spojovány vápennou maltou. Tyto stavby se vyznačují značně velkou tloušťkou zdiva. Stavby ve stylu románské architektury vznikaly na našem území v období od 9. do 13. století. Mezi neznámější zástupce románského slohu patří rotunda sv. Jiří na Řípu.

Gotika vznikla ve 12. století ve Francii. Je charakteristickým slohem pro následující období do 16. století. Tento umělecký sloh má kořeny v románském slohu a postupně se vyvíjel. Především u církevních staveb je patrná jejich značná výška za účelem přiblížení se k Bohu. Jedná se o velmi štíhlé stavby. V prvcích interiéru rozsáhlejších staveb se využilo křížových, síťových klenb a lomených oblouků. Kromě sakrálních staveb byla gotika uplatněna i u staveb mostů, opevnění a hradů. Pro exteriér bývají charakteristickým prvkem chrliče. Gotická okna jsou vysoká, úzká s lomeným obloukem. Obecně gotika je vznešený sloh, kdy se uplatňují především mohutné klenby, lomené oblouky a ozdobné prvky. Mezi významné památky gotické architektury patří Betlémská kaple v Praze nebo hrad Kašperk a Karlštejn.

Nyní se můžeme krátce zaměřit na typické horniny vystihující geologické poměry v oblasti Týnečka a okolí. Mezi hlavní horninové zástupce v lokalitě patří příbuzná hornina žuly, granodiorit, který má světle šedou barvu a podstatně velký obsah křemene. Zejména gabro a granodiorit patří mezi hlavní horniny, které byly použity právě při stavbě týnecké rotundy. Jsou charakteristické pro své tmavé barevné tóny s dobře viditelnou zrnitostí na povrchu.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [1], [9].*



*obr. č. 14: detail rotundy se zadržným oknem; vlastní zdroj*

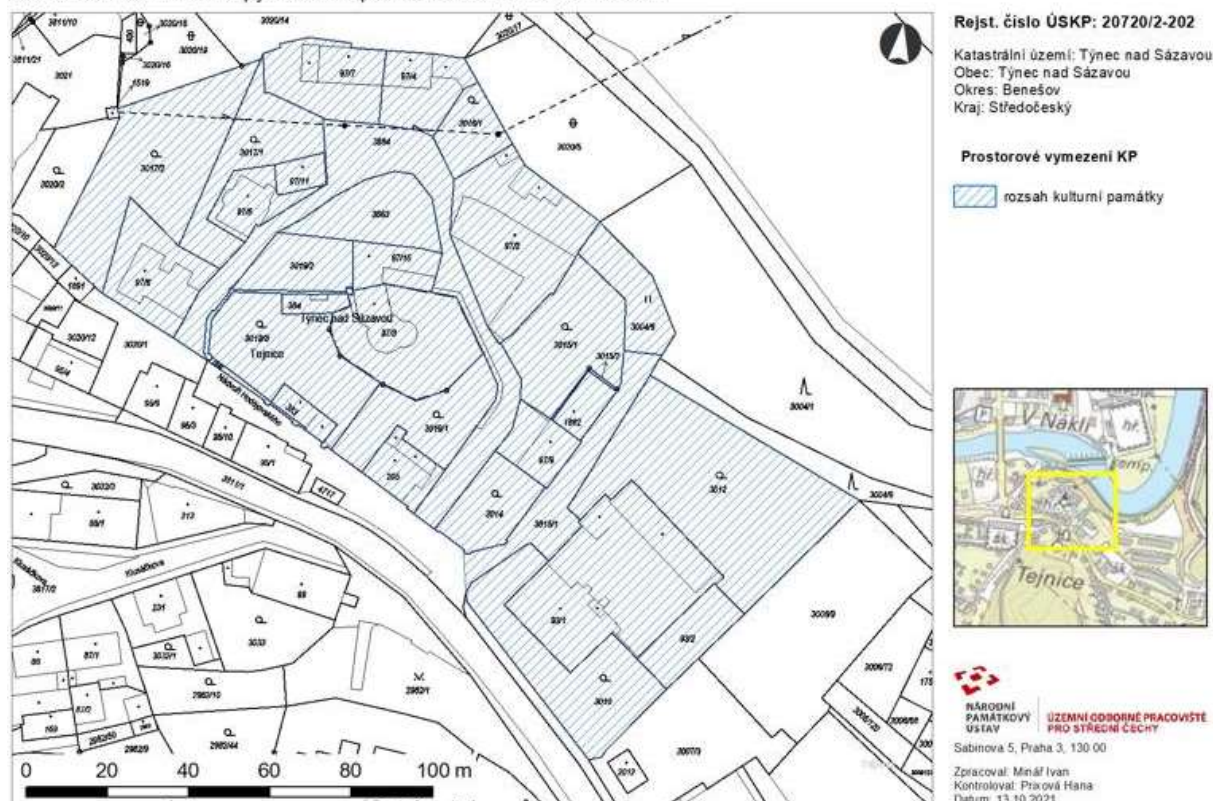
### 3.2.5 Chráněné památky

V roce 1998 bylo na základě rozhodnutí Okresního úřadu v Benešově, jako orgánu státní památkové péče, v Týnci vymezeno ochranné pásmo souboru nemovitých kulturních památek, areálu hradu, areálu kostela sv. Šimona a Judy, domu zv. U Micků a areálu továrny na kameninu v Týnci nad Sázavou. V ochranném pásmu se nachází nejstarší část města s dominantou raně středověké rotundy a hradu v katastrálním území Týnec nad Sázavou. Ochranné pásmo se v hradním areálu vztahuje na rotundu s věží, muzeum, pozůstatky přemyslovského paláce, bývalý pivovar, hospodářskou budovu, faru a ohradní zeď s branami. Jedná se o historicky a průmyslově cennou oblast. V případě prováděných stavebních úprav v tomto území musí všechny stavební záměry být předem projednány s orgány památkové péče.



obr. č. 15: vymezení pásma kulturních památek v Týnci, podklad evidence NPÚ; zdroj [10]

### Zákres do katastrální mapy - kulturní památka: HRAD S ROTUNDOU



obr. č. 16: kulturní památka hrad s rotundou, podklad evidence NPÚ; zdroj [10]

Od roku 2005 spadá týnecký hrad na základě rozhodnutí Ministerstva životního prostředí České republiky mezi evropsky významné lokality v Posázaví. Jedná se o chráněné území vyhlášené v kategorii přírodní památka, které spadá do soustavy pro ochranu přírody s názvem Natura 2000. Předmětem ochrany je výskyt netopýra velkého v předposledním podlaží hradní věže, jehož početná kolonie zde má své letní sídlo již několik let. Netopýr velký se vyskytuje na většině území České republiky a řadí se mezi silně ohrožené druhy, které jsou legislativně chráněny zákonem.

V předchozím textu bylo čerpáno z [6], [10].



## 4 Použité technologie

Snaha o zaměřování historických staveb a památkových objektů pochází již z dob v období kolem 16. století, kdy v rámci rozšířeného zájmu o antickou architekturu se přední odborníci té doby zabývali při zkoumání těchto staveb studiem jejich konstrukčních vlastností. V pozdější době vzbuzovaly velký obdiv středověké architektury objekty určené pro sakrální účely, které byly vybudované v románském slohu a v období gotiky. Od 19. století tedy můžeme hovořit o postupném rozvíjení ochrany vybraných druhů památkových objektů a tvorbě jejich měřických dokumentací. Téma historických staveb a jejich dokumentace získává na důležitosti a významu, jelikož se stává součástí studia architektury a stavitelství. Tehdejší měřické metody byly z pohledu dnešní techniky značně omezené. Pro dokumentaci staveb byly používány jednoduché oměrné metody.

Mnohem modernější metody v podobě průsekové fotogrammetrie a používání přesných geodetických postupů a přístrojů pro zaměřování památkových objektů byly na našem území rozvíjeny a hojně používány zejména v polovině 20. století. V tomto období byla snaha o vytvoření metodických postupů a návodů pro měřické činnosti v rámci státní památkové péče. Důležitou součástí struktury oboru bylo měřické oddělení Státního ústavu památkové péče a ochrany přírody, který po revoluci zanikl a s ním i snaha o jednotné výstupy měřické dokumentace památek. Vlivem privatizace a nepoužívání původní jednotné metodiky vznikaly velké rozdíly ve zpracování od jednotlivých zpracovatelů.

Následující vývoj dal vzniknout novým technologiím a s nástupem laserových dálkoměrů přichází totální stanice, které výrazně proměnily geodetické práce. Dále byla rozvíjena digitální fotogrammetrie a GNSS technologie. Mezi nejmodernější technologický pokrok lze označit 3D skenovací systémy, které jsou hojně využívány pro účely dokumentace historických objektů. Kromě práce v terénu se mění i způsoby zpracování a možnosti tvorby výstupů, což klade i zvýšené nároky na výpočetní techniku.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [11].*

## 4.1 Geodetické metody

V následujících podkapitolách jsou popsány měřické metody, které byly aplikovány pro účely diplomové práce. Tato část textu uvádí teoretické principy a podstaty jednotlivých metod. V odstavci pro leteckou fotogrammetrii jsou navíc doplněny pravidla pro létání s dronem dle aktuální platné legislativy.

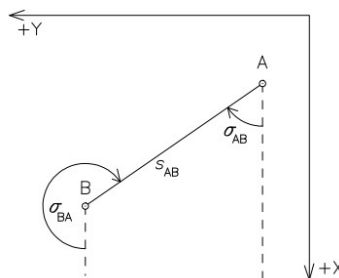
### 4.1.1 Polární metoda

Nejběžnější metodou, která se používá v geodetické praxi pro určování souřadnic podrobných bodů, je metoda polární. Měří se zde polární souřadnice, ze kterých se následně počítají souřadnice zaměřovaných bodů. Pro tuto metodu se předpokládá použití, v dnešní době nejčastěji, totálních stanic, které kromě vodorovných a svislých úhlů měří i šikmé vzdálenosti. Aby bylo možné určovat souřadnice podrobných bodů, je nutné znát souřadnice stanoviště, ze kterého přístroj měří. V rámci měření na stanovišti musí být přístroj zorientován zaměřením na okolní orientační měřické body, poté probíhá měření podrobných bodů. Pro samotný výpočet polohy zaměřovaného bodu je nutné znát v souřadnicích i orientační body, z nichž se vypočítá směrnik. Pomocí směrníku a naměřených polárních souřadnic se vypočítají souřadnicové rozdíly mezi stanovištěm a podrobným bodem, jejichž přičtením k souřadnicím stanoviště získáváme souřadnice podrobného bodu.

Jedná se o základní geodetickou metodu, která se používá i pro úlohy fotogrammetrie a laserového skenování z důvodu zaměření vlíčovacích bodů na zájmovém objektu. Používání této metody ztrácí na přesnosti při měření na krátké vzdálenosti a při strmých záměrech. Běžná přesnost, které lze polární metodou dosáhnout, se při zaměřování z jednoho stanoviště může pohybovat až v řádu pár milimetrů.

Touto metodou bylo v práci provedeno zaměření vlíčovacích bodů v exteriéru a následné zaměření identických bodů v interiéru hradu.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [11].*



obr. č. 17: princip směrníku v S-JTSK; zdroj [12]

## 4.1.2 Nivelace

Pro získání výšek bodů a výškových rozdílů mezi více body se používá metoda nivelace. Lze uvádět výšky v místním výškovém systému nebo ve státním výškovém systému. Tento státní výškový systém se nazývá Bpv (Balt po vyrovnání), který nahradil dříve používaný Jadranský systém. Pro nivelaci se používají nivelační latě se stupnicemi, na kterých se odečítá pomocí nivelačního přístroje. Měření začíná na bodě o známé výšce a měří se převýšení – relativní nejkratší vzdálenost bodu od horizontu nivelačního přístroje. Z naměřených hodnot se následně počítá absolutní nadmořská výška bodů v patřičném výškovém systému. Mezi potřebné vybavení pro nivelaci kromě nivelační latě a nivelačního přístroje patří ještě nivelační podložky a nějaké měřidlo na rozměření jednotlivých záměr nivelačního pořadu. Tato metoda měření výšek bývá v současné době více nahrazena měřením prostorové polární metody pomocí totální stanice.

V praxi se používá metoda nivelace ze středu, která se oproti nivelaci kupředu přesnější a výhodnější, protože v rámci této metody se eliminuje odklon záměrné osy nivelačního přístroje od vodorovné roviny. Chyba z nevodrovné záměry přístroje, nejčastější chyba u nivelačního přístroje, může být způsobena špatným fungováním kompenzátoru nebo nerektifikovanou nivelační libelou. Kompenzátory jsou kyvadla, která na základě působení zemské tíže samočinně v přístroji urovnávají záměrnou přímkou dalekohledu. Při dodržení správného postavení, kdy v rámci jedné nivelační sestavy je umístěn přístroj uprostřed mezi latěmi, dojde při následném výpočtu převýšení k odečtení zmíněné chyby a získáme správnou hodnotu převýšení. Podle typu práce s ohledem na požadovanou přesnost měření rozlišujeme druhy geometrické nivelace na technickou, přesnou, velmi přesnou a zvláště přesnou nivelaci. Pro každý druh nivelace se používá přístroj s odpovídající přesností, viz tabulka č. 1.

Uváděná hodnota střední jednotkové kilometrové chyby obousměrné nivelace označená  $\sigma_0$  charakterizuje přesnost převýšení určeného průměrem z měření tam a zpět v nivelovaném úseku o délce 1 km.

*tabulka č. 1: dělení nivelačních přístrojů dle přesnosti; zdroj [13]*

<b>kategorie</b>	<b>přesnost <math>\sigma_0</math></b>
velmi přesné	$\sigma_0 \leq 0,3 \text{ mm}$
přesné	$0,3 \text{ mm} < \sigma_0 \leq 1,5 \text{ mm}$
technické	$1,5 \text{ mm} < \sigma_0 \leq 5 \text{ mm}$
s nižší přesností	$5 \text{ mm} < \sigma_0$

Technickou nivelací bylo v terénu realizováno ověření výšky nivelačního bodu č. Ib18-35. Tento bod sloužil pro výškové připojení vybudované geodetické sítě do systému Bpv.

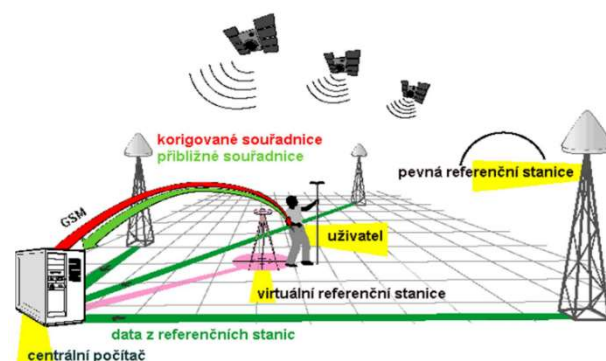
*V předchozím textu bylo čerpáno z [11], [13].*

## 4.2 GNSS technologie

Souhrnný termín GNSS (globální navigační družicové systémy) se používá pro obecné označení globálních družicových systémů, které se používají po celém světě. Mezi typické zástupce řadíme například americký systém NAVSTAR GPS, ruský systém GLONASS, evropský systém GALILEO a čínský systém BEIDOU. Historicky prvním družicovým systémem na světě byl americký systém GPS, který byl budován od roku 1978 ryze pro vojenské účely a stal se plně funkčním v roce 1995. Jedná se o hojně využívanou metodu, která se rychle rozšířila i do geodézie a přidružených oborů, kde je velice často používána například pro budování vlastních bodových polí. Metoda má také své částečné omezení, protože pro příjem signálu z družic se nedá GNSS přijímač používat v místech se zakrytým výhledem na oblohu nebo tak, kde dochází k rušení signálu elektromagnetickým vlněním. Kromě toho ale převládají spíše užitečné vlastnosti, mezi které patří především rychlé získání souřadnic bodů v S-JTSK v rámci celé republiky a přijímač obsluhuje pouze jeden měřič. Přesnost družicových systémů se pohybuje v řádu kolem tří centimetrů. Technologie je rozšířena pro vojenské a geodetické účely, ale také i v dopravě a logistice, zemědělství, řízení strojů atd.

Princip určení polohy technologií GNSS spočítá v prostorovém protínání z délek, kdy přijímáním signálu z družic jsme schopni určit prostorovou polohu a orientaci na zemském povrchu. Z pohledu měřiče na zemském povrchu s GNSS přijímačem se jedná o pasivní způsob měření, jelikož samotný přijímač pouze přijímá vyslaný signál s informacemi z družic. V návaznosti na to se rozlišuje několik metod měření a jejich následné zpracování. Jednu skupinu tvoří metody, u kterých nezískáváme data v okamžiku měření přímo v terénu, ale až při následném zpracování v kanceláři v rámci postprocesingu. Patří sem **metoda statická, rychlá statická, stop and go a kinematická**. Tyto metody nevyžadují tak drahé vybavení jako metody poskytující data v reálném čase.

Mezi nejvíce používanou metodou, která poskytuje data v reálném čase měření je **metoda RTK (real time kinematic)** s využitím korekcí z permanentních stanic. Pro komunikaci a předání měření z referenční stanice GNSS, druhého přijímače, je nutné radiové a internetové spojení. Pro tyto účely v ČR funguje například síť permanentních stanic CZEPOS, která poskytuje kromě dat RTK i data pro postprocesing. Stanice sítě poskytují korekční data, na základě kterých jsou vyhodnoceny prostorové souřadnice bodu.



obr. č. 18: schéma měření metodou RTK; zdroj [14]

Technologie GNSS při použití sítě permanentních stanic přináší největší přínos z hlediska ekonomického a poskytuje patřičný komfort a možnost určení své polohy s velmi dobrou přesností během několika vteřin. Jedním z největších vlivů na přesnost v určení polohy přijímače bývá konfigurace družic, které jsou potřeba minimálně čtyři pro určení prostorové polohy. Dále bývá signál ovlivněn prostředím (ionosféra a troposféra), kterým musí projít, než dorazí do přijímače.



obr. č. 19: síť permanentních stanic České republiky (CZEPOS); zdroj [14]

Využití GNSS technologie spočívalo v zaměření stanovisek a určení jejich prostorové polohy v rámci geodetické sítě vybudované v exteriéru. Získané souřadnice byly využity pro následné vyrovnání prostorové sítě.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [14], [15].*

## 4.3 Letecká fotogrammetrie

Obor fotogrammetrie se zabývá rekonstrukcí rozměrů, tvarů a polohy objektů na základě pořízených obrazových dat v podobě snímků, které se zpracovávají do různých 2D i 3D výstupů. Metody fotogrammetrie, které jsou založeny na pořizování a zpracování snímků, jsou oproti běžným geodetickým metodám rychlejší a mnohem výhodnější právě díky zachycení větších podrobností a detailů v rámci měřické dokumentace historických objektů. Podle způsobu, kterým se realizuje snímkování v terénu, rozdělujeme fotogrammetrii na pozemní a leteckou. U **pozemní** fotogrammetrie je snímek pořizován při stabilní poloze z ruky nebo ze stativu, zatímco při **letecké** fotogrammetrii je kamera umístěna v letadle nebo zavěšena na bezpilotním letounu. Dále se rozděluje podle počtu snímků na fotogrammetrii jednosnímkovou a vícesnímkovou. **Jednosnímková** fotogrammetrie bývá používána typicky při dokumentaci fasád rovinných objektů. Jedním z výstupů **vícesnímkové** fotogrammetrie je ortofoto. Při procesu jeho tvorby je snímek upravený ze středového promítání do ortogonální projekce. V současné době jsou však hojně využívány metody založené na principu obrazové korelace (IBMR) a prostorového promítání, kterými lze vyhodnotit větší množství snímků. Mezi časté výstupy z fotogrammetrie se řadí mračno bodů a prostorový model zájmového objektu vytvořený ze sady pořízených snímků s dostatečnými překryty.

Pro účely vytvoření 3D modelu hradního objektu bylo využito blízké letecké fotogrammetrie při využití RPAS systému, což znamená použití bezpilotního dálkově ovládaného létajícího prostředku, kterým byl v našem případě dron. Jednou z velkých výhod je samozřejmě bezkontaktní a rychlý sběr velkého množství dat, které zde představují pořizované snímky kamerou umístěnou na dronu. Pro provozování dronů je nutné splňovat v České republice určitá pravidla bezpečného létání zahrnující úspěšně složenou zkoušku, viz následující kapitola.

### 4.3.1 Provoz dronu z pohledu legislativy

Úřad pro civilní letectví rozděluje bezpilotní letadla celkem do tří základních kategorií. V první otevřené kategorii (OPEN) se nachází bezpilotní systémy, u jejichž provozem nevznikají velká rizika, aby bylo nutné předchozí vyžádání povolení příslušného úřadu. Ve druhé specifické kategorii (SPECIFIC) se nachází takové bezpilotní letouny, u kterých je nutné povolení příslušných úřadů před realizací letu. Ve třetí certifikované kategorii (CERTIFIED) je možný provoz bezpilotních letounů jen s certifikací daného systému, schválením od příslušného úřadu o jeho možném provozu a také osvědčení způsobilosti dálkově řídicího pilota.

Používání běžných dronů spadá to otevřené kategorie, která se dále dělí na podkategorie A1, A2 a A3, které podrobněji specifikují na základě odlišných provozních omezení a požadavků na provoz jednotlivé bezpilotní systémy.

Mezi nejdůležitější zásady a obecná pravidla při jejich provozu patří následující:

- bezpilotní letouny se nesmí provozovat o zónách, kde by způsobily konflikt ve vzdušném prostoru. Pro tyto účely slouží uživatelům mapa DronView (<http://dronview.ans.cz/>), která znázorňuje jednotlivé zóny s omezeným létáním.
- pilot během létání musí udržovat s prostředkem vizuální kontakt a mít ho plně pod dohledem na celé trase jeho letu
- maximální výška letu činí 120 m nad zemí
- povinnost označit bezpilotní prostředek příslušným identifikačním štítkem v rámci třídy letadla dle označení C0 až C4

V následujícím přehledu jsou zmíněna specifika provozu bezpilotních letounů podle jednotlivých podkategorií.

Podkategorie „otevřené“ kategorie provozu	Štítek s označením třídy typu dronu
<b>A1</b> Urbanistické oblasti, ale ne nad davy, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C0, C1
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 250 g a rychlostí < 19 m/s
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 500 g (do 31. 12. 2023)
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 250 g včetně paliva a užitečného zatížení. (od 31. 12. 2023)
<b>A2</b> Urbanistické oblasti při udržování nejméně 30 m (ve zvláštních případech až 5 m) od lidí, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 2 kg (do 31. 12. 2023) (minimální vzdálenost od osob je v tomto případě navýšena na 50 m)
<b>A3</b> Mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2, C3, C4
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 25 kg
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 25 kg (do 31. 12. 2023)
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 25 kg včetně paliva a užitečného zatížení uvedený na trh před 1. 1. 2024 (od 31. 12. 2023)

obr. č. 20: přehled práv a povinností při létání v otevřené kategorii; zdroj [16]

Používaný dron v rámci diplomové práce spadá do podkategorie A1, proto si ji probereme podrobněji v pár podstatných bodech.

- maximální vzletová hmotnost nižší než 250 g
- přelétávání nad osobami je zakázáno
- zákaz létání nad soukromými pozemky, zahradami rodinných domů apod.
- zákaz pořizování digitálních záznamů cizích osob
- při provozu nesmí být narušeno soukromí osob
- označení letadla příslušným štítkem provozovatele
- pilot (provozovatel) letadla je registrován a je držitelem dokladu o absolvování online výcviku pro podkategorii provozu A1 a A3



obr. č. 21: doklad o absolvování online výcviku pro podkategorii A1 a A3; vlastní zdroj

Dron byl použit pro nasnímkování hradu pro účely fotogrammetrie.

V předchozím textu bylo čerpáno z [11], [16].



### 4.3.2 Metody IBMR – teorie obrazové korelace

S prudkým rozvojem moderní techniky a nových možností digitálního světa, dochází i v oblasti fotogrammetrie k výraznému pokroku, když od konce 80. let 20. století proniká digitální technologie zpracování obrazu i do tohoto oboru. Digitálnímu obrazu a novému způsobu zpracování dat se dostalo velké popularity už jen z toho důvodu, že se jednalo o snadný a moderní přenos dat, která byla zároveň i kvalitnější díky citlivějším snímačům.

V současné době využívají technologie pro automatické digitální zpracování fotogrammetrických snímků princip obrazové korelace. V podstatě se jedná o jednoduchou úlohu, kdy je cílem nalezení polohy dvou stejných bodů na různých snímcích bez nutnosti jakéhokoli zásahu fotogrammetrického pracovníka. Hledání bodu na ostatních snímcích se neomezuje pouze na hledání obrazu dotyčného pixelu, který reprezentuje zájmový bod. Takový proces by nebyl jednoznačný a vyhledání by nabízelo velké množství výsledků s takovým bodem na snímku, což by samozřejmě vedlo k neúspěchu. Proto se při metodě obrazové korelace nesoustředí veškerá pozornost pouze na daný pixel (bod) na snímku, ale předpokládá se, že každý bod lze mnohem jednoznačněji identifikovat, díky jeho specifickému blízkému okolí. Tímto postupem je možné dosáhnout nalezení totožného bodu i na jiných snímcích s mnohem větší pravděpodobností. Je zde použita myšlenka přímé úměry, ze které vyplývá, že zvětšením zájmového okolí bodu se automaticky zvyšuje i šance na nalezení správného bodu s tímto specifickým okolím. V návaznosti na to nastávají také ale vysoké nároky na výpočetní techniky.

Velký problém této metody nastává u jednolitéch povrchů, kde není možné identifikovat dostatečně unikátní okolí. Problémové povrchy představují například vodní plochy, zasněžené oblasti, hladké lesklé objekty a plochy bez textury a vzoru. Při tvorbě modelu předmětu menších rozměrů je možné na lesklé a hladké povrchy použít speciální sprej, zvolit vhodné nasvícení nebo promítnutí textury "pepř a sůl" na zájmový objekt, jehož 3D model má být vytvářen.

Jedná se tedy o proces automatického zpracování, při kterém dochází k vyhledávání vzájemné podobnosti bodu na jednom snímku s body na ostatních snímcích. V rámci obrazových dat dochází k výběru pixelu a jeho blízkého okolí na snímku, na základě okolí je vyhledáván stejný pixel i na jiných snímcích. Vzájemnou podobnost obrazů lze posoudit různými způsoby. Mezi nejvíce používané ukazatele, které definují míru podobnosti, patří koeficient výběrové korelace, označovaný jako korelační koeficient.

Tato metoda byla využita při zpracování snímků z dronu za účelem tvorby výstupů pro oblast exteriéru daného objektu.

### 4.3.3 Vlivy na kvalitu snímků

Při používání fotogrammetrie je důležité pořídit snímky v terénu s dostatečnou obrazovou kvalitou, která nám zaručí při zpracování odpovídající výsledky. Během pořizování snímků se nenacházíme obvykle v ideálním prostředí, kde bychom nebyli ovlivňováni okolními vlivy.

Obecně všechny faktory a rozměry počasí, **meteorologické podmínky** lze začlenit do skupiny, která svým způsobem má určitý podíl na kvalitě pořízených snímků. Typicky při sběru dat v exteriéru jsme vystaveni nejvíce povětrnostním podmínkám, nadměrné oblačnosti nebo naopak velké sluneční aktivitě, silnému větru, případně dešti. Kromě toho se na kvalitě obrazových dat podílí hodně **optických vad** působících na geometrii zobrazení objektivu. V této kapitole bude zmíněno pouze pár základních vlivů na kvalitu snímku.

Jedním z důležitých parametrů při digitálním pořízení obrazových dat je rozlišovací schopnost. Rozlišení snímku souvisí s velikostí pixelu obrazových dat, kdy se jedná o nejmenší detail, který je možné na snímku zachytit a jsme schopni ho viditelně rozeznat od ostatních prvků na pořízeném snímku. Rozlišení snímku lze měnit v závislosti na vzdálenosti snímkování od objektu. Čím jsme zájmového objektu blíže, tím lépe jsme schopni na snímku rozeznat více detailů a rozlišit jednotlivé prvky od sebe. Mezi prvky, které potřebujeme v rámci fotogrammetrie zcela bezpečně rozeznat, patří vřícovací body na snímaném objektu/území.

Na obrazovou kvalitu snímků má podíl i **smaz**, který vzniká pohybem nosiče v okamžiku pořízení snímku, což způsobuje ve výsledku rozmazání snímku. Zde se opět dostáváme k základnímu dělení fotogrammetrie na **pozemní a leteckou**, kdy je značný rozdíl v pozici nosiče. U pozemní fotogrammetrie lze této vadě obrazové kvality zamezit při pořizování snímků ze stativu, kdy se nosič nachází ve stabilní poloze, které by při snímkování z ruky nebylo možné zcela docílit. U letecké fotogrammetrie nastává ovšem problém, protože letadlo při svém snímkovém letu nad zájmovým územím není možné uvést do stabilní pozice pro pořízení záběru. Pohyb letadla je ovlivněn vztlakem na křídlech a tahem motoru, což způsobuje nepravidelný pohyb a snímky na sebe třeba nemusí ani správně navazovat.

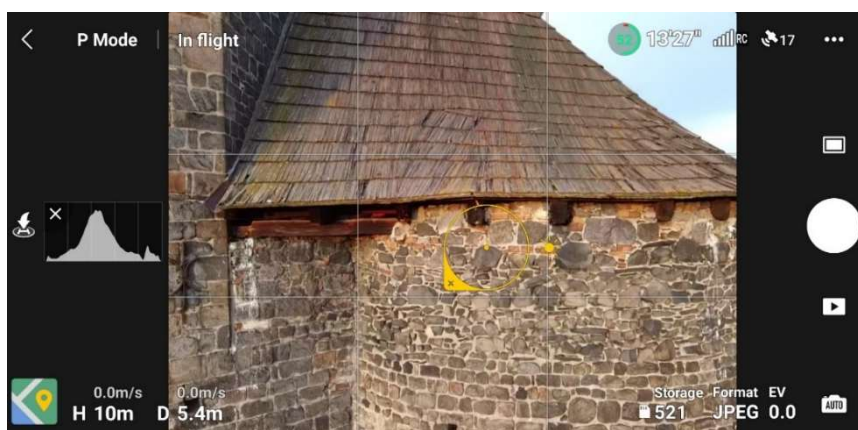
Při leteckém snímkování navigační počítač kontroluje informace o okamžité rychlosti a smosu letadla. Tyto informace jsou posílány kameře, která jimi kompenzuje smaz snímku. Umožňuje to provádět snímkování i ve vysokých rychlostech a malých výškách nad zemí. Smaz vzniká v důsledku pohybu letadla při otevřené uzávěrce. Letecké komory jsou vybaveny několika pomocnými zařízeními, mezi které patří výškoměr, regulátor překrytu a **jednotka IMU** (inertial measurement unit). Tato jednotka, která je umístěna v letadle, měří náklony ve všech třech osách a hodnoty o zrychlení letadla v průběhu celého snímkového letu. Současně je IMU doplněno i GNSS technologií, která používá metodu RTK zaručující geodetickou přesnost v určování polohy v řádu centimetrů.

Mezi jeden z častých vlivů na obrazovou kvalitu je také **distorze objektivu**. Jedná se o zkreslení objektivu způsobené opticko-mechanickými prvky z různých vad optických soustav. Dochází zde ke značnému geometrickému zkreslení obrazu a jeho deformaci zejména na okrajích snímku vlivem zbytkových vad objektivu. Při zavedení matematického modelu ve formě předpisu polynomu lze průběh distorze zmírnit. Oprava z distorze objektivu se aplikuje především na širokoúhlé objektivy, jinak dochází u měřených výsledků k zatížení zásadní chybou. Rozlišuje se **radiální a tangenciální distorze**. Radiální distorze má symetricky stejný průběh na všechny strany, je ovlivněna vybroušením ploch čoček a způsobuje velké chyby. Distorze tangenciální je na radiální kolmá a je dána špatným sestavením čoček a vzájemným odchýlením jejich středů od ideální přímky. Průběh distorze je definován matematickým modelem, tudíž se jedná o nějakou křivku, kterou lze popsat polynomem jako funkci.

Jedním z dalších důležitých parametrů snímkování je **hodnota ISO**, která představuje citlivost snímače, jenž ovlivňuje úroveň šumu a zrnitosti na snímku. Čím jsou v době pořízení snímku horší světelné podmínky (šero, zataženo, tma), tím vyšší je hodnota ISO. S jeho vyššími hodnotami se ovšem zvyšuje míra šumu. ISO se mění automaticky podle světelných podmínek, nebo je možné ho nastavit na zvolenou hodnotu, ale pak dochází k ovlivnění kvality snímků. Při dobrých světelných podmínkách se ideálně ISO pohybuje kolem hodnoty 100, ale se zhoršenou viditelností se hodnota zvyšuje. Se světelnými podmínkami také souvisí nastavení **clony a expoziční doba** pro pořízení záznamu. Správnou expozici snímku lze kontrolovat pomocí **histogramu**, který vyjadřuje kvalitu expozice spojenou se světelnými podmínkami při snímkování v terénu. Rozložení histogramu musí být ideálně symetrické na obě strany, aby svým tvarem připomínalo stín hory. Tím je zaručeno vhodné vyvážení světla a stínů, zachycení celého obrazu za příznivých světelných podmínek. V případě, že se na snímku nacházejí příliš světlé pixely na to, aby je mohl senzor fotoaparátu zaznamenat, nebo se zde nenachází střední tóny, bude rozložení histogramu snímku nesymetrické.

*V předchozím textu bylo čerpáno z [17], [18].*

Na následujícím obrázku č. 22 je zachycena ukázka pořizování snímku z dronu, kde je v levé části obrazovky znázorněn histogram aktuálního záběru v ideálním symetrickém rozložení. Jsou zde vhodné světelné podmínky s vyvážením světlých ploch a stínů.



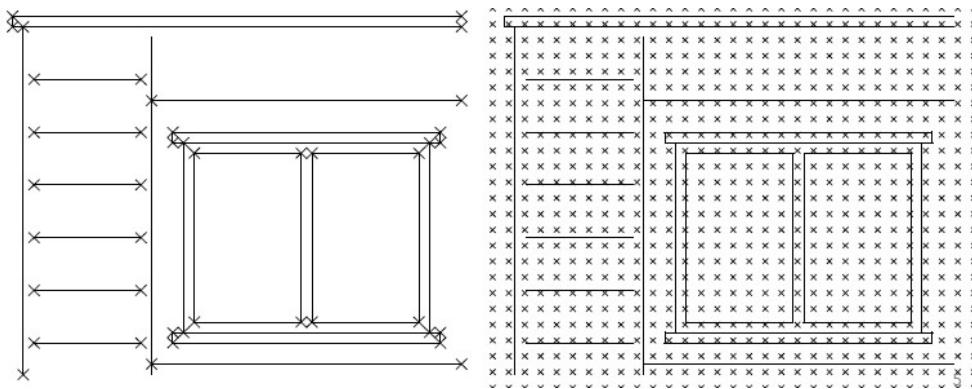
obr. č. 22: letecká fotogrammetrie z dronu, histogram snímku; vlastní zdroj

## 4.4 3D laserové skenování

Tato kapitola popisuje principy moderní metody laserového skenování a zmiňuje hlavní rozdíly od běžného geodetického měření totální stanicí. Dále je zde uvedeno několik zajímavých parametrů, které jsou u skenerů nejvíce důležité. Následuje krátká zmínka o tom, jaký vliv mají různé povrchy na skenování.

### 4.4.1 Teorie laserového skenování

Tato moderní metoda 3D skenovacích systémů se začíná objevovat koncem 90. let 20. století. Na počátku vývoje laserů byly mezi jednotlivými generacemi velké rozdíly, kdy docházelo k postupnému vývoji a zdokonalování. V současnosti jsou novější skenery funkčně obdobně vybaveny. Skenování se v geodézii řadí mezi metody s neselektivním sběrem prostorových dat, kde výstupem je mračno bodů, které je určeno následně pro další zpracování. **Neselektivní sběr dat** a určování prostorových souřadnic představuje způsob velmi rychlého měření, během kterého se získává velké množství bodů za velmi krátkou dobu, viz obr. č. 23. Oproti tomu **selektivní sběr dat** spočívá ve výběru podrobných bodů, které jsou následně zaměřeny. Mezi selektivní metody se řadí typicky metoda polární, kdy jsou totální stanicí v terénu měřeny podrobné body. Je u nich potřeba provést manuální výběr charakteristických bodů na objektu, které ho budou dostatečně vystihovat. Skener provádí sběr dat v daném prostoru automaticky podle předem nastavených parametrů skenování. Již zmíněný výstup skenování, který představuje mračno bodů, neobsahuje seznam souřadnic s uvedeným číslem bodu. Zaznamenává se pouze prostorová poloha bodů a doprovodné informace o měření, kterými jsou například údaje o intenzitě odraženého signálu.



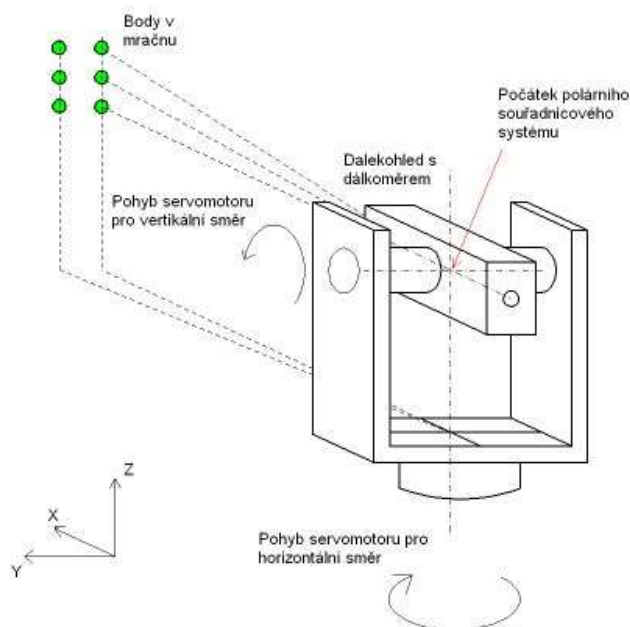
obr. č. 23: porovnání selektivního a neselektivního měření na fasádě domu; zdroj [19]

Mezi hlavní znaky skenovacích systémů se řadí kromě neselektivního určování 3D souřadnic bodů také možnost určení velkého bodů, kdy při rychlosti řádově přes 10 000 bodů za sekundu získáváme obrovské množství dat. Zpracování a manipulace s takto velkým objemem dat vyžaduje vysoké nároky na hardwarové a softwarové vybavení a je časově podstatně náročné.

V současné době, kdy dochází k rozvoji digitálních a výpočetních technologií, je kladen důraz na kvalitu zpracování prostorových a obrazových dat, se stává metoda laserového skenování velice populární nejen při tvorbě různých vizualizací a prezentací. Používá se především pro dokumentaci složitých a prostorově členitých útvarů a objektů, u kterých by jiné metody nebylo vhodné použít. Využití této metody má svůj význam i mimo obor geodézie a dokumentace památkových objektů například v geologii, počítačové grafice nebo designu.

Používaný technologický systém u laserových skenerů na přímé měření vzdálenosti obsahuje jednotku se samoodrazným zařízením, která je schopna na základě změřeného času, za který se vyslaný paprsek odrazí zpět do přístroje, určit vzdálenost k objektu. Další součástí je skenovací zařízení, které je doplněno o součástky odklánějící laserový paprsek vždy o požadovaný úsek v horizontálním a vertikálním směru. Měření vychází z principu prostorové polární metody, na základě dvou úhlů a vzdálenosti k bodu v prostoru.

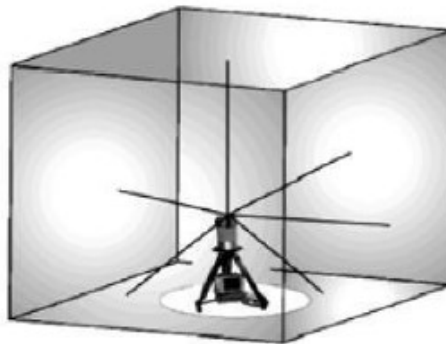
Na základě principu měření rozlišujeme **polární** a **triangulační** (se základnou) skenery. Běžně používanými skenery v geodézii jsou ty polární, u kterých je měření založeno na principu prostorové polární metody. Jedná se o dobu bezhranolového měření totální stanicí. Body se měří v pravidelné síti s určitými rozestupy od sebe.



obr. č. 24: princip měření polárního skeneru v pravidelné síti bodů; zdroj [19]

## 4.4.2 Technické parametry

U jednotlivých skenerů lze porovnávat jejich základní technické parametry. Skenery mají svá specifika, a ne každý se hodí pro všechny typ práce. Jedním z důležitých parametrů je samotný **dosah** skeneru, který udává maximální vzdálenost, v níž je skener ještě schopný sbírat data. Důležitým faktorem při dosahu je odrazivost skenovaných povrchů různých objektů. Obecně impulsní dálkoměry, které se používají u skenovacích systémů, jsou limitovány pouze velikostí odraženého dálkoměrného signálu. S dosahem souvisí i rozsah **zorného pole** skeneru. Rozlišuje se **kamerový a panoramatický systém**. Systém kamerový v podstatě vidí pouze situaci před sebou, představuje obdobu zorného pole fotoaparátu. Naopak ale skenovací systém panoramatický, který se používá u polárních skenerů, zachytí celé své okolí i prostor nad sebou. Skener nevidí přímo pod sebe, proto není schopen toto místo zaznamenat.



obr. č. 25: skenovací systém panoramatický; zdroj [19]

**Přesnost** lze u skenerů charakterizovat vyjádřením úhlové a délkové přesnosti měření. Jedná se o bezhranový dálkoměr, u kterého záleží na tom, jaký objekt se právě měří a na jakou vzdálenost. Dálkoměr na různé materiály a barvy měří různě, kdy se může jednat o systematickou chybu třeba i v řádu pár milimetrů. Se vzdáleností objektu od skeneru se pochopitelně také zvětšuje paprsek dálkoměrné stopy, která sbírá data. V této souvislosti s rozptylem dálkoměru se udává parametr **velikosti šumu** “noise“, který charakterizuje náhodnou složku chyby dálkoměru.

**Rychlost skenování** představuje proměnlivý parametr, který je ovlivňován především nastavenou hustotou skenování a dalších volitelných parametrech měření. Rychlost skenování se udává počtem naměřených bodů za sekundu. S nastavením parametrů skenování souvisí rozlišovací schopnost, která závisí na zvoleném minimálním úhlovém kroku měření mezi jednotlivými podrobnými body na objektu. Dále pak na velikosti stopy laserového paprsku a na přesnosti měření veličin. Velikost úhlového kroku měření udává hustotu skenování a jedná se o příčný rozstup bodů na určitou vzdálenost.

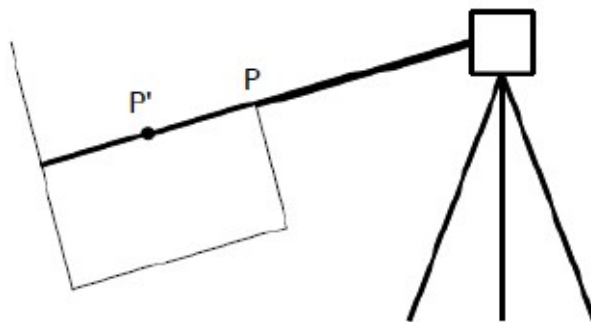
### 4.4.3 Vliv povrchu na skenování

Pro skenovací systémy je důležité, aby vyslaný svazek paprsků se od okolních objektů dobře odrazil zpět do přístroje. Tato ideální vlastnost ovšem neplatí ve všech případech, a ne všechny povrchy různých materiálů mají vhodnou **odrazivost** a geometrické vlastnosti.

V rámci měření délek při skenování je podstatná navracená část odraženého záření od objektu, která dopadá na přijímací senzor dálkoměru. Ideálním povrchem s vysokou a rovnoměrnou odrazivostí je **světlý difuzní povrch**. Typickým příkladem je bílý papír, sádra nebo křída. Mezi největší problémové povrchy naopak patří hladké, lesklé plochy a vodní hladina. Skrz vodní hladinu nejde běžně nic naskenovat. V případě povrchu, který je tmavý a lesklý, například mokrá asfalt, se jedná o nevhodný typ povrchu s téměř nulovou odrazivostí, který negativně působí na skenování.

Další překážku skenování představuje vliv **geometrie skenovaného objektu**. Při zaměřování běžných stavebních objektů dochází v místech ostrých rohů k jistému problému. Nastává situace, že při skenování koutů domu laserový paprsek vytváří **vícenásobný odraz** a ve výsledku místo ostrého rohu vzniká v mračnu bodů zaoblení. U takových částí objektu, kdy se měří trochu více z úhlu může dojít k situaci, kdy části signálu ze skeneru dopadají na odlišné plochy. Tímto **dvojitým odrazem** vzniká průměrná vzdálenost a s tím spojená chyba v jejím správném určení. Přestřelený paprsek dopadne na plochu, která se nachází v přibližném zákrytu za tou bližší.

Situaci znázorňuje obrázek č. 26, kde při zaměřování původního zájmového bodu P dojde ke špatnému dopadu části paprsků právě za tento bod na jinou plochu. Tím je bod P následně chybně umístěn do průměrné vzdálenosti z obou odrazů a označený jako bod P'.



obr. č. 26: dvojitý odraz při skenování objektu; zdroj [19]

V předchozím textu bylo čerpáno z [18], [19].

## 5 Použité měřické přístroje a vybavení

V rámci následující kapitoly je uveden výčet použitých měřických přístrojů. U každého přístroje jsou doplněny jeho technické parametry a specifikace.

### 5.1 GNSS přijímač Topcon GR-3

Topcon GR-3 se řadí mezi pokrokovou generaci GNSS přijímačů, která umožňuje přes anténu přijímat družicový signál všech satelitních systémů G3, do které spadají družicové systémy GPS, GLONASS a GALILEO. Možnost podpory přijímání signálu ze všech těchto systémů zajišťuje zavedení celkem 72 univerzálních kanálů. GNSS přijímač lze použít pro měření statickou metodou nebo častěji používanou metodou RTK. V rámci metody RTK uživatel může využívat služeb sítě permanentních stanic TopNET, CZEPOS a dalších po celé České republice. Díky robustní konstrukci a odolnému pouzdru, které je navíc chráněno ještě vrstvou gumy, je přijímač vysoce odolný proti poškození při pádu až ze 2 metrů na betonový povrch. Přijímač využívá bezdrátovou komunikaci s kontrolerem FC-200 přes Bluetooth.

*tabulka č. 2: přesnost měření GNSS přijímačem, parametry od výrobce; zdroj [20]*

metoda	horizontální přesnost	vertikální přesnost
statika	3 mm + 0,5 PPM	5 mm + 0,5 PPM
RTK	10 mm + 1 PPM	15 mm + 1 PPM



*obr. č. 27: GNSS přijímač Topcon GR-3; vlastní zdroj*



## 5.2 Nivelační přístroj Topcon AT-G3

Nivelační přístroje Topcon řady AT-G jsou voděodolné optické přístroje, které jsou vybaveny automatickým kompenzátorem pro urovnávání záměrné přímky do správné polohy. Systém kompenzátorů Topcon používá pro zavěšení kompenzátoru čtyři speciální pásky, díky kterým není kompenzátor ovlivňován magnetickým polem a má vyšší odolnost vůči otřesům a výkyvům počasí. Přesnost nastavení kompenzátoru se pohybuje  $\pm 0,3''$ . Dalekohled je dokonale vodotěsný a dokáže zaostřit na minimální vzdálenost 0,5 m. Nivelační přístroje jsou vhodné pro stavebnictví a geodézii. Střední kilometrová chyba obousměrné nivelace u tohoto přístroje má hodnotu  $\pm 1,5$  mm bez použití optického mikrometru. Svojí přesností v měření převyšuje splňuje parametry nivelačního přístroje použitelného pro technickou i přesnou nivelaci.



obr. č. 28: nivelační přístroj Topcon AT-G3, technická nivelace; vlastní zdroj

### 5.3 Totální stanice Topcon GPT-9003A

Jedná se o robotickou totální stanici řady GPT-9000 s pulsní bezhranolovou technologií měření délek. Unikátní technologie firmy Topcon umožňuje přístrojům provádět měření délek v bezhranolovém módu až do celkové vzdálenosti 2000 metrů. Přístrojový laser se řadí do první bezpečnosti třídy laseru (Class 1). Měření s použitím laseru je zcela bezpečné a lze jej používat bez omezení i v místech se zvýšeným provozem. Pro bezhranolové měření se jedná o velice úzký paprsek s parametry laserové stopy 2x4 cm na 100 m. Pro měření v hranolovém módu se používá široký paprsek. Přístroj je vybaven dvouosým kompenzátorem. Celková hmotnost přístroje a baterií včetně transportního pouzdra přesahuje 11 kg.

Přístroje mají vestavěný velký dotykový displej pro snadné ovládání. Uživatelské rozhraní zajišťuje aplikační program TopSURV. Přístroj je vybaven novější servo technologií, díky které je možná rychlost rotace až 85° za sekundu. Pro robotickou totální stanici je zabudován integrovaný radiový systém, kterým komunikuje s kontrolerem a slouží pro vyhledávání odrazného hranolu X-TRACK technologií. Použitá vyhledávací X-TRACK technologie umožňuje sledování odrazného hranolu až do vzdálenosti 1000 m. Kontroler FC-200 je pro snadné ovládání vybaven dotykovým displejem a integrovanou Bluetooth technologií pro vzájemné spojení s totální stanicí a hranolem.



obr. č. 29: robotická totální stanice Topcon GPT-9003A; vlastní zdroj



obr. č. 30: totální stanice na stanovisku při měření VB; vlastní zdroj

U měření délek v bezhranolovém módu je výrobcem uváděná přesnost  $\pm 5 \text{ mm} / \pm 10 \text{ mm} + 10 \text{ PPM}$  pro použití krátkého nebo dlouhého módu. Při měření délek na odrazný hranol dosahuje přístroj přesnosti  $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ PPM}$ . Měření na hranol je možné, při předpokladu vhodných podmínek, provádět až do vzdálenosti 3000 m. V rámci úhlového měření se uvádí přesnost totální stanice 3" (1,0 mgon). U přístrojů této řady odpovídá číslo v jejich typovém označení úhlové přesnosti dané totální stanicí.

## 5.4 Dron DJI Mavic Mini

Dron DJI Mavic Mini už podle svého názvu představuje zástupce malých skládacích dronů, které se vejdou do dlaně ruky nebo do kapsy. Se svojí vahou 249 g dokáže pořizovat celkem dost kvalitní fotografie ve formátu JPEG s rozlišením 12 Mpix a videa o rozlišení 2,7K. Formát obrazu je dostupný ve variantě 4:3 nebo 16:9. Právě jeho malá váha představuje v řadě mnohých států velkou výhodu, protože dron se řadí se svojí váhou pod 250 g do kategorie malých dronů a nepodléhá tak přísnějším legislativním omezením. Na jedno nabití je schopný plného provozu až 30 minut letu. Ovládání dronu je zde vyřešeno přes aplikaci DJI Fly, kterou si uživatel na webových stránkách společnosti DJI stáhne do svého mobilního zařízení. Mobil se následně kabelem propojí s ovladačem dálkového ovládání, kde se nachází páčky pro samotné řízení dronu během letu. Na displeji mobilu se zobrazuje aktuální obraz, který snímá kamera dronu. Poměrně kvalitní záběry z dronu zajišťuje trojosý gimbal (stabilizátor), jehož funkcí je při letu udržovat stále horizontální směr nezávisle na pohybech a naklání dronu. Součástí jsou také pokročilé senzory se zabudovanou GPS jednotkou pro zajištění stabilní pozice při vznášení na místě. Zavěšenou kameru je možné natáčet ve vertikálním směru. Součástí dronu je IMU jednotka, která zaznamenává hodnoty o náklonech a zrychlení dronu ve všech směrech. Její správné fungování je podstatné pro držení letové výšky a bezchybné chování dronu při letu. Maximální rychlost letu se pohybuje těsně pod 50 km/h. Tento dron je vhodný i pro začínající piloty, jelikož jeho ovládání je velice snadné a intuitivní.



*obr. č. 31: dron DJI Mavic Mini; vlastní zdroj*

## 5.5 Laserový skener Leica BLK360

Laserový skener Leica BLK360 představuje nejmenší a nejlehčí skener svého druhu na světě. Jeho rozměry jsou 16x10 cm a hmotnost 1 kg. Tento pozemní 3D skener s integrovaným sférickým obrazovým systémem a termografickým panoramatickým snímačem zajišťuje vysokorychlostní, pulzní skenování. Dosah skenování je vymezen od vzdálenosti 0,6 m až do 60 m. Při práci se samotným skenerem ho lze ovládat pouze jedním tlačítkem, proto se používá vzdálené ovládání přes zařízení Apple iPad Pro se systémem iOS. Vzájemná komunikace probíhá přes integrovanou bezdrátovou síť LAN. Ve spodní části skener obsahuje po celém svém obvodu světelný proužek, který barevně signalizuje měřiči aktuální stav skeneru. Pro skenování využívá zorné pole 360° (horizontální) a 300° (vertikální). Dle údajů výrobce měří délky s přesností 4 mm / 10 m nebo 7 mm / 20 m. 3D přesnost bodů, která předpokládá 78% odrazivost, je pohybuje na hodnotách 6 mm / 10 m nebo 8 mm / 20 m. Doba jednoho skenování v rámci plného zorného pole by měla trvat pod 3 minuty. Udávaná rychlost skenování dosahuje až 360 tisíc bodů za sekundu. Svými parametry je navržen pro vnitřní i venkovní použití.

*V této kapitole bylo čerpáno z [20]-[23].*



obr. č. 32, 33: skener Leica BLK360; vlastní zdroj

## 6 Použitý software

V této kapitole je popsán zpracovatelský software, který byl v rámci diplomové práce použit pro tvorbu výstupů. Jedná se o programy pro zpracování geodetických měření, 3D modelu z fotogrammetrie, mračen bodů ze skenování a dalších.

**EasyNET** je softwarové řešení pro komplexní zpracování geodetických měření. Naměřená data jsou vyrovnána jako prostorová geodetická síť. Pro zpracování dat je vyžadováno měření ve dvou polohách dalekohledu uspořádané do měřických skupin. Následně program automaticky dokáže oddělit a barevně rozlišit jednotlivé měřické skupiny v naměřených datech a dále s nimi pracovat. Předností programu je jeho schopnost automaticky detekovat a vyloučit odlehlá měření, kdy využívá metodu na principu robustního vyrovnání geodetického měření. Kromě výpočetních funkcí a mnohých tabulkových výstupů je program doplněn i grafickým oknem, kde je celá měřická síť znázorněna s možným vykreslením elips chyb na bodech sítě. Program byl vyvinut pro vědecké a studijní účely na Katedře speciální geodézie na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

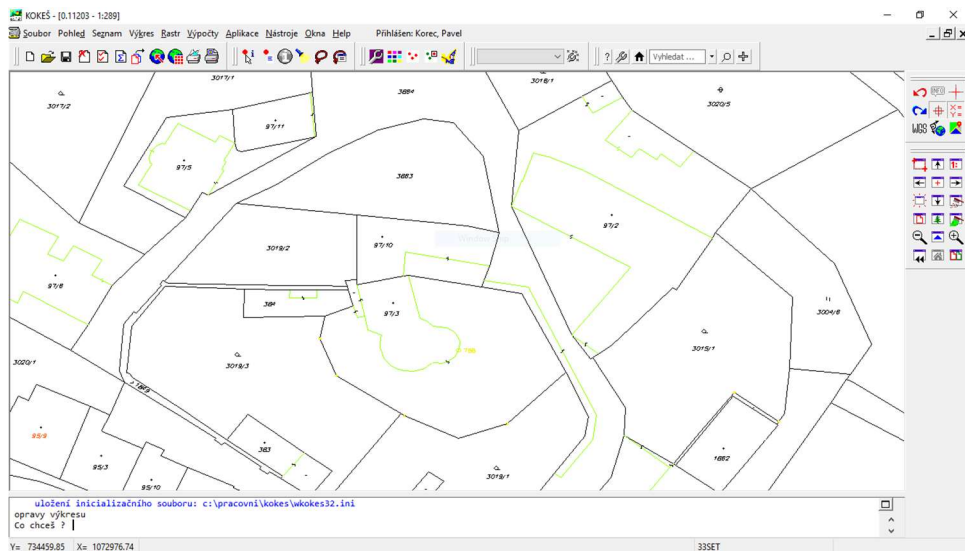
Program EasyNET byl v této práci využit pro vyrovnání prostorové geodetické sítě v exteriéru.

EasyNET							
Hlavní Měření Výběr Identifikace Kontrola Doplněk Vyrovnání O programu							
Stanovisko			Cíl		Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo	Výška [m]	Číslo	Výška [m]	Vodorovný směr [gon]	Zenitový úhel [gon]	Šikmá délka [m]
1	1	1.7437	4	1.6177	56.35530	96.59230	78.4621
			3	1.5991	100.75190	101.85770	87.3692
			3	1.5991	300.77170	298.14280	87.3757
			4	1.6177	256.35460	303.40780	78.4583
			5	1.5213	0.00110	96.93930	48.9106
			4	1.6177	56.35470	-96.59220	78.4614
			3	1.5991	100.75170	101.85790	87.3710
			3	1.5991	300.75300	298.14170	87.3775
			4	1.6178	256.35420	303.40740	78.4577
			5	1.5213	200.00060	303.06040	49.0000
2	2	1.7210	1	1.6437	399.99850	98.76450	59.0164
			5	1.5213	31.15520	97.52080	92.3639
			5	-1.0000	231.15560	302.47940	0
			1	1.6437	199.99990	301.23600	59.0162
0 / 14		0	0	7	4	5	4

obr. č. 34: prostředí programu EasyNET; vlastní zdroj

**Kokeš** je software od firmy GEPRO spol. s r.o., který slouží pro geodetické výpočty, práce se seznamem souřadnic a řešení konstrukčních úloh. Dále se používá pro vytváření a grafickou editaci čárové kresby a vektorizace rastrových dat. Kromě jiného v něm lze vytvářet například mapy velkých měřítek. Program obsahuje velkou spoustu funkcí pro výpočetní práci se seznamem souřadnic a možnosti tvorby výkresu.

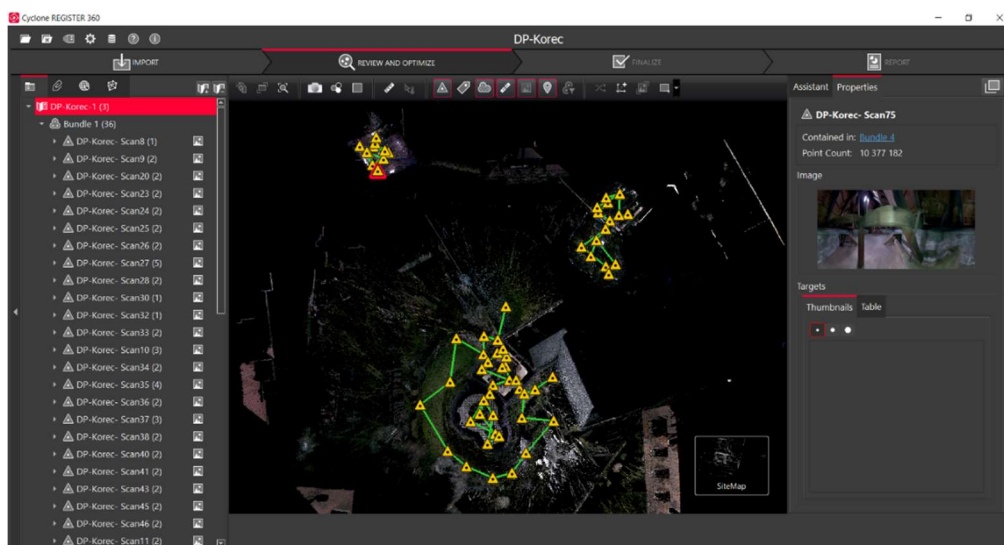
V této práci byl software použit pro zpracování zápisníku měření a pro následný výpočet souřadnic podrobných bodů a stanovišek v interiéru přes funkci zpracování měřených dat.



obr. č. 35: prostředí programu Kokeš; vlastní zdroj

**Leica Cyclone REGISTER 360** je softwarové prostředí firmy Leica, které se využívá pro zpracování mračen bodů. Jedná se o softwarový modul, který nabízí široké možnosti zpracování dat ze 3D laserového skenování v různém odvětví průmyslu, stavebnictví, geodézie a dalších oborech. Základem softwaru je databázová struktura, která zajišťuje rychlou práci s velkými objemy dat. V rámci importu mračen a jejich následné registrace je možné využít naskenovaných terčů, překrytů mračen a vymodelovaných objektů. Celý proces zpracování mračen probíhá v jednotlivých krocích pracovního postupu, které jsou přehledně znázorněny v horní liště softwaru. O registraci jsou k dispozici podrobné statistické informace. Po ukončení procesu optimalizace dat lze provést export protokolu o registraci a exportování registrovaných mračen bodů v nabízených typech formátů. Všechna data lze exportovat v rámci jednoho souboru, nebo provést separovaný export podle jednotlivých skenů z terénu.

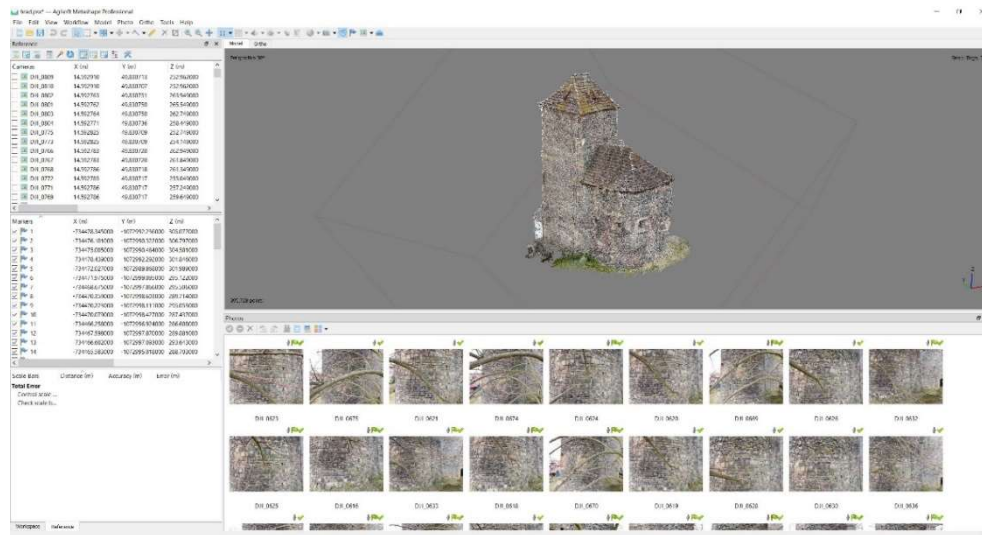
Program byl použit pro registraci mračen bodů, kdy byla použita automatická i manuální registrace. Následně byl proveden export separovaných mračen do formátu e57.



obr. č. 36: prostředí programu Leica Cyclone REGISTER 360; vlastní zdroj

**Agisoft Metashape Professional** je softwarové řešení pro fotogrammetrické zpracování digitálních snímků do podoby různých 2D i 3D výstupů. Mezi nejčastější výstupy patří například prostorové modely, mračna bodů a ortofota. Výstupní prostorová data lze použít i pro práce v GIS aplikacích, pro dokumentaci stavebních objektů nebo pro tvorby různých barevných vizualizací zpracovaných dat.

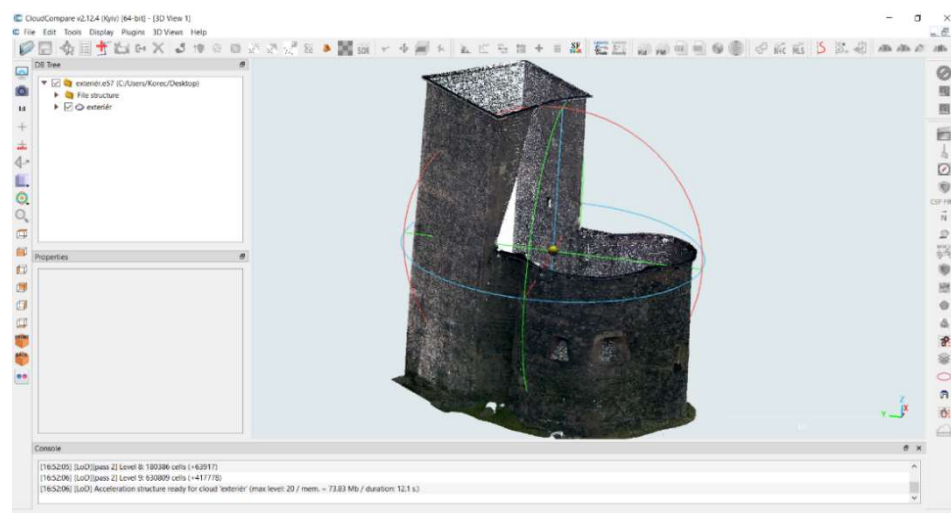
V Metashapu bylo provedeno zpracování fotogrammetrické části práce. Vytvoření mračna bodů exteriéru objektu a následný 3D model a jednotlivé ortofota hradní věže a rotundy.



obr. č. 37: prostředí programu Agisoft Metashape; vlastní zdroj

**CloudCompare** je volně dostupný program určený pro práci s mračny bodů. Mezi jeho funkce patří například porovnání mračen bodů, převzorkování, statistické výpočty a segmentace. Je vhodný pro tvorbu řezů mračnem, vytváření různých analýz a barevných vizualizací mezi mračny bodů pomocí stupnice barevné hypsometrie. Program je schopen pracovat s velkým množstvím různých formátů dat.

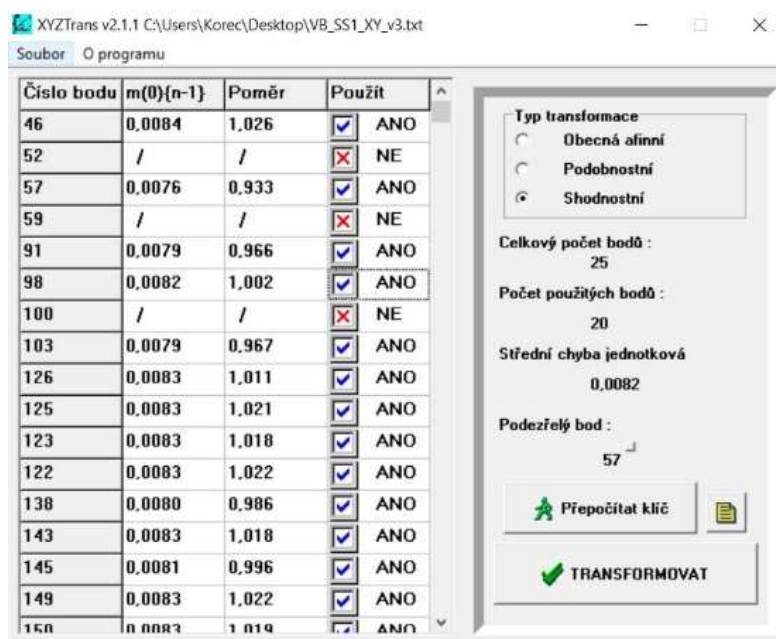
Program byl využit pro segmentace, editace a vizualizace mračen bodů z laserového skenování. Vzájemné porovnání mračen exteriéru objektu z fotogrammetrie a laserového skenování. Byla zde také provedena transformace naskenovaných mračen do S-JTSK a Bpv. Poté byla na několika identických bodech ověřena přesnost provedené transformace.



obr. č. 38: prostředí programu CloudCompare; vlastní zdroj

**XYZTrans** je program pro transformaci prostorových kartézských souřadnic. Lze v něm provést výpočet transformačního klíče pro nejpoužívanější typy transformací (obecná afinní, podobnostní a shodnostní). Na vstupu do programu je textový soubor, který obsahuje souřadnice identických bodů v obou souřadnicových soustavách a souřadnice podrobných bodů. Díky možnosti postupného vylučování identických bodů z výpočtu transformačního klíče, je možné docílit lepších hodnot směrodatné odchylky jednotkové. Výstupem z programu je přehledný protokol, který obsahuje složky transformačního klíče, informace o použitých identických bodech a směrodatné odchylce jednotkové. Program byl vyvinut pro vědecké a studijní účely na Katedře speciální geodézie na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Ve svojí práci jsem program využil pro výpočet transformačního klíče, který byl použit pro transformování naskenovaných mračen do S-JTSK a Bpv.



obr. č. 39: prostředí programu XYZTrans; vlastní zdroj

**MicroStation** je jedním ze skupiny CAD softwarů, který je obecně ve stavebním průmyslu, při plánování a projektování staveb velmi rozšířený a hojně využívaný. Používá se například při tvorbě projektových výstupů v podobě stavebních výkresů, vizualizací, 3D modelů, informační modelování staveb BIM a dalších.

Program byl využit pro zpracování výkresů jednotlivých ortofot objektu, která z něj byla následně vytisknuta do formátu PDF.

*V této kapitole bylo čerpáno z [24]-[30].*



## 7 Měřické práce

V následujících podkapitolách jsou popsány zvolené měřické postupy s odůvodněním jejich volby a následnou realizací v terénu. U měřických metod jsou doplněny praktické informace i zajímavosti z měření.

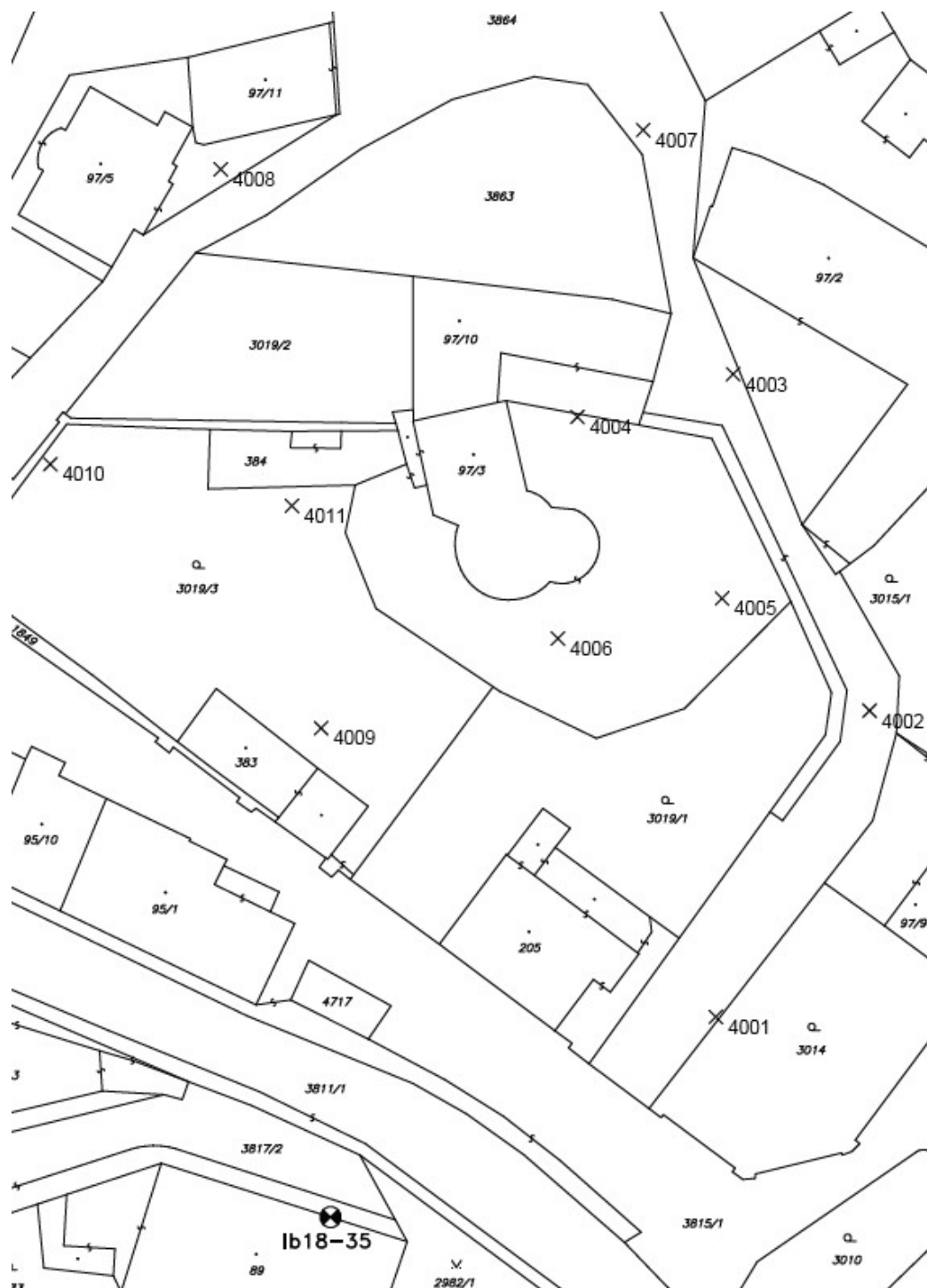
### 7.1 Rekognoskace terénu

Před zahájením samotných měřických prací proběhlo společné setkání na hradě za účelem konzultování předpokládaných výstupů. Prvního setkání dne 8. 12. 2022 za přítomnosti vedoucího práce, docentky Hauserové a Ing. Veselého jsem se bohužel z organizačních důvodů nemohl zúčastnit. Výsledky a poznatky ze schůzky mi následně sdělil vedoucí práce. Z nich vyplynulo, že by vytvářený soubor představoval kombinaci 2D a 3D výstupů. U 2D výstupů by se jednalo o ortofota všech stran hranolové věže a několik dílčích řezů vedených objektem, které by byly následně ještě upřesněny. Výstupem 3D dokumentace by byl kompletní prostorový model rotundy a věže, který by byl vytvořen fotogrammetricky. V interiéru provést skenování, jehož výstupem budou propojená mračna bodů.

V rámci dalšího společného setkání na hradě, které proběhlo 23. 01. 2023 s vedoucím práce, jsem se již účastnil. Závěr minulé schůzky s odborníky na historické objekty jsme si vysvětlili prakticky přímo na místě. Byla provedena rekognoskace terénu, kdy kromě exteriéru byl prozkoumán i interiér objektu. Mezi nejzajímavější části hradu patří prostor nad hradní kaplí, který je pro běžnou veřejnost uzamčen.

### 7.2 Tvorba bodového pole

V okolí hradu byla vybudována geodetická síť. Jednotlivá stanoviska byla volena kolem celého objektu, aby byla zajištěna ideálně co největší vzájemná viditelnost. Celkem bylo v exteriéru zvoleno 11 stanovisek č. 4001-4011. Body sítě byly stabilizovány ocelovými měřickými hřeby a zvýrazněny modrou signální barvou. Následně byla celá síť zaměřena GNSS technologií metodou RTK se zvolenou délkou observace 30 sekund. Pro RTK metodu byla využita síť permanentních stanic TopNET. Z důvodu eliminace možného ovlivnění měření ze strany měřiče byl přijímač s výtyčkou umístěn do stojánku. Zhruba po 90 minutách byly všechny body sítě zaměřeny podruhé. Časová prodleva mezi dvojitým měření byla zvolena z důvodu druhého nezávislého měření při jiné konfiguraci satelitů v daném okamžiku. Z následného zpracování měření GNSS byly výsledné prostorové souřadnice stanovisek geodetické sítě získány aritmetickým průměrem z obou měření. Z dosažených výsledků je patrné, že řádově centimetrová přesnost GNSS v poloze kolem 2-3 cm a ve výšce do 5 cm byla dodržena. S takovou přesností ovšem nebylo možné dále pracovat až do podoby výstupů, a proto byla provedena ještě další měření pro ověření a zpřesnění výsledných hodnot.



obr. č. 40: schema měřické sítě v exteriéru, podklad katastrální mapa; vlastní zdroj

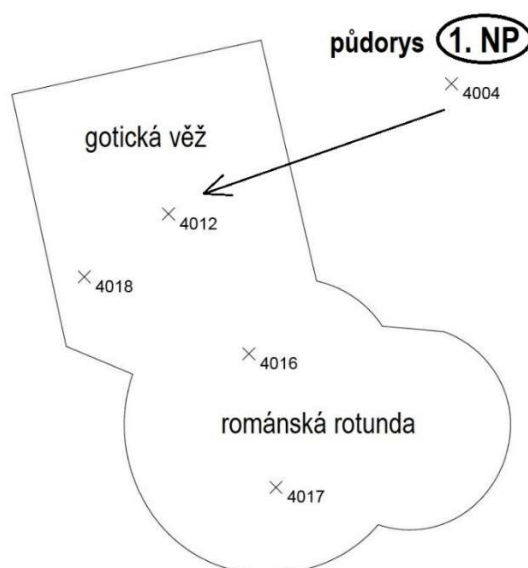
Následně byla volena stanoviska v interiéru objektu. V prvním až třetí podlaží objektu byla stanoviska určena rajónem ze stanoviska v exteriéru, z nichž pokračovalo další měření a tvorba sítě v rámci v podlaží objektu. Připojovací měření v těchto patrech bylo možné provést díky dobré viditelnosti stavebními otvory. V tomto případě proto ještě nebylo nutné realizovat propojovací měření přes schodiště, kde by to ani z důvodu velmi malého prostoru se špatným přístupem nebylo možné. Ze třetího do pátého podlaží byl následně veden volný polygonový pořad, u kterého již nebylo možné provést žádná kontrolní a připojovací měření na body geodetické sítě v exteriéru. Měření bylo nutné již vzájemně propojit přes dřevěná schodiště vnitřkem věže. V rámci interiéru bylo zvoleno celkem 17 stanovisek č. 4012-4028. Stanoviska byla signalizována bílou křídou nebo nalepeným reflexním terčíkem.

Orientování sítě na nedaleký kostel sv. Šimona a Judy, vedený jako zhušťovací bod o známých souřadnicích, nebylo realizované z žádného bodu sítě. Cílení na takovou blízkost znamenalo při zvětšení dalekohledu totální stanice velmi nepřesné zacílení. Jelikož se v blízkém okolí nenacházejí žádné použitelné body, které by měly známé souřadnice v rámci geoportálu ČÚZK, byly primárně používány souřadnice bodů získané na základě vlastního měření.



obr. č. 41: tvorba bodového pole v interiéru; vlastní zdroj

Na následujícím obrázku č. 42 jsou v půdorysu zobrazena zvolená stanoviska v 1. NP hradu. Doplněno je i naznačení propojovacího měření ze stanoviska č. 4004 vchodovými dveřmi do objektu. V přílohách se nachází podobný půdorysný zákres se stanovisky pro všechna podlaží hradu.

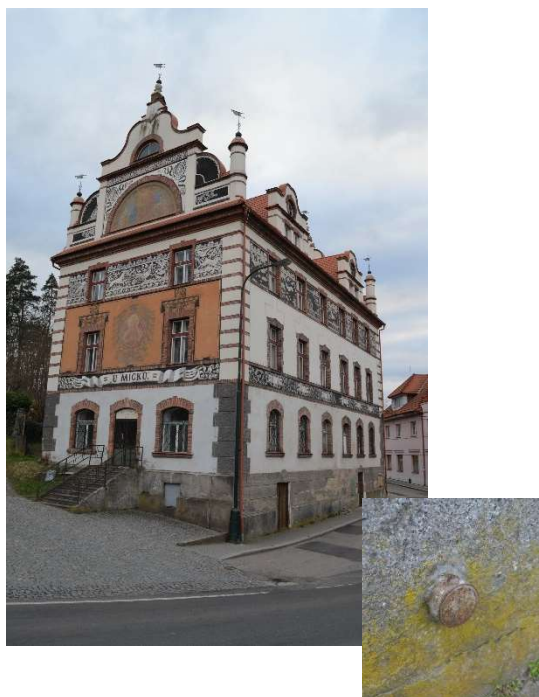


obr. č. 42: schema měřické sítě v 1. NP hradu; vlastní zdroj

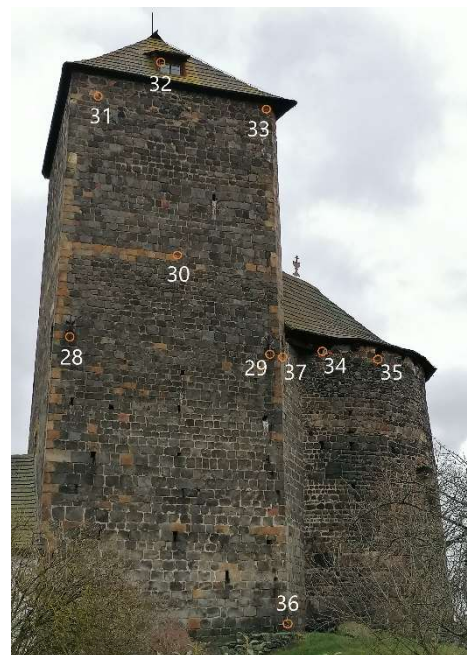
## 7.3 Zaměřování vlíčovacích bodů

Následně bylo realizováno podrobné měření vlíčovacích bodů na objektu. Pro potřeby fotogrammetrie a laserového skenování bylo nutné na objektu zaměřit několik podrobných bodů, které budou sloužit pro vytvoření 3D modelu, jeho umístění v geodetickém systému a transformaci mračen. Ze stanovisek bylo měřeno totální stanicí polární metodou. Na orientační body sítě v okolí bylo měřeno v obou polohách dalekohledu, aby se docílilo lepší přesnosti v rámci sítě a současně z důvodu eliminaci měřických a přístrojových chyb. Měřeno bylo na odrazný hranol na výtyčce umístěné ve stojánku. Samotné měření vlíčovacích bodů již probíhalo pouze v první poloze dalekohledu. Vlícovací body byly voleny takovým způsobem, aby bylo při následném zpracování snadné jejich identifikování na snímcích i mračnecích bodů. Jednalo se například o různé zdobné prvky, trámy, charakteristické prvky zdiva v podobě špičatých kamenů a cihel. U vybraných vlíčovacích bodů bylo provedeno dvojí zaměření z různých stanovisek za účelem kontroly. Byla to zároveň kontrola schopnosti přesného cílení v rámci identifikace bodu a zároveň ukazatel vlivu měřických a přístrojových chyb. Na konci práce jsou výsledky z dvojího zaměření bodů uvedeny.

V rámci měření bylo ze stanoviska č. 4001 provedeno i výškové připojení na nedaleký nivelační bod č. Ib18-35, který je umístěný přes silnici na historickém domě U Micků, viz předchozí obr. č. 40. Měřeno bylo trigonometrickým způsobem na odrazný hranol. Nivelační bod je stabilizován běžnou nivelační značkou z boku objektu přibližně 40 cm nad zemí. Výškové připojení bylo realizováno za účelem zpřesnění výškové složky souřadnic bodů geodetické sítě a následných podrobných bodů.



obr. č. 43, 44: dům U Micků, detail nivelačního bodu Ib18-35; vlastní zdroj



obr. č. 45: ukázka volby VB; vlastní zdroj

## 7.4 Ověření výškového připojení

Zatím jediné nadmořské výšky stanovišek v systému Bpv byly určeny GNSS technologií, což pro potřeby měřické dokumentace bylo vyhodnoceno jako nedostatečné. Při volbě měřítka 1:50 u 2D výstupů bylo nutné zajistit přesnost měření, zejména u výšek, přibližně do 1,5 cm. Proto bylo při měření totální stanicí provedeno připojovací měření na nivelační bod č. Ib18-35. V návaznosti na to bylo přikročeno k ověření jeho výšky uváděné na stránkách webového geoportálu ČÚZK.



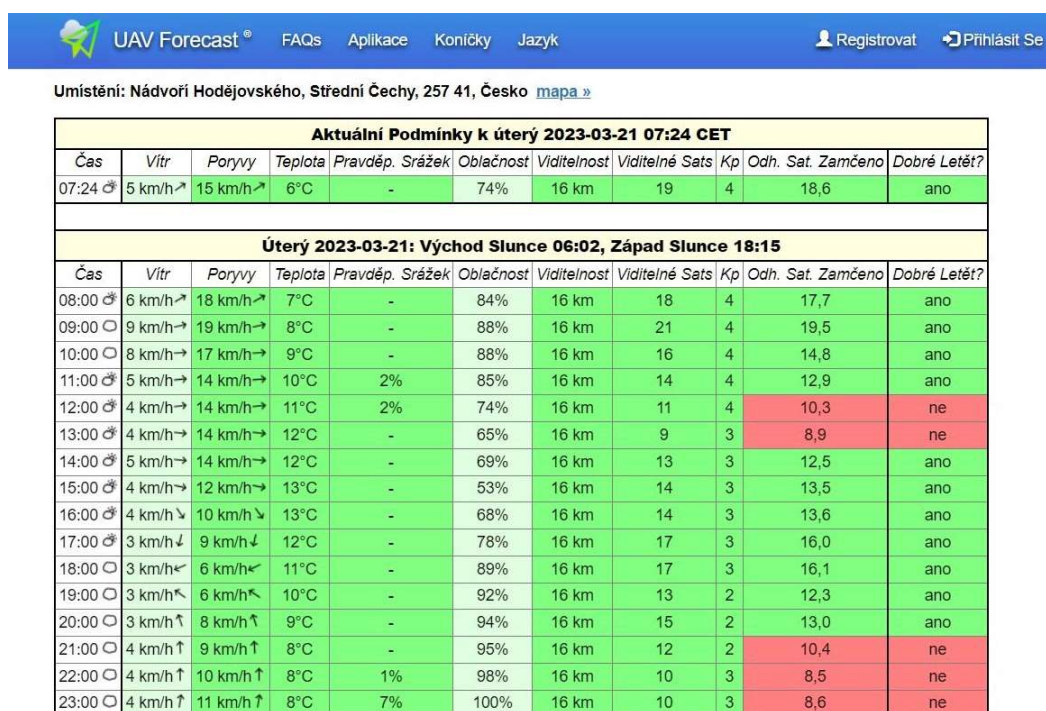
obr. č. 46: výřez základní mapy ČR + výškové bodové pole; zdroj [4]

Pro způsob ověření výšky nivelačního bodu byla zvolena metoda technické nivelace. Pro tuto metodu byl použit nivelační přístroj Topcon AT-G3 s udávanou přesností 1,5 mm, což pro naše účely ověření výšky technickou nivelací bylo zcela dostačující. Součástí měřického vybavení při nivelaci byla teleskopická nivelační lať a nivelační podložka ("žába"). Na stránkách geoportálu byly zjištěny nejbližší nivelační body v okolí, z nichž by mohlo probíhat ověření. Body č. Ib18-34 a č. Ib3-16 představují běžné nivelační body stabilizované čepovou značkou z boku objektu. Bod č. Ib18-34 je umístěn na budově staré školy. Pro účely zmíněného ověření výšky byl veden nivelační oddíl z bodu č. Ib18-34 směrem na bod č. Ib18-35. Výsledek na ověřovaném bodě vyšel s nulovou odchylkou a výška 278,882 m n.m. Bpv byla ověřena. Jako kontrolní měření byl ještě realizován nivelační oddíl ve stejném směru z bodu č. Ib18-35 na bod č. Ib3-16, který vyšel s chybou 5 mm na koncovém bodě. Na základě provedeného měření byl koncový nivelační bod podezřelý z nestability. Nivelováno bylo při velké oblačnosti a za dodržení zásad technické nivelace s postavením stroje uprostřed sestavy. Jelikož měření bylo realizováno v prudkém kopci, lze předpokládat také nahromadění měřických chyb. I přesto mohu konstatovat, že bod č. Ib18-35, i při uvážení možných měřických chyb v řádu pár milimetrů, byl ověřen a nebyla u něj prokázána zásadní změna ve výšce oproti platným nivelačním údajům.

## 7.5 Letecká fotogrammetrie – technologie RPAS

Dle původního plánu měla být spodní část objektu nasnímána digitální zrcadlovkou Nikon v rámci pozemní fotogrammetrie a horní část nalétána dronem. S ohledem na předchozí zkušenosti v rámci projektu z fotogrammetrie na fakultě jsem se rozhodl, trochu změnit plány. Chtěl jsem zamezit tomu, aby se na výstupech v místě styku snímků z pozemní a letecké fotogrammetrie tvořil podivný rozmazaný pás, který zhoršoval kvalitu výstupu.

Celý hrad byl nasnímkován pomocí dronu včetně spodní části a střech. Pro výběr dnů snímání byla použita aplikace UAV Forecast, která předpovídá podmínky pro létání s drony. V aplikaci byla zadána lokalita týneckého hradu a na základě dat, která aplikace svým uživatelům poskytuje byly vybírány vhodné dny pro snímání. Mezi klíčové parametry patří samozřejmě meteorologické podmínky (rychlost větru, poryvy větru, déšť, teplota) a dále například informace o počtu viditelných satelitů v zadané lokalitě v určitou hodinu. Vše je uvedeno v tabulkovém provedení a barevně rozlišeno. Aplikace je velmi přehledná a během této práce se mi osvědčila. Aplikace dále nabízí zobrazení mapy s vymezenými bezletovými zónami v okolí plánovaného letu. Jedná se o další důležitou skutečnost, kterou je nutné si ověřit před začátkem letu.



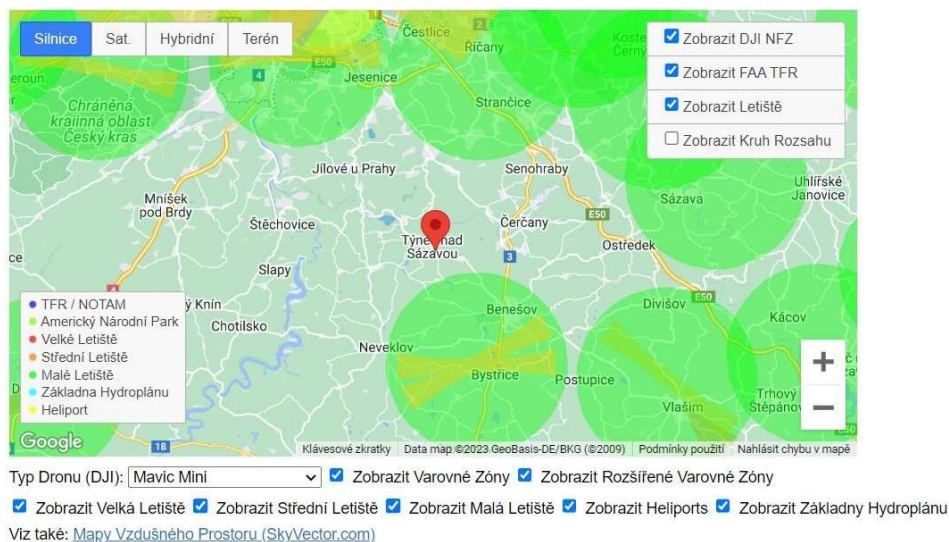
The screenshot shows the UAV Forecast application interface. At the top, there is a navigation bar with the application logo and links for FAQs, Aplikace, Koničky, and Jazyk. On the right side, there are buttons for 'Registrovat' and 'Přihlásit Se'. Below the navigation bar, the location is specified as 'Umístění: Nádvoří Hodějovského, Střední Čechy, 257 41, Česko' with a 'mapa »' link. The main content area displays a table of weather conditions for Thursday, 2023-03-21 at 07:24 CET. The table has 12 columns: Čas, Vitr, Poryvy, Teplota, Pravdép., Srážek, Oblačnost, Viditelnost, Viditelné Sats, Kp, Odh. Sat. Zamčeno, and Dobré Letět?. The data for 07:24 shows a wind speed of 5 km/h, gusts of 15 km/h, temperature of 6°C, no precipitation, 74% cloud cover, 16 km visibility, 19 satellites, 4 Kp, 18.6 estimated satellites, and a 'Dobré Letět?' status of 'ano'. Below this, there is a section for the day's sunrise and sunset times: 'Úterý 2023-03-21: Východ Slunce 06:02, Západ Slunce 18:15'. This is followed by a larger table showing hourly weather forecasts from 08:00 to 23:00. The hourly table uses color coding: green for 'ano' (good for flying) and red for 'ne' (not good for flying). For example, at 12:00, conditions are 4 km/h wind, 14 km/h gusts, 11°C, 2% precipitation, 74% clouds, 16 km visibility, 11 satellites, 4 Kp, 10.3 estimated satellites, and 'ne' status. At 13:00, conditions are 4 km/h wind, 14 km/h gusts, 12°C, no precipitation, 65% clouds, 16 km visibility, 9 satellites, 3 Kp, 8.9 estimated satellites, and 'ne' status. At 14:00, conditions are 5 km/h wind, 14 km/h gusts, 12°C, no precipitation, 69% clouds, 16 km visibility, 13 satellites, 3 Kp, 12.5 estimated satellites, and 'ano' status. At 15:00, conditions are 4 km/h wind, 12 km/h gusts, 13°C, no precipitation, 53% clouds, 16 km visibility, 14 satellites, 3 Kp, 13.5 estimated satellites, and 'ano' status. At 16:00, conditions are 4 km/h wind, 10 km/h gusts, 13°C, no precipitation, 68% clouds, 16 km visibility, 14 satellites, 3 Kp, 13.6 estimated satellites, and 'ano' status. At 17:00, conditions are 3 km/h wind, 9 km/h gusts, 12°C, no precipitation, 78% clouds, 16 km visibility, 17 satellites, 3 Kp, 16.0 estimated satellites, and 'ano' status. At 18:00, conditions are 3 km/h wind, 6 km/h gusts, 11°C, no precipitation, 89% clouds, 16 km visibility, 17 satellites, 3 Kp, 16.1 estimated satellites, and 'ano' status. At 19:00, conditions are 3 km/h wind, 6 km/h gusts, 10°C, no precipitation, 92% clouds, 16 km visibility, 13 satellites, 2 Kp, 12.3 estimated satellites, and 'ano' status. At 20:00, conditions are 3 km/h wind, 8 km/h gusts, 9°C, no precipitation, 94% clouds, 16 km visibility, 15 satellites, 2 Kp, 13.0 estimated satellites, and 'ano' status. At 21:00, conditions are 4 km/h wind, 9 km/h gusts, 8°C, no precipitation, 95% clouds, 16 km visibility, 12 satellites, 2 Kp, 10.4 estimated satellites, and 'ne' status. At 22:00, conditions are 4 km/h wind, 10 km/h gusts, 8°C, 1% precipitation, 98% clouds, 16 km visibility, 10 satellites, 3 Kp, 8.5 estimated satellites, and 'ne' status. At 23:00, conditions are 4 km/h wind, 11 km/h gusts, 8°C, 7% precipitation, 100% clouds, 16 km visibility, 10 satellites, 3 Kp, 8.6 estimated satellites, and 'ne' status.

Aktuální Podmínky k úterý 2023-03-21 07:24 CET												
Čas	Vitr	Poryvy	Teplota	Pravdép.	Srážek	Oblačnost	Viditelnost	Viditelné Sats	Kp	Odh. Sat.	Zamčeno	Dobré Letět?
07:24 ☼	5 km/h ↘	15 km/h ↘	6°C	-	-	74%	16 km	19	4	18,6		ano
Úterý 2023-03-21: Východ Slunce 06:02, Západ Slunce 18:15												
Čas	Vitr	Poryvy	Teplota	Pravdép.	Srážek	Oblačnost	Viditelnost	Viditelné Sats	Kp	Odh. Sat.	Zamčeno	Dobré Letět?
08:00 ☼	6 km/h ↘	18 km/h ↘	7°C	-	-	84%	16 km	18	4	17,7		ano
09:00 ☼	9 km/h ↘	19 km/h ↘	8°C	-	-	88%	16 km	21	4	19,5		ano
10:00 ☼	8 km/h ↘	17 km/h ↘	9°C	-	-	88%	16 km	16	4	14,8		ano
11:00 ☼	5 km/h ↘	14 km/h ↘	10°C	2%	-	85%	16 km	14	4	12,9		ano
12:00 ☼	4 km/h ↘	14 km/h ↘	11°C	2%	-	74%	16 km	11	4	10,3		ne
13:00 ☼	4 km/h ↘	14 km/h ↘	12°C	-	-	65%	16 km	9	3	8,9		ne
14:00 ☼	5 km/h ↘	14 km/h ↘	12°C	-	-	69%	16 km	13	3	12,5		ano
15:00 ☼	4 km/h ↘	12 km/h ↘	13°C	-	-	53%	16 km	14	3	13,5		ano
16:00 ☼	4 km/h ↘	10 km/h ↘	13°C	-	-	68%	16 km	14	3	13,6		ano
17:00 ☼	3 km/h ↓	9 km/h ↓	12°C	-	-	78%	16 km	17	3	16,0		ano
18:00 ☼	3 km/h ←	6 km/h ←	11°C	-	-	89%	16 km	17	3	16,1		ano
19:00 ☼	3 km/h ↖	6 km/h ↖	10°C	-	-	92%	16 km	13	2	12,3		ano
20:00 ☼	3 km/h ↗	8 km/h ↗	9°C	-	-	94%	16 km	15	2	13,0		ano
21:00 ☼	4 km/h ↑	9 km/h ↑	8°C	-	-	95%	16 km	12	2	10,4		ne
22:00 ☼	4 km/h ↑	10 km/h ↑	8°C	1%	-	98%	16 km	10	3	8,5		ne
23:00 ☼	4 km/h ↑	11 km/h ↑	8°C	7%	-	100%	16 km	10	3	8,6		ne

obr. č. 47: předpověď počasí v UAV Forecast; zdroj [31]

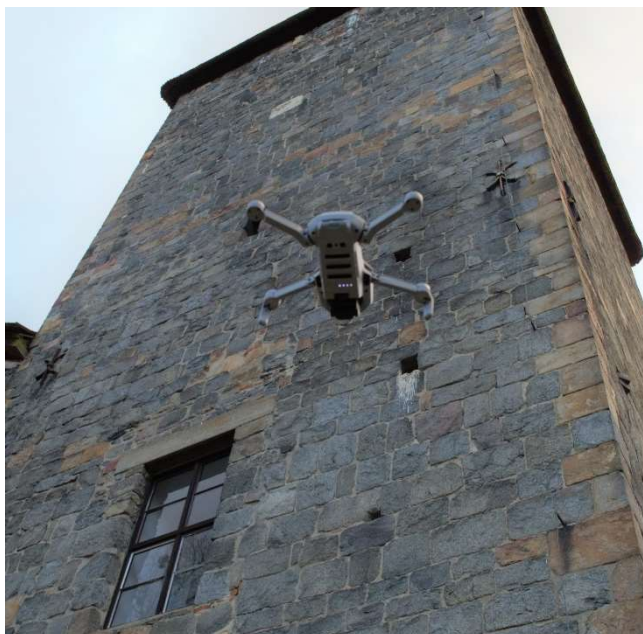
Z pohledu legislativy jsem registrovaným pilotem a vlastním platný doklad o absolvování online výcviku na webových stránkách Úřadu pro civilní letectví ČR pro kategorii A1. Týnecký hrad se nenachází v žádné bezletové zóně, takže nebyl problém s dronem vzlétnout. Dron DJI Mavic Mini mi byl zapůjčen Ing. Davidem Zahradníkem z Katedry geomatiky Fakulty stavební ČVUT v Praze, kterému tímto děkuji za důvěru.

Umístění: Nádvoří Hodějovského, Střední Čechy, 257 41, Česko [mapa](#) «



obr. č. 48: zóny s omezeným létáním v UAV Forecast; zdroj [31]

Samotná doba letu byla omezena asi přibližně na 20 minut, jelikož baterie dronu nevydrží už tak dlouho v provozu. V nastavení letových režimů byl zvolen “mode P”, poziční mód, který lze použít pro běžné létání. Při snímkování byla snaha zajistit dostatečně velký vzájemný překryt mezi snímky z důvodu následného zpracování. Ideální rozmezí překrytu snímků se pohybuje od 60 do 80 %. Zde byla snaha docílit překrytu 80 % a vyššího, aby bylo docíleno lepších výsledků při tvorbě prostorového modelu. Snímky byly pořizovány ve formátu 4:3 při rozlišení kamery 12 Mpix. Data se ukládala na microSD kartu, která byla vložena do dronu. Snímkování bylo prováděno postupně za sebou po jednotlivých sloupcích v celé výšce, kdy vzniklo několik sad snímků. Tento způsob byl aplikován na celý objekt. Kritickým místem se stala část apsidy, která byla obklopena větvemi dvou listnatých stromů. Bylo nutné létat doslova v korunách stromů. V této části bylo prováděno snímkování velice opatrně, aby nedošlo k poškození dronu o větev. Jinak jediným nepřítelem byl občas silnější poryv větru, který dokázal znepříjemnit let.



obr. č. 49: ukázka létání s dronem na hradě; vlastní zdroj

## 7.6 Laserové skenování

Laserové skenování bylo primárně určeno pro interiér, jelikož dokáže dobře tvarově vystihnout celé místnosti s nejrůznějšími detaily. Kromě toho, v případě aplikování fotogrammetrie v interiéru, by se jednalo o náročný a značně zdlouhavý proces v podobě pořízení snímků s dostatečnými překryty. Zvenku bylo okolo hradu provedeno přibližně 15 skenů pro účely vzájemného porovnání s mračnem bodů z fotogrammetrie. Následně bylo skenováno v interiéru, které bylo o něco náročnější. Z důvodu zachycení tvarů a rozměrů místností bylo někdy nutné přemístit vybraný mobiliář, který se v místnosti nacházel. Veškeré přemístění bylo pouze dočasné pro účely měření a bylo předem konzultováno s majitelem hradu. Jednalo se například o mlýnské kameny v prvním podlaží věže, které zakrývaly roh místnosti. Z prostoru kaple zase byly přemístěny židle, jež lemovaly její obvod. Po ukončení měřických prací bylo vše vráceno do původního stavu.



obr. č. 50: kontrola napojení skenů v terénu; vlastní zdroj

Při skenování nebyly použité žádné signalizační terče ani štítky, bylo využito pouze přirozeně signalizovaných bodů, které byly předem zaměřeny totální stanicí a vedeny v rámci dílčích měřických náčrtů. Celkem bylo pro oblasti exteriéru i interiéru provedeno 63 skenování. K dispozici bylo vzdálené ovládání skeneru v podobě tabletu se systémem iOS. V tabletu bylo možné nastavit například střední hustotu skenování nebo možnost přisvětlení během měření. Bylo možné si pořízená data ihned prohlížet, kontrolovat a provádět automatickou nebo manuální předregistraci vzájemným propojením skenů přes "link". Všechna stanoviště skenování byla volena, aby mezi sebou měla vzájemnou viditelnost. Tím je myšleno, aby sousední skeny měly dostatečně velkou překrytovou (společnou) oblast skenování, díky které proběhne automatické spojení mračen v jeden celek. Skenování probíhalo i na schodech ve věži. Kromě skenování byly pořizovány i fotky, které následně slouží pro obarvení mračen. Přisvětlování skeneru nebylo, zvláště v temných patrech věže bez osvětlení, dostatečné. Pro tyto účely jsem využil vlastní ruční svítilnu a při otáčení skeneru během focení jsem mu osvětloval scénu, aby fotky nebyly příliš tmavé. Doba pořízení jednoho skenu i s nafocením okolí mu trvala přibližně 4 minuty.



obr. č. 51: ukázka skenování na hradě; vlastní zdroj

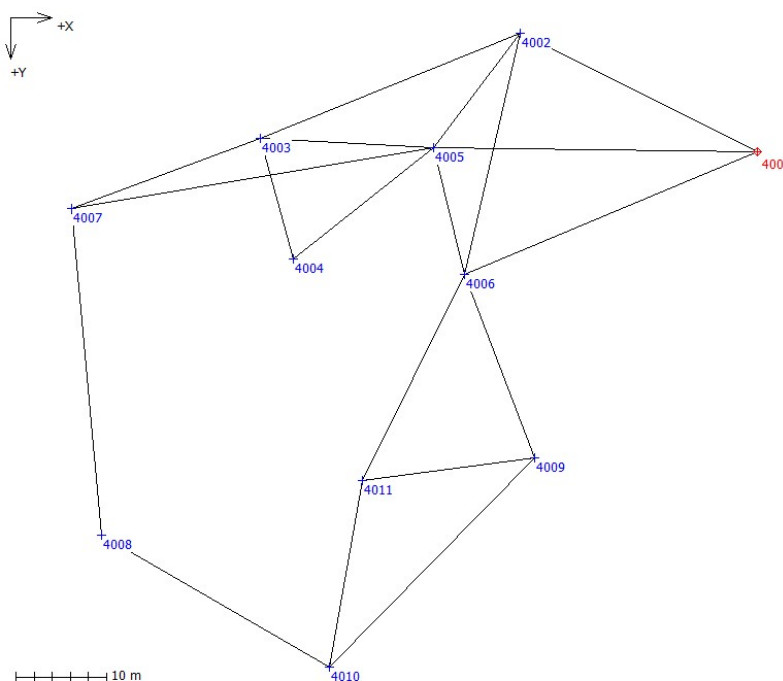


## 8 Kancelářské práce

V této části textu popisují proces zpracování naměřených dat. Jedná se o geodetické měření, zpracování mračen bodů a fotogrammetrie. U jednotlivých kroků zpracování jsou uvedeny i programy, které byly použity.

### 8.1 Zpracování geodetického měření

Naměřená data GNSS aparaturou byla importována do počítače a zpracována v softwarovém prostředí firmy Topcon v programech Topcon Link a GeoLink do podoby prostorových souřadnic v systémech JTSK a Bpv. Získané souřadnice byly použity jako přibližné hodnoty a spolu se zápisníkem měření z exteriéru naimportovány do programu EasyNET, kde bylo provedeno vyrovnání geodetické sítě. V nastavení vyrovnání byly doplněny přesnosti použité totální stanice. Nakonec byla v EasyNETU provedena transformace přes bod a směrnik, kdy fixovaným bodem bylo stanovisko č. 4001 a směrnik na stanovisko č. 4002. Výška stanoviska č. 4001 byla určena na základě měření na připojovací nivelační bod. Tím bylo docíleno správného natočení sítě do JTSK. Vyrovnané souřadnice jednotlivých bodů sítě a jejich přesnost je uvedena v rámci přílohy.



obr. č. 52: schema geodetické sítě; vlastní zdroj

Vyrovnané souřadnice se zápisníkem měření byly následně vloženy do programu Kokeš, kde byl proveden hromadný výpočet souřadnic všech vlícovacích bodů a také stanovisek uvnitř hradu. Jednalo se o hromadný výpočet polární metody, kdy výsledkem byly prostorové souřadnice bodů. Informace o dvojím zaměření vybraných vlícovacích bodů jsou uvedeny v kapitole o zhodnocení přesnosti.

## 8.2 Zpracování a editace skenů

Pro zpracování mračen bodů byl použit program Leica Cyclone REGISTER 360. V rámci nového projektu byly nainportovány všechny skeny z terénu. Při importu bylo provedeno nastavení registrace skenů. Z nabízených možností byla vybrána automatická registrace, protože při skenování nebyly použity žádné terče ani jiné umělé signály. Zůstala tedy zvolena varianta “auto-cloud“. Celý proces automatické registrace byl spuštěn přes červené tlačítko “import“. Dalším krokem po úspěšném dokončení registrace byla samotná kontrola a optimalizace propojených mračen a názvem “review and optimize“. Na této záložce byla provedena i nutná manuální registrace, jelikož část skenů věže se špatně napasovala na ostatní skeny. Příčinou nejspíše byl nízký překryt pod hodnotou 20 % při propojení mračen. Toto místo se nacházelo na točitém schodišti, kde měl skener omezený zorný úhel. Po dokončené manuální editaci byla provedena finální optimalizace s výslednou chybou celého svazku 0,003 m.

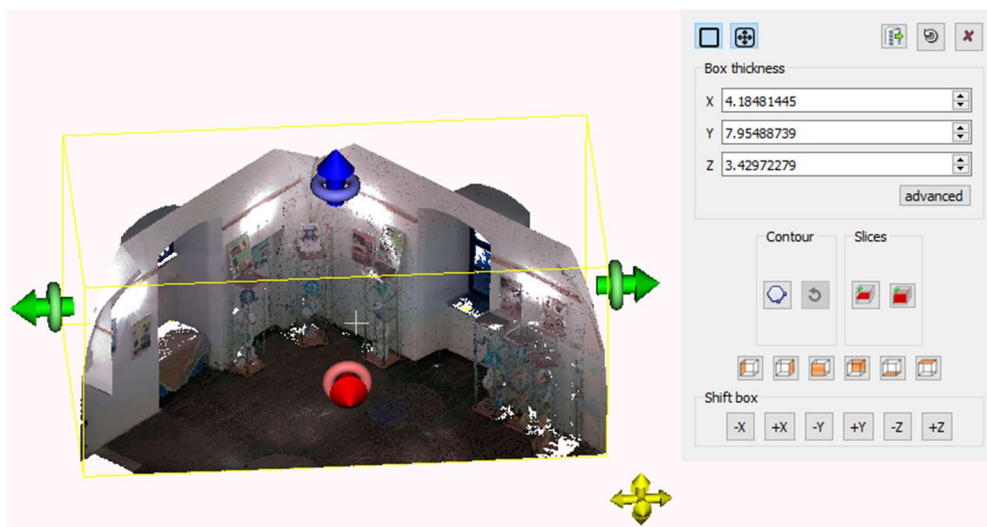
Následující obrázky uvádí příklad manuální registrace dvou mračen v hradní kapli. Každé mračno je barevně odlišeno a provádí se vzájemné ztotožnění skenů v horizontálním a vertikálním směru. Nakonec se skeny propojí a optimalizují. Kontrolní zpráva o výsledku manuální registrace udává celkovou chybu a procentuální hodnotu překrytu.



obr. č. 53, 54: manuální registrace dvou mračen bodů; vlastní zdroj

Na další záložce “finalize“ byla provedena poslední kontrola překrytí skenů a výsledné odchylky. Následně byla tlačítkem “accept“ kontrola schválena. V posledním kroku v rámci záložky “report“ byl proveden export protokolu o celé registraci a separovaný export jednotlivých mračen bodů do formátu e57 pro další zpracování.

Získaná data po registraci byla rozdělena na jednotlivé skeny, ale přesto se jednalo o velký objem dat pro hromadné zpracování. V programu **CloudCompare** bylo pomocí funkce “segment” provedeno ořezání mračen, aby zůstal jen naskenovaný hrad. V dalším kroku byl odstraněn z dat šum přes funkci “noise filter”, kde do parametru funkce byla zadána hodnota 1 cm. Jedná se o vzdálenost v rámci okolí bodu nastavenou pomocí rádiusu, tím se odstraní z dat nežádoucí body. Další využitou funkcí pro filtrování mračen byla funkce “remove duplicate points”, která odstraňuje duplicitní body. Minimální vzdálenost mezi body byla ve funkci nastavena na 0,5 cm. Následná práce s takto upravenými mračny byla značně zjednodušena, neboť došlo k poklesu celkového objemu dat o více než 90 %.



obr. č. 55: funkce segment pro ořezání mračna; vlastní zdroj

Pro lepší orientaci v sadě mračen interiéru, bylo realizováno jejich roztřídění do logických celků. V programu **CloudCompare** bylo využito funkce “merge” pro spojení mračen do jednoho. V rámci každého podlaží byla mračna propojena do ucelených skupin, aby bylo možné provádět jejich vypínání a zapínání dle potřeby uživatele. Lze jednotlivě zobrazovat všech 5 podlaží věže, rotundu, prostor nad rotundou i všechny 4 schodiště ve věži. Očištěná mračna interiéru obsahují přes 56 mil. bodů.

Mračna byla následně transformována polohově do S-JTSK a výškově do Bpv. Nejprve byly odečteny souřadnice identických bodů v místním souřadnicovém systému z mračen interiéru. Pro každou místnost byly vybrány dva až tři dobře identifikovatelné body pro transformaci. Pro výpočet transformačního klíče byl použit program **XYZTrans**, do kterého byly importovány dva textové soubory. První obsahoval identické body v místním systému a druhý body v S-JTSK a Bpv, jak byly zaměřeny totální stanicí. Pro shodnostní transformaci bylo použito celkem 25 identických bodů a výsledná střední chyba jednotková měla hodnotu 0,008 m. Pět bodů s největší chybou bylo z výpočtu transformačního klíče vyloučeno. Vypočtený transformační klíč byl použit v programu **CloudCompare** pro transformaci mračen bodů z laserového skenování. Bylo následně provedeno porovnání mračen z fotogrammetrie a toho transformovaného ze skenování. Výsledky byly uvedeny v kapitole o zhodnocení přesnosti.

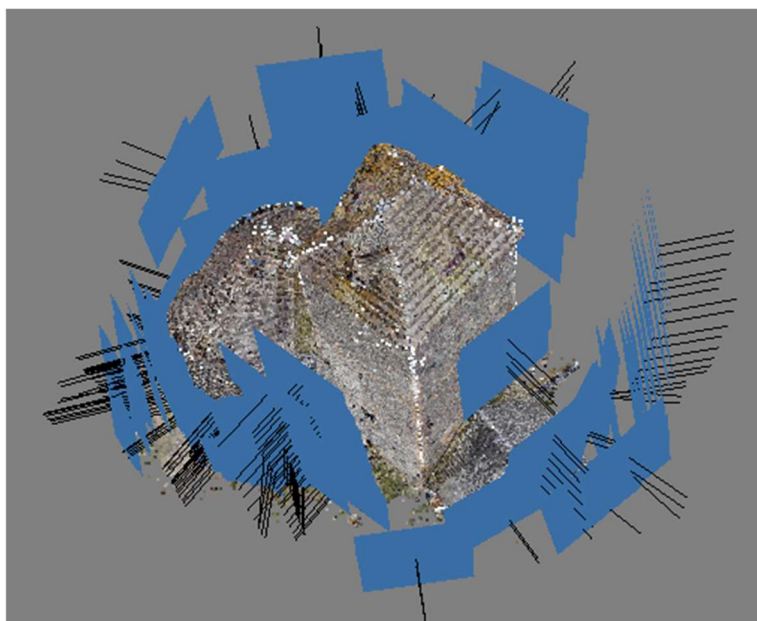


*obr. č. 56: očištěná mračna bodů hradního interiéru; vlastní zdroj*

### 8.3 Tvorba 3D modelu z fotogrammetrie

V terénu bylo pořízeno kolem 500 snímků, kdy ne každý byl vhodný pro zpracování. Největší koncentrace snímků byla v místě, kde stromy zakrývají část rotundy. Při snímkování v terénu nebylo možné na “malém” displeji mobilu zcela posoudit kvalitu snímků. To probíhalo až před samotným zpracováním modelu v kanceláři. Snímky se špatnými světelnými podmínkami, které byly výrazně přesvětlené nebo naopak příliš tmavé, byly vyloučeny z procesu.

V programu **Agisoft Metashape** byl vytvořen 3D model z pořízených snímků z dronu. V rámci nového projektu byly importovány snímky a byla provedena kontrola kvality vstupních snímků přes funkci “estimate image quality”. Všechny snímky se v rámci kontroly pohybovaly nad doporučenou minimální hranicí o hodnotě 0,5. Následně přes funkci “align photos” byla provedena orientace snímků. Celkem bylo použito necelých 300 snímků, což dokládá husté rozložení pozic snímkování kolem objektu.

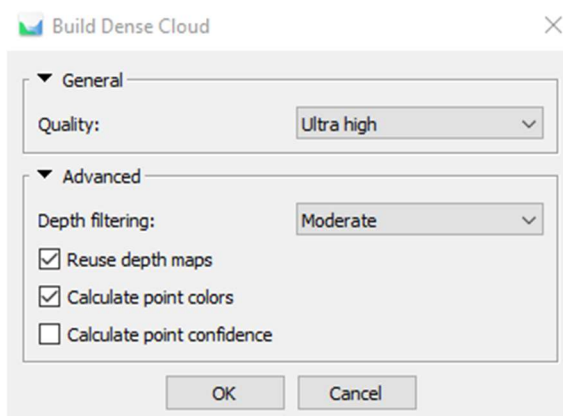


obr. č. 57: pozice snímkování hradu; vlastní zdroj

V rámci orientace snímků byly manuálně definovány vlíčovací body, které měly známé souřadnice z geodetického měření totální stanicí. Software neumí pracovat se souřadnicemi v S-JTSK, proto bylo nutné vynásobit souřadnice Y a X hodnotou -1. Tím dojde k převedení souřadnic JTSK do souřadnic kartézských, se kterými již dále software může pracovat. Všechny 65 vlíčovacích bodů bylo označeno na řadě snímků, kde bylo možné je jednoznačně identifikovat. S ohledem na přesnost měření totální stanicí, byla přesnost vlíčovacích bodů stanovena na 1 cm a přesnost identifikace na snímku na 2 pixely. Celkem bylo z výpočtu odstraněno pět bodů, u kterých byla detekována největší chyba. Bylo dosaženo celkové

směrodatné odchytky na vlíčovacích bodech 1,5 cm. S ohledem na následné vytváření ortofot v měřítku 1:50 se jedná o hodnotu, kterou je možné akceptovat.

Po konečném vyrovnání snímků bylo vytvořeno husté mračno bodů pomocí funkce "build dense cloud", u které byl výpočet nastaven na nejvyšší možnou "ultra high". Tato volba byla vybrána z důvodu, protože program tak pracuje s plnou kvalitou snímků a využívá zcela jejich rozlišení. V rámci dalšího možného nastavení byla hodnota hloubkového filtrování "depth filtering", která závisí na členitosti objektu, zvolena na střední hodnotu "moderate".



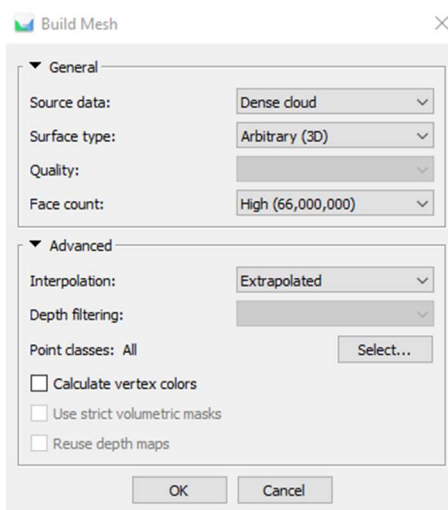
obr. č. 58: nastavení hustého mračna; vlastní zdroj

Husté mračno bylo následně nutné před tvorbou modelu ořezat, očistit a zbavit se okolního šumu a bodů, které nejsou předmětem zájmu. Největší problém činily vzrostlé stromy v těsné blízkosti hradní kaple.



obr. č. 59, 60: husté mračno před a po očištění; vlastní zdroj

Po nezbytných úpravách došlo na samotné vytvoření 3D modelu přes funkci na tvorbu sítě “build mesh“, zvolené parametry pro vygenerování modelu jsou uvedeny níže. V pokročilém nastavení byla zvolena varianta extrapolace za účelem zakrytí děr a prázdných míst hustého mračna. Proces tvorby hustého mračna a modelu byl několikrát opakován, protože okolní stromy působily značné nedostatky ve výstupu. Vznikala prázdná místa ve střeše rotundy a na části zdiva. Obdobný problém nastal i u střechy věže, kde mračno nebylo místy celistvé. Postupně bylo do projektu přidáno více snímků postižených míst, aby bylo dosaženo lepších výsledků. Ve střeše rotundy se nepovedlo tento mírný nedostatek zcela odstranit, proto zde chybí část hustého mračna, která se nevytvořila. Při použití zmíněné funkce na extrapolaci nevzniká u prostorového modelu tento problém.



obr. č. 61: nastavení sítě modelu; vlastní zdroj

Na závěr byla funkcí “build texture“ vytvořena textura modelu. V nastavení byla u možnosti prolnutí snímků zvolena mozaika. Z programu Agisoft Metashape byl následně exportován prostorový model a husté mračno bodů.



obr. č. 62: prostorový model z fotogrammetrie; vlastní zdroj

## 8.4 Tvorba ortofot

Z vytvořeného modelu probíhala následná tvorba jednotlivých ortofot hranolové věže. Při tvorbě ortofota byl duplikován původní projekt, ve kterém byl vytvořen prostorový model. Následně byl model ořezán a zůstala z něj pouze zájmová oblast pro tvorbu ortofota. Poté byly určeny body, které dostatečně definují rovinu ortofota. Ze seznamu vlíčovacích bodů byly vybrány dva, které dosahují největší vzdálenosti v jednom směru a nacházejí se vzájemně na opačných stranách plochy zájmu ortofota. Dvojice bodů měla nastavenou nulovou výšku. Ve vertikálním směru byl doplněn třetí bod změnou výšky. Do nastavení funkce pro tvorbu ortofot byly zadány zmíněné tři body, které charakterizují rovinu. Vybranou metodou byla mozaika. Ta nezpůsobuje průměrování hodnot pixelů z jednotlivých snímků. V nastavení funkce byla ještě zvolena velikost pixelu ortofota. Programem nabízené hodnoty pro velikost pixelu, "pixel size", 2,7 mm byly zaokrouhleny a byla stanovena výsledná hodnota na 3 mm.

Kromě toho byla vytvořena i ortofota rotundy pomocí rozvinutí. V nastavení funkce bylo překliknuto z "Planar" na typ projekce "Cylindrical" pro zpracování ortofota objektů válcového tvaru. Tato funkce se používá právě pro takové objekty, které lze nahradit jednoduchými geometrickými tělesy. V nastavení orientace objektu byla zvolena možnost "Z", kdy byla definována osa válce ve svislém směru. Při volbě jiných nastavení nebylo vygenerováno správné ortofoto. Jednalo se o různě deformované výstupy, jejichž orientace neodpovídala skutečnosti. Hodnota velikost pixelu byla opět nastavena na 3 mm. Na několika málo místech jsou na ortofotu viditelné větve stromů, které byly nasnímkovány spolu s rotundou. Nejedná se ovšem o velký zásah do výsledné kvality ortofota, protože větve zabírají pouze velmi malou část z celkové plochy objektu.



obr. č. 63: ortofoto západní stěny hradní věže; vlastní zdroj





*obr. č. 64: ortofoto rozvinutého pláště kaple; vlastní zdroj*

Vytvořená ortofota byla importována do prostředí programu **MicroStation**, kde byl vyhotoven výsledný výkres ortofota. Byla doplněna popisová tabulka obsahující základní informace o názvu akce, autorovi, souřadnicových systémech, výsledné přesnosti, formátu tisku a dalších. Do výkresu byla doplněna i síť křížků s popsány výškovými úrovněmi, grafické měřítko a schema situace se severkou. Uvedené výškové hodnoty představují nadmořské výšky v systému Bpv.

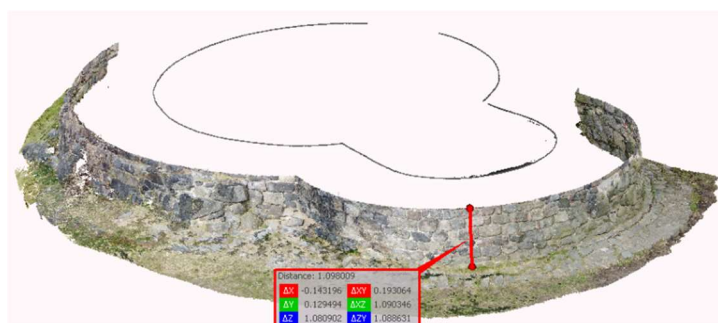
## 8.5 Tvorba výstupů pro badatelské účely

Tato podkapitola se snaží přiblížit a vyjasnit určité hypotézy o stavebních fázích historického vývoje hradu. Mezi zkoumané části objektu patří zazděné otvory uprostřed stěn v horní části hranolové věže, které vyvolávají různé otázky o původním účelu věže. Historik umění *František Záruba* ve své práci *Příspěvek k otázce královských hradů v dolním Posázaví* z roku 2016 například uvádí, že zazděné otvory původně představovaly pozůstatky cimbuří. Z jiné strany na tuto otázku nahlíží *Jiří Varhaník* ve své práci *Věž rotundy v Týnci nad Sázavou* z roku 2002. Ten udržuje myšlenku, že se zřejmě jedná o kostelní věž a zmíněné pozůstatky cimbuří považuje za pozůstatky sružených oken kostelního patra. Jedná se tedy o okenní zazděné otvory do poloviční velikosti. Historicky byla hranolová věž mnohem vyšší, snížena do současné podoby byla nejspíše po požáru na hradě.



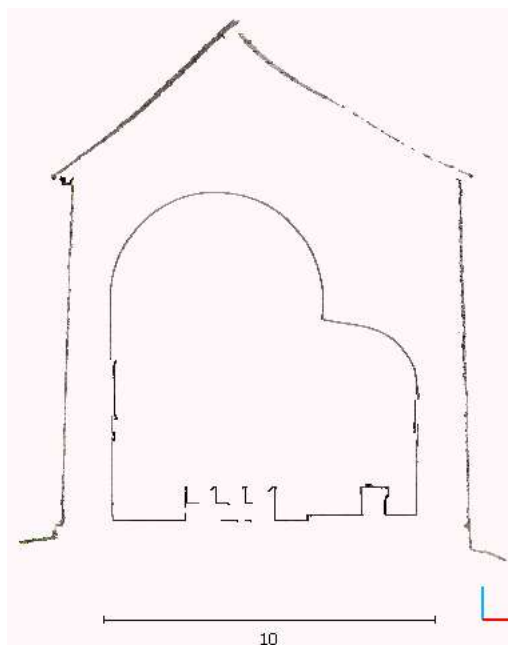
obr. č. 65, 66: ortofoto a 3D model bez textury v detailu, zazděné otvory věže, pohled od západu; vlastní zdroj

Na základě společných konzultací s docentkou Hauserovou a dle požadavků a připomínek z její strany byly vyhotoveny vodorovné a svislé řezy mračny bodů, na kterých je zřejmý geometrický průběh objektu v zájmových oblastech. V rámci výzkumné části práce bylo například zjištěno, že výškový rozdíl mezi úrovní podlahy hradní kaple oproti terénu v exteriéru dosahuje hodnoty 110 cm. Údaj byl získán odečtením z mračna bodů v programu **CloudCompare**. Tato hodnota byla poté nezávisle ověřena z prostorových souřadnic stanoviska a identického bodu v kapli, když vzájemný výškový rozdíl činil 112 cm. Na základě této informace lze říci, že rotunda má zvenku obnažené základy, které jsou viditelné na první pohled, protože jsou mírně předsunuty ven oproti stěnám objektu. Původní terén byl vyšší.



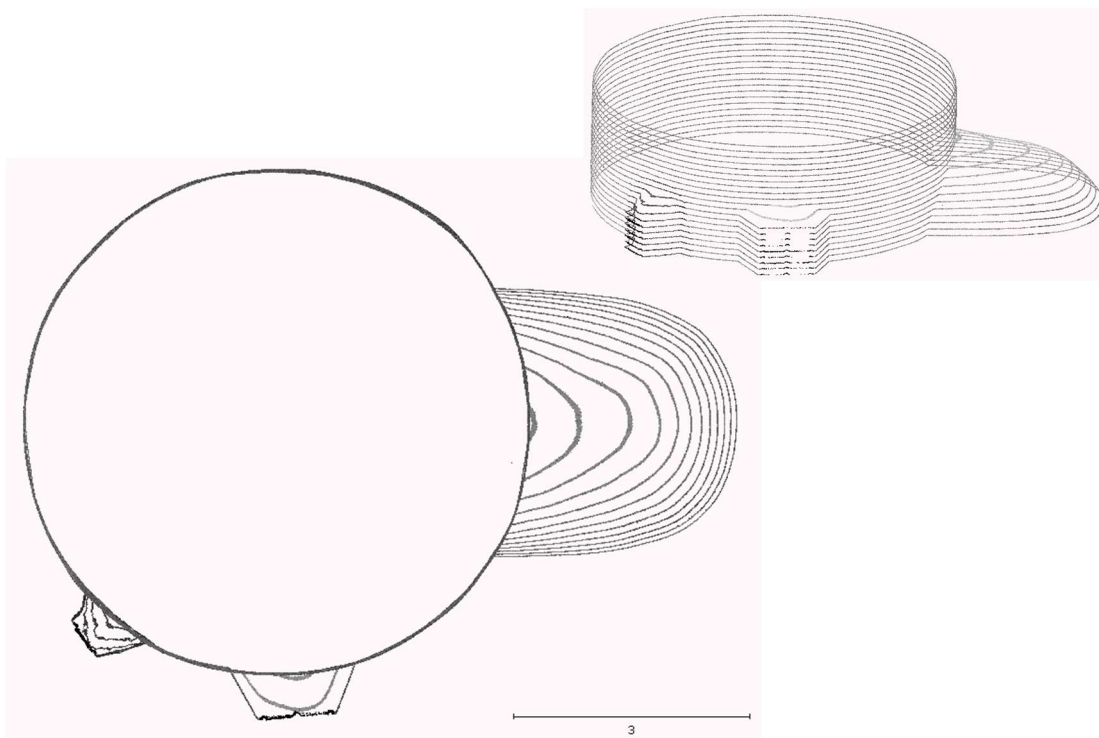
obr. č. 67: výškové úrovně rotundy; vlastní zdroj

Ze získaných dat laserového skenování byl vytvořen svislý řez celou rotundou a exteriérem v zájmovém místě. Zde je znázorněno pravidelné klenutí kaple do kupole a napojení apsidy s oltářem. Podlaha apsidy je o několik centimetrů výš oproti samotné lodi z důvodu jednoho schodu. Potvrzují se i výškové poměry rotundy s ohledem na průběh okolního terénu v exteriéru, který je podstatně níže.



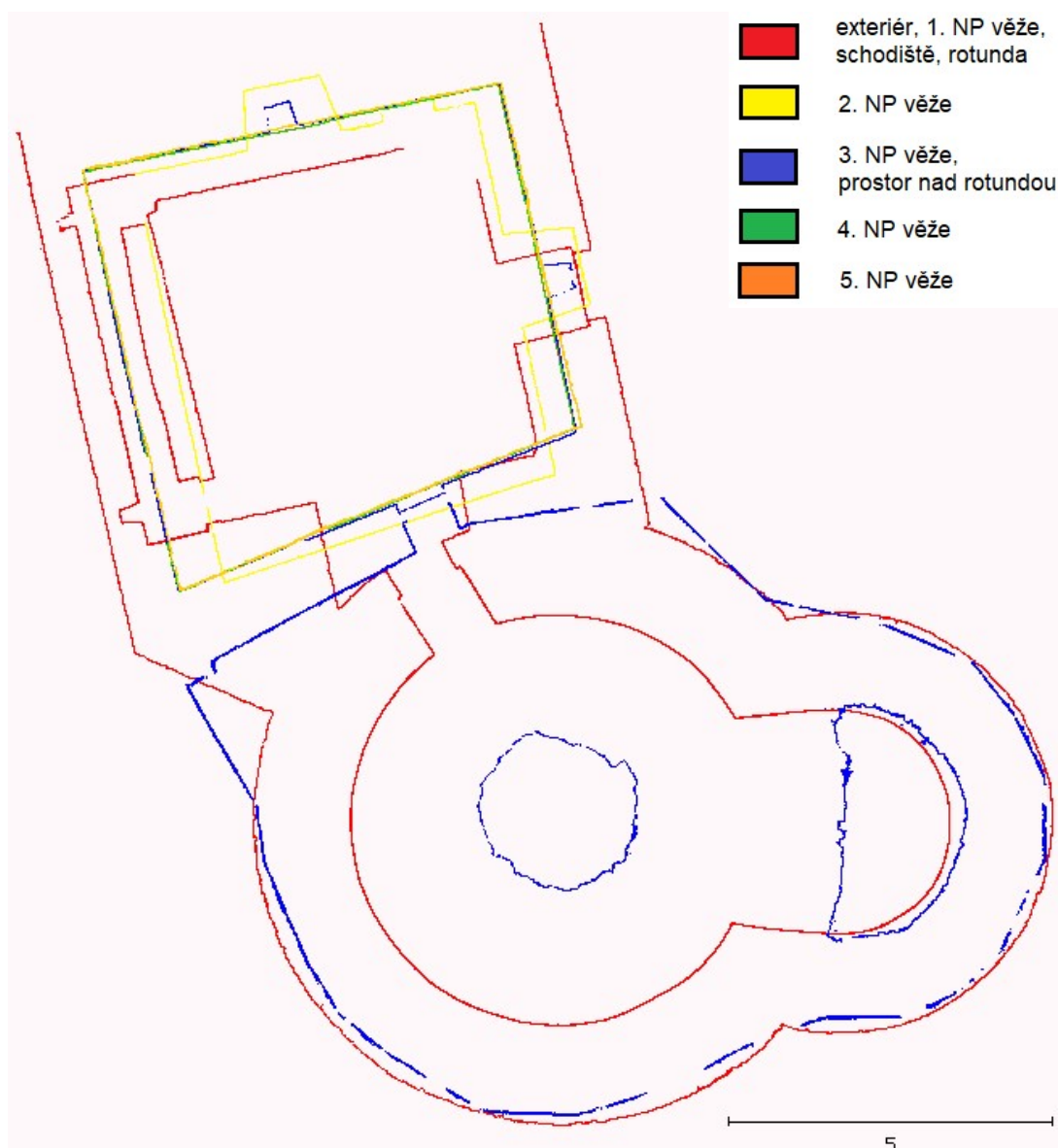
obr. č. 68: svislý řez rotundou; vlastní zdroj

Data laserového skenování byla dále využita při zkoumání geometrického průběhu tvaru rotundy v místě, kde se apsida napojuje na kapli. Snahou bylo prokázat předpokládané zploštění tvaru kaple v místě napojení. Dle zjištěných výsledků se to nepotvrdilo. V CloudComparu byly v oblasti napojení obou částí rotundy vedeny mračnem vodorovné řezy o tloušťce 1 cm s konstantními rozestupy po 10 cm.



obr. č. 69, 70: vodorovné řezy rotundou; vlastní zdroj

Mezi další zajímavé výstupy s určitou vypovídající hodnotou patří i obrázek č. 71. Jedná se o znázornění vodorovných řezů jednotlivých podlaží v celém objektu. Je zde dobře patrná geometrie a rozložení jednotlivých pater, kdy od 2. NP věže dochází k výraznému zvětšení místností a ztenčení obvodového zdiva. Do řezu 1. NP věže byl přidán i řez kamenným schodištěm, které vede do 2. podlaží. Ostatní schodiště jsou dřevěná a nebyla zde zobrazena. V místnosti nad rotundou je zachycen i vrchlík rotundy, který vystupuje mírně do prostoru a napůl zasypaný prostor po obvodu stavby. Pro lepší názornost je každý řez barevně odlišen a vše je doplněno jednoduchou legendou s označením pater. Jedná se opět o data z laserového skenování.



obr. č. 71: vodorovné řezy ve všech podlaží hradu; vlastní zdroj

## 9 Zhodnocení přesnosti

V této kapitole bych rád zhodnotil dosažené přesnosti při zpracování výstupů a na pár jednoduchých příkladech demonstroval různé metody kontroly a jejich dosažené výsledky.

V rámci geodetického měření totální stanicí nebylo při následném zpracování zápisníku odhaleno žádné chybné měření, které by bylo nutné z měření vyloučit. Udávaná přesnost výrobce použité totální stanice v měření délek byla v bezhranovém módu  $\pm 5 \text{ mm} + 10 \text{ PPM}$  a  $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ PPM}$  při měření na odrazný hranol. Pro úhlové měření se uvádí přesnost totální stanice 3" (1,0 mgon). Prostorová geodetická síť, ve které bylo prováděno vzájemné měření mezi stanovisky a získána nadbytečná měření, byla vyrovnána v softwaru EasyNET. Do vyrovnání byla zvolena úhlová přesnost 2,0 mgon a délková přesnost 3 mm. Zhoršení přesnosti bylo zavedeno z důvodu krátkých záměr a zhoršené stabilizace bodového pole. Měření probíhalo v lednu a v únoru, kdy bylo proměnlivé promrzání půdy s nestálými teplotními podmínkami. Pro vyrovnání sítě bylo zvoleno stanovisko č. 4001 jako fixní, výška byla přepočítána z přípojovacího nivelačního bodu. Pro správné natočení sítě do S-JTSK byla následně provedena transformace přes bod a směrník. V následující tabulce jsou uvedeny vyrovnané souřadnice bodů geodetické sítě se směrodatnými odchylkami.

Prostorové souřadnice stanovisek, které obsahuje následující tabulka, jsou uváděny v polohovém systému JTSK a výškovém systému Bpv.

*tabulka č. 3: vyrovnané souřadnice prostorové sítě s přesnostmi, vlastní zdroj*

č. b.	Y [m]	X [m]	Z [m]	$\sigma Y$ [mm]	$\sigma X$ [mm]	$\sigma Z$ [mm]
4001	734455,537	1073035,134	281,624	-	-	-
4002	734442,421	1073009,032	281,703	1,5	1,4	7,8
4003	734454,056	1072980,343	280,791	2,4	1,4	8,2
4004	734467,348	1072983,980	283,683	2,3	2,2	8,4
4005	734454,998	1072999,449	283,640	1,4	1,1	7,1
4006	734469,002	1073002,880	284,528	1,3	1,6	7,3
4007	734461,719	1072959,529	278,624	4,2	2,0	9,8
4008	734497,770	1072962,863	277,806	4,0	5,1	11,5
4009	734489,213	1073010,521	281,775	1,8	3,7	9,2
4010	734512,316	1072988,010	281,113	2,2	6,1	10,3
4011	734491,698	1072991,568	281,599	2,0	4,0	9,6

Pro ověření přesnosti zaměření vlícovacích a identických bodů, bylo u několika z nich provedeno dvojí zaměření z různých stanovisek. Přesnost geodetického zaměření vlícovacích bodů lze dokumentovat v následující tabulce dvojího zaměření podrobných bodů.

tabulka č. 4: porovnání dvojího zaměření vřícovacích bodů, vlastní zdroj

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta Z$ [m]	oblast	ze stanoviska
9	0,006	-0,012	0,002	exteriér - rotunda	4001, 4005
16	0,005	-0,005	0,000	exteriér - věž	4004, 4005
21	0,008	-0,006	-0,002	exteriér - věž	4007, 4008
33	0,000	0,006	0,008	exteriér - věž	4009, 4010
36	0,003	0,011	0,007	exteriér - věž	4010, 4011
66	-0,012	-0,003	-0,008	interiér - 1. NP	4004, 4012
98	0,003	-0,010	-0,006	interiér - rotunda	4016, 4017
106	-0,010	0,007	-0,007	interiér - rotunda	4016, 4017
134	0,010	-0,015	0,009	interiér - 2. NP	4020, 4021
166	-0,002	-0,006	-0,002	interiér - 5. NP	4025, 4027

Přesnost provedené registrace skenů v softwaru Leica Cyclone REGISTER 360, která probíhala částečně i manuálně, shrnuje následující obrázek č. 72. Na něm je uvedena celková průměrná chyba registrace mračen o hodnotě 0,003 m a hodnota průměrného překrytí jednotlivých skenů 65 %. Ve dvou případech, kdy bylo skenováno na schodišti, byla hodnota překrytí skenů pod hranicí 20 % z důvodu malého prostoru a velkého zákrytu díky zábradlí. Zde chyby registrace činily kolem 0,010 m.

### Overall Quality

#### Error Results for Bundle 1

Setup Count: 63  
 Link Count: 65  
 Strength: 75 %  
 Overlap: 65 %

Bundle Error 0.003 m ✓	
Overlap 65 % ✓	Strength 75 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.003 m ✓	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

obr. č. 72: přesnost registrace skenů; vlastní zdroj

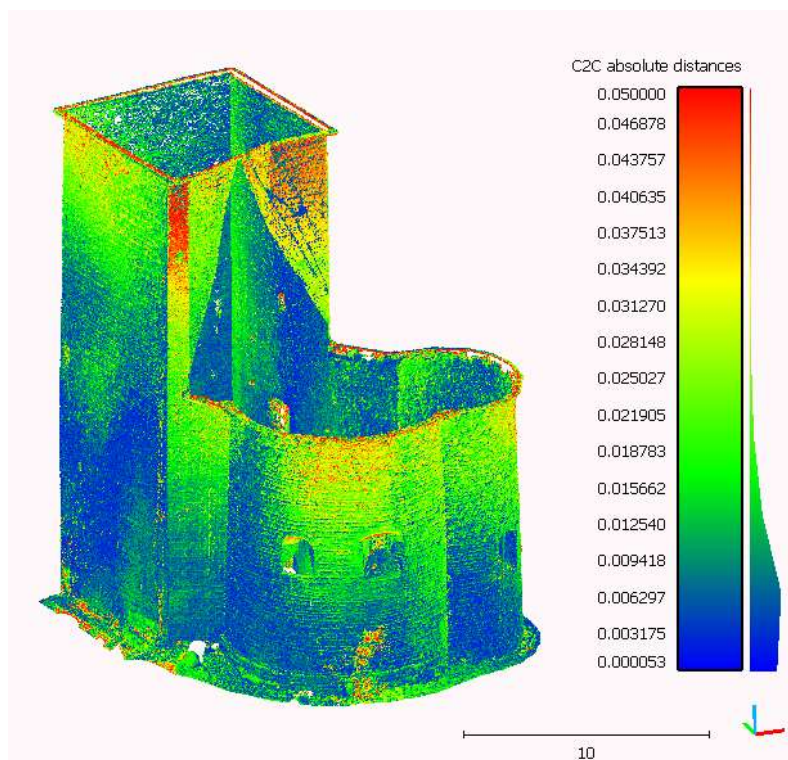
Mračna bodů z laserového skenování bylo nutné transformovat z místních souřadnicových systémů do S-JTSK a Bpv. Pro výpočet transformačního klíče v programu XYZTrans bylo použito celkem 20 identických bodů v rámci celého interiéru objektu, které byly zaměřeny polární metodou totální stanicí. Výsledná hodnota střední jednotkové chyby shodnostní transformace činila 0,008 m.

Následně byla provedena kontrolní identifikace vybraných identických bodů v transformovaných mračnecích. Do tohoto ověření kvality spojených mračen bylo v celém objektu vybráno celkem 17 identických bodů. Největší souřadnicové odchylky bodů se pohybovaly do 0,015 m. Zjištěné odchylky mezi identickými body z měření totální stanicí a z těch, které byly odečteny v transformovaných mračnecích, byly uspořádány do následující tabulky.

*tabulka č. 5: kontrolní identické body transformace, vlastní zdroj*

č. b.	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta Z$ [m]	oblast
66	-0,002	0,000	-0,004	interiér - 1. NP
83	0,012	0,003	-0,002	interiér - 1. NP
93	-0,008	0,012	0,006	interiér - rotunda
97	0,000	0,010	-0,001	interiér - rotunda
108	0,002	-0,004	0,013	interiér - rotunda
116	0,002	0,008	0,001	interiér - 2. NP
120	0,004	0,001	0,009	interiér - 2. NP
127	0,006	0,005	0,001	interiér - 2. NP
132	-0,008	0,007	-0,001	interiér - 2. NP
141	0,009	0,011	-0,005	interiér - 3. NP
151	0,006	0,002	-0,009	interiér - nad rotundou
152	-0,001	-0,002	-0,004	interiér - nad rotundou
158	-0,001	0,000	-0,006	interiér - nad rotundou
164	0,002	-0,003	0,000	interiér - 4. NP
178	-0,014	0,003	0,008	interiér - 5. NP
185	-0,004	-0,015	0,010	interiér - 5. NP
188	0,016	0,006	0,014	interiér - 5. NP

Při aplikování různých měřických metod se pro dokumentaci exteriéru osvědčilo použití fotogrammetrie. Na základě provedeného laserového skenování lze porovnat odchylky oproti mračnu bodů z fotogrammetrie pro oblast exteriéru. V horních částech objektu jsou patrné největší rozdíly. V těchto místech dosahují odchylky mračna bodů z laserového skenování hodnot až kolem 5 cm.



obr. č. 73: porovnání mračen bodů; vlastní zdroj

Laserové skenování bylo zvoleno pro zaměření interiéru, protože tato metoda dokáže zachytit všechny podrobnosti a detaily. Při aplikování fotogrammetrie v interiéru by to představovalo mnohem více práce se zachycením tvaru a rozměrů jednotlivých místností.

S přesností, která odpovídá řádově hodnotě do 1 cm, byl vytvořen i prostorový model. Hodnota celkové střední chyby vyrovnání na vlíčovacích bodech dosahovala požadované hodnoty 1,5 cm. Celková odchylka byla ovlivněna zhoršenou identifikací několika vlíčovacích bodů. Tato přesnost byla stanovena v rámci tvorby 2D výstupů pro výsledné měřítko 1:50. U jednotlivých ortofot byla zvolena výsledná velikost pixelu 3 mm, což odpovídá rozlišení daného ortofota. Pro měřítko 1:50 se jedná o přijatelné parametry výstupů.



## 10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření dílčí měřické dokumentace týneckého hradu za účelem ověření určitých hypotéz o stavebních fázích vývoje objektu a rozšíření stávající dokumentace. Práce byla vyhotovena na základě vzájemných konzultací a požadavků ze strany zástupce z řad odborníků na památkovou péči Ing. arch. Jan Veselého z Národního památkového ústavu, Územního odborného pracoviště středních Čech v Praze a doc. Ing. arch. Mileny Hauserové, CSc., členky Ústavu dějin architektury a umění Fakulty architektury ČVUT v Praze, se kterými byly upřesněny výstupy.

Při rekognoscaci na místě měření byly stanoveny vhodné měřické metody pro dosažení požadovaných výstupů. Dalším krokem bylo vybudování prostorové geodetické sítě bodů v okolí zájmového objektu a tvorba bodového pole v jeho interiéru. Bodové pole v exteriéru bylo zaměřeno technologií GNSS. Při následném měření polární metodou došlo k zaměření vlíčovacích a identických bodů. Vlícovací body na plášti objektu byly použity pro tvorbu hustého mračka a 3D modelu z fotogrammetrie. Identické body v interiéru objektu byly využity pro shodnostní transformaci mračen bodů do systémů JTSK a Bpv. Z 3D modelu byla následně vytvořena jednotlivá ortofota v měřítku 1:50, která dokumentují části hradu.

Výsledkem této práce je soubor 2D a 3D výstupů. Pro exteriér se jedná o husté mračno bodů, 3D model a ortofota pláště objektu. Pro interiéru se jedná o zpracovaná mračna bodů z laserového skenování. Dále pak různé vodorovné a svislé řezy, které byly vedeny na základě konzultací s docentkou Hauserovou v zájmových místech hradu. Součástí je i srovnání s předchozí historickou dokumentací hradu z let 1949 a 1974, která byla naskenována do digitální podoby pro následné porovnání s tou aktuálně vzniklou.

V textu diplomové práce je popsán postup měřických prací, použití jednotlivých softwarů, postupy zpracování naměřených dat až po vytváření výstupů v jednotlivých softwarech.

Měřické práce probíhaly v období od 23. 01. do 22. 03. 2023.

Celková doba strávená terénními pracemi pro účely diplomové práce činila 45 hodin.

# 11 Seznam zdrojové literatury

- [1] *Město Týnec nad Sázavou* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.mestoty nec.cz>
- [2] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [3] *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://nahlizeniidokn.cuzk.cz>
- [4] *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec>
- [5] *Týnec nad Sázavou* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Týnec\\_nad\\_Sázavou](https://cs.wikipedia.org/wiki/Týnec_nad_Sázavou)
- [6] *Hrad Týnec* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.hradty nec.cz>
- [7] POVOLNÝ, Daniel, Vladimír SOUČEK a Radomír ZAVADIL. *František Janeček: motocyklový král: příběh muže, který dal vzniknout motocyklům Jawa*. Praha: Mladá fronta, 2011. ISBN 978-80-204-2327-6.
- [8] *Ing. František Janeček* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.jawa-50.cz/clanek/biografie-ing-frantisek-janecek.html>
- [9] *Archizone.cz* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <http://www.archizone.cz>
- [10] *Národní památkový ústav - Památkový katalog* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz>
- [11] *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.npu.cz>
- [12] *Geodetické výpočty – 1. část* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.spszem.cz>
- [13] *Geodézie 3 (154GD3)* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3\\_pred\\_2.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3_pred_2.pdf)
- [14] *Moderní přístrojová technika, Vybrané kapitoly: GNSS* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf>
- [15] KOSTELECKÝ, Jakub. *Globální polohové souřadnicové systémy*. V Praze: České vysoké učení technické, 2019. ISBN 9788001065716.
- [16] *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.caa.cz>
- [17] *Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat* [online]. Dr. Ing. Karel Pavelka [cit. 2023-5-29].
- [18] PAVELKA, Karel a Jindřich HODAČ. *Fotogrammetrie 3: Digitální metody a laserové skenování*. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [19] *Laserové skenování, 1. přednáška (154LSK)* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/~kremen>

- [20] *Geoserver.cz* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.geoserver.cz>
- [21] *Versura, s.r.o.* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://pujcovnystroju.cz>
- [22] *DronPro, s.r.o.* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://dronpro.cz>
- [23] *Geoobchod, s.r.o.* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.geoobchod.cz>
- [24] *Adjust Solutions* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <http://adjustsolutions.cz/easynet>
- [25] *GEPRO spol. s r.o.* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.gepro.cz>
- [26] *Gefos a.s.* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz>
- [27] *Agisoft Metashape* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.agisoft.cz>
- [28] *CloudCompare* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.danielgm.net/cc>
- [29] *Projekt XYZTrans* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/XYZTrans/index.html>
- [30] *Bentley Systems* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.bentley.com/cs>
- [31] *UAV Forecast* [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.uavforecast.com>
- [32] *Věž rotundy v Týnci nad Sázavou. Turm der Rotunde in Týnec nad Sázavou. Dějiny staveb 2002* [online]. Jiří Varhaník [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://www.academia.edu>
- [33] ZÍMA, M. *Ulice Havelská (Praha 1) – měřická dokumentace podloubí domů č. p. 504–512*. Diplomová práce, ČVUT, FSv, 2021 [online]. [cit. 2023-5-29]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/21391>

## 12 Seznam obrázků

obr. č. 1: týnecký hrad	10
obr. č. 2, 3: výřez mapy s detailem Týnce nad Sázavou	12
obr. č. 4: pohled z věže hradu na Týnec nad Sázavou, pravý břeh Sázavy	13
obr. č. 5: pohled z věže hradu na Tejnici, levý břeh Sázavy	13
obr. č. 6: pohled z věže hradu na meandr řeky	14
obr. č. 7: hrad a kulturní dům, pohled od západu	14
obr. č. 8: rotunda a věž, pohled od jihu	15
obr. č. 9: mapa Týnce z roku 1840 (dle katastrální mapy)	16
obr. č. 10: Ing. František Janeček	17
obr. č. 11: týnecký hrad nad meandrem řeky	18
obr. č. 12: katastrální mapa + ortofoto, areál týneckého hradu	19
obr. č. 13: hrad a městské muzeum, v pozadí kostel a kulturní dům	20
obr. č. 14: detail rotundy se zazděným oknem	21
obr. č. 15: vymezení pásma kulturních památek v Týnci, podklad evidence NPÚ	22
obr. č. 16: kulturní památka hrad s rotundou, podklad evidence NPÚ	23
obr. č. 17: princip směrníku v S-JTSK	25
obr. č. 18: schema měření metodou RTK	27
obr. č. 19: síť permanentních stanic České republiky (CZEPOS)	28
obr. č. 20: přehled práv a povinností při létání v otevřené kategorii	30
obr. č. 21: doklad o absolvování online výcviku pro podkategorii A1 a A3	31
obr. č. 22: letecká fotogrammetrie z dronu, histogram snímku	34
obr. č. 23: porovnání selektivního a neselektivního měření na fasádě domu	35
obr. č. 24: princip měření polárního skeneru v pravidelné síti bodů	36
obr. č. 25: skenovací systém panoramatický	37
obr. č. 26: dvojitý odraz při skenování objektu	38
obr. č. 27: GNSS přijímač Topcon GR-3	39
obr. č. 28: nivelační přístroj Topcon AT-G3, technická nivelace	40
obr. č. 29: robotická totální stanice Topcon GPT-9003A	41
obr. č. 30: totální stanice na stanovisku při měření VB	41
obr. č. 31: dron DJI Mavic Mini	42
obr. č. 32, 33: skener Leica BLK360	43
obr. č. 34: prostředí programu EasyNET	44
obr. č. 35: prostředí programu Kokeš	45
obr. č. 36: prostředí programu Leica Cyclone REGISTER 360	45

obr. č. 37: prostředí programu Agisoft Metashape.....	46
obr. č. 38: prostředí programu CloudCompare.....	46
obr. č. 39: prostředí programu XYZTrans.....	47
obr. č. 40: schema měřické sítě v exteriéru, podklad katastrální mapa.....	49
obr. č. 41: tvorba bodového pole v interiéru.....	50
obr. č. 42: schema měřické sítě v 1. NP hradu.....	50
obr. č. 43, 44: dům U Micků, detail nivelačního bodu Ib18-35.....	51
obr. č. 45: ukázka volby VB.....	51
obr. č. 46: výřez základní mapy ČR + výškové bodové pole.....	52
obr. č. 47: předpověď počasí v UAV Forecast.....	53
obr. č. 48: zóny s omezeným létáním v UAV Forecast.....	54
obr. č. 49: ukázka létání s dronem na hradě.....	54
obr. č. 50: kontrola napojení skenů v terénu.....	55
obr. č. 51: ukázka skenování na hradě.....	55
obr. č. 52: schema geodetické sítě.....	56
obr. č. 53, 54: manuální registrace dvou mračen bodů.....	57
obr. č. 55: funkce segment pro ořezání mračna.....	58
obr. č. 56: očištěná mračna bodů hradního interiéru.....	59
obr. č. 57: pozice snímkování hradu.....	60
obr. č. 58: nastavení hustého mračna.....	61
obr. č. 59, 60: husté mračno před a po očištění.....	61
obr. č. 61: nastavení sítě modelu.....	62
obr. č. 62: prostorový model z fotogrammetrie.....	62
obr. č. 63: ortofoto západní stěny hradní věže.....	63
obr. č. 64: ortofoto rozvinutého pláště kaple.....	64
obr. č. 65, 66: ortofoto a 3D model bez textury v detailu, zadržané otvory věže, pohled od západu.....	65
obr. č. 67: výškové úrovně rotundy.....	65
obr. č. 68: svislý řez rotundou.....	66
obr. č. 69, 70: vodorovné řezy rotundou.....	66
obr. č. 71: vodorovné řezy ve všech podlažích hradu.....	67
obr. č. 72: přesnost registrace skenů.....	69
obr. č. 73: porovnání mračen bodů.....	71

## 13 Seznam tabulek

tabulka č. 1: dělení nivelačních přístrojů dle přesnosti.....	26
tabulka č. 2: přesnost měření GNSS přijímačem, parametry od výrobce.....	39
tabulka č. 3: vyrovnané souřadnice prostorové sítě s přesnostmi.....	68
tabulka č. 4: porovnání dvojího zaměření vlčovacích bodů.....	69
tabulka č. 5: kontrolní identické body transformace.....	70

## 14 Seznam příloh

### **Tištěné přílohy – ve formátu PDF**

- **dílčí měřická dokumentace (výkresy)**
  - 1) ortofota věže v 1:50
  - 2) ortofota rotundy v 1:50
- **řezy mračnem bodů pro badatelské účely (obrázky)**
  - 1) vodorovné řezy všech podlaží hradu
  - 2) svislé řezy rotundy a věže
  - 3) vodorovné řezy části rotundy

### **Elektronické přílohy – ve formátu DGN, DWG**

- **dílčí měřická dokumentace (výkresy)**
  - 1) ortofota věže v 1:50
  - 2) ortofota rotundy v 1:50
- **řezy mračnem bodů pro badatelské účely (obrázky)**
  - 1) vodorovné řezy všech podlaží hradu
  - 2) svislé řezy rotundy a věže
  - 3) vodorovné řezy části rotundy
  - 4) vodorovný řez 1. NP současné a historické dokumentace (porovnání)

### **Elektronické přílohy – ostatní výstupy**

- 1) detailní porovnání zazděných otvorů věže (ortofoto a model) (PDF)
- 2) porovnání mračen bodů v exteriéru (PNG)
- 3) mračna bodů interiéru objektu ze skenování (E57)
- 4) husté mračno exteriéru objektu z fotogrammetrie (E57)
- 5) prostorový model exteriéru objektu z fotogrammetrie (PLY)
- 6) naskenovaná historická dokumentace hradu z let 1949 a 1974 (JPEG)

## **Elektronické přílohy – informace o měření a zpracování (PDF)**

- 1) protokol o měření GNSS
- 2) zápisník měření totální stanicí
- 3) náčrty stanovisek měřické sítě (exteriér i interiér)
- 4) nivelační údaje
- 5) protokol o registraci mračen
- 6) protokol o vyrovnání geodetické sítě v EasyNETu
- 7) seznam vyrovnaných souřadnic YXZ (stanoviska a podrobné body)
- 8) projekt z Agisoft Metashape (PSX)
- 9) použité originální snímky pro fotogrammetrii (JPEG)
- 10) protokol o tvorbě 3D modelu z fotogrammetrie
- 11) protokol o shodnostní transformaci mračen skenování