

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

PASPORTIZACE STAVEBNÍHO OBJEKTU S VYUŽITÍM MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ

DIGITIZATION OF A BUILDING STRUCTURE USING MODERN TECHNOLOGIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Aleš Kalčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. David Bečkovský, Ph.D.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav pozemního stavitelství
Student:	Bc. Aleš Kalčík
Vedoucí práce:	doc. Ing. David Bečkovský Ph.D.
Akademický rok:	2025/26
Studijní program:	N0732A260023 Stavební inženýrství – pozemní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Pasportizace stavebního objektu s využitím moderních technologií

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Experimentálně-analytická diplomová práce zaměřená na využití moderních digitálních technologií při pasportizaci stavebních objektů. Student provede literární rešerši současných metod pasportizace, popíše tradiční i moderní přístupy k měření a dokumentaci staveb a prakticky otestuje vybrané technologie (např. 360° kameru Insta360 One, robotického psa Unitree Go2, mobilní aplikace a běžné metrologické přístroje). Práce bude člena v souladu se směrnicí děkana č. 4/2019 a jejími dodatky. Textová část bude zpracována pomocí PC v textovém editoru, grafické výstupy a výkresy budou zpracovány v CAD softwaru a opatřeny předepsaným popisovým polem. Všechny použité zdroje budou řádně citovány dle ČSN ISO 690.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem diplomové práce je provést pasportizaci vybraného stavebního objektu nebo jeho části s využitím moderních technologií. Práce se zaměří na analýzu přínosů a omezení digitálních nástrojů (360° kamery, robotické platformy, mobilní zařízení) ve srovnání s tradičními metrologickými metodami (např. laserový dálkoměr, metr, digitální teodolit). Výstupem bude zhodnocení efektivity, přesnosti a časové i ekonomické náročnosti použitých postupů a návrh doporučení pro jejich aplikaci v praxi inženýra pozemních staveb.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Směrnice děkana č. 4/2019 s dodatky a přílohami, nový stavební zákon č. 283/2021 Sb. v platném a účinném znění, stavební zákon č. 183/2006 Sb. v platném a účinném znění, vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb, vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, vyhláška č. 398/2009 Sb. o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb, platné normy ČSN a EN, odborná literatura a vědecké články zaměřené na pasportizaci staveb a digitální technologie ve stavebnictví, katalogy a technická dokumentace výrobců měřicích a digitálních zařízení (Insta360, Unitree, Leica aj.), vlastní výstupy z pasportizace stavebního objektu, ČSN ISO 690.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2025

L. S.

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
vedoucí ústavu

doc. Ing. David Bečkovský, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zaměřením části stavebního objektu, což představuje jednu z klíčových etap pasportizace stavebních objektů. Cílem práce je najít a porovnat vybrané tradiční i moderní metody měření z hlediska časové náročnosti, přesnosti, objemu vznikajících dat, počtu použitého softwaru a přibližné ceny. Teoretická část shrnuje současný stav poznání v oblasti pasportizace staveb, metod zaměření a moderních trendů, jako jsou digitalizace, BIM, umělá inteligence a rozšířená realita. Praktická část je zaměřena na experimentální porovnání metody křížových měř, fotogrammetrie a laserového skenování při zaměření části rodinného domu. Součástí práce je rovněž ověření metody Gaussian Splatting, která však vzhledem k neuspokojivé kvalitě výstupu nebyla zahrnuta do následného porovnání metod. Laserové skenování je následně dále ověřeno při zaměření složitějších stavebních prvků s využitím odlišného technického vybavení, včetně zařízení podporujícího technologii RTK. Získaná data jsou dále zpracována v prostředí BIM softwaru a práce se rovněž zabývá dalšími možnostmi využití pořízených dat pro účely fotodokumentace a videodokumentace včetně virtuální reality.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pasportizace staveb, porovnání metod měření, metoda křížových měř, fotogrammetrie, laserové skenování, virtuální realita

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the surveying of a part of a building structure, which represents one of the key stages of building documentation. The aim of the thesis is to find and compare selected traditional and modern measurement methods in terms of time consumption, accuracy, volume of generated data, number of software tools used, and approximate cost. The theoretical part summarizes the current state of knowledge in the field of building documentation, surveying methods, and modern trends such as digitalization, BIM, artificial intelligence, and augmented reality. The practical part focuses on an experimental comparison of the cross-measurement method, photogrammetry, and laser scanning in the surveying of a part of a family house. The thesis also includes the verification of the Gaussian Splatting method, which, however, due to the unsatisfactory quality of the output, was not included in the subsequent comparison of methods. Laser scanning is subsequently further verified in the surveying of more complex building elements using different technical equipment, including devices supporting RTK technology. The acquired data are further processed in a BIM software environment, and the thesis also deals with further possibilities of using the acquired data for photodocumentation and videodocumentation purposes, including virtual reality.

KEYWORDS

Building passportization, comparison of measurement methods, cross-measurement method, photogrammetry, laser scanning, virtual reality

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALČÍK, Aleš. *Pasportizace stavebního objektu s využitím moderních technologií*. Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí doc. Ing. David Bečkovský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Pasportizace stavebního objektu s využitím moderních technologií* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2026

Bc. Aleš Kalčík

Autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Pasportizace stavebního objektu s využitím moderních technologií* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2026

Bc. Aleš Kalčík

Autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Největší poděkování patří doc. Ing. Davidu Bečkovskému, Ph.D., za cenné rady, věnovaný čas, poskytnuté možnosti a přátelský přístup nejen při vedení diplomové práce, ale i v průběhu celého studia. Práce mi nakonec dala více, než jsem na jejím začátku očekával a v průběhu zpracování si uvědomoval.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Vystrčilovi, Ph.D., za odborné rady a Ing. Bohumilu Michalíkovi ze společnosti G4D za poskytnuté vybavení pro vypracování části diplomové práce.

Velké poděkování patří také mé rodině a přítelkyni za podporu po celou dobu studia. V neposlední řadě děkuji všem pedagogům, se kterými jsem se mohl během studia na fakultě setkat.

V Brně dne 15. 1. 2026

Bc. Aleš Kalčík

Autor práce

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....	13
2.1	Pasportizace	13
2.1.1	Terminologie.....	13
2.1.2	Historie a současnost	14
2.1.3	Legislativa.....	17
2.1.4	Typy pasportů	20
2.1.5	Úroveň detailu pasportizace.....	21
2.2	Trendy a moderní přístupy stavebnictví	21
2.2.1	Digitalizace	21
2.2.2	BIM.....	22
2.2.3	AI.....	25
2.2.4	Rozšířená realita (XR)	27
2.3	Zaměření stávajícího stavu	28
2.3.1	Metoda křížových měř	29
2.3.2	Fotogrammetrie.....	32
2.3.3	Laserové skenování.....	36
2.3.4	Gaussian Splatting	40
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	43
3.1	Zaměření stávajícího objektu	44
3.1.1	Popis zaměřovaného místa.....	44
3.1.2	Zaměření metodou křížových měř	47
3.1.3	Zaměření metodou fotogrammetrie	52
3.1.4	Zaměření metodou laserového skenování.....	69
3.1.5	Zaměření metodou Gaussian Splatting	74
3.1.6	Porovnání jednotlivých metod měření	80
3.2	Další využití laserového skenování.....	94
3.3	Fotodokumentace	100
3.3.1	Videodokumentace	100
3.3.2	Zobrazení ve VR – Gaussian Splatting.....	101

3.3.3	Zobrazení ve VR - mesh	103
3.3.4	Vyhodnocení	105
4	ZÁVĚR.....	106
5	ZDROJE.....	108
6	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	116
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....	120
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	122

1 ÚVOD

Pasportizace stavebních objektů představuje důležitý podklad pro správu objektů i další fáze projektové přípravy. Jejím základním předpokladem je přesné a spolehlivé zaměření stávajícího stavu. Tradiční metody měření jsou v tomto ohledu dlouhodobě ověřené, avšak současný technologický rozvoj přináší nové možnosti, které mohou proces sběru dat významně zefektivnit a urychlit.

V praxi se proto stále častěji uplatňují moderní nástroje, jako jsou 360° kamery, mobilní zařízení s integrovanými senzory či specializované aplikace pro prostorovou dokumentaci. Tyto technologie umožňují rychlé a komplexní zachycení prostoru a nabízejí další využití dat například pro fotodokumentaci nebo videodokumentaci. Jejich přesnost a omezení jsou však závislé na konkrétním způsobu použití.

Cílem této diplomové práce je provést pasportizaci vybrané části stavebního objektu s využitím tradičních i moderních metod zaměření a tyto postupy vzájemně porovnat. Hodnoceny jsou metoda křížových měř, fotogrammetrie realizovaná pomocí 360° kamery, mobilní laserové skenování s využitím mobilního telefonu a tabletu a metoda Gaussian Splatting, a to z hlediska časové náročnosti, přesnosti, objemu dat, počtu použitých softwarových nástrojů a přibližné finanční náročnosti.

Experimentální část práce je provedena na části půdorysu rodinného domu, která slouží jako reprezentativní modelový příklad. Na základě výsledků porovnání je následně vybraná nejvhodnější alternativní metoda dále ověřena při zaměření složitějších stavebních prvků s využitím odlišného technického vybavení, včetně zařízení podporujícího technologii RTK.

Součástí práce je rovněž posouzení možností dalšího využití pořízených dat nad rámec samotného zaměření, a to v oblasti fotodokumentace, videodokumentace a prezentace ve virtuální realitě. Výsledkem je zhodnocení přínosů a omezení jednotlivých přístupů a návrh doporučení pro jejich praktické použití.

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

2.1 Pasportizace

Pasportizace slouží k získání pasportu, tedy souhrnu podrobných informací o budovách a pozemcích, jejich evidenci a skutečném stavu. Součástí je i výkresová dokumentace a přehledně zpracovaná data v tabulkovém editoru. Mnohdy může obsahovat i fotografie interiérů, exteriérů a digitální videozáznam. Výsledkem tohoto procesu je pasport – dokument obsahující informace o vybavenosti, technických parametrech, aktuálním stavu a způsobu využití daného objektu. [2]

2.1.1 Terminologie

V souvislosti s pasportizací se často používají pojmy, jejichž význam nemusí být na první pohled zcela jasný. Proto je důležité nejprve vysvětlit základní terminologii. Vytváření rozdílů pomůže vytvořit základ pro další kapitoly této práce.

Podle Šmahela [6] bývají často nesprávně chápány nebo zaměňovány pojmy „*pasport*“ a „*pasportizace*“, které je proto důležité správně rozlišovat.

Pasport

Pasport je v odborné literatuře vymezován různými způsoby. Podle [6] jej lze chápat jako **dokument** shrnující architektonické řešení stavby, údaje o jejím vybavení, technických parametrech, aktuálním stavu a způsobu využití. Svou povahou připomíná jakousi „*kartu stavby*“, která poskytuje souhrnné informace o objektu.

V návaznosti na to literatura [4] řadí pasport mezi základní dokumenty využívané při správě a údržbě majetku. Vyzdvihuje jeho význam ke zvyšování užitné i tržní hodnoty stavebních objektů a dokládá, že s nimi bylo nakládáno odborně. Umožňuje také ověřit investované prostředky na opravy a údržbu na základě dostupné dokumentace. Jedná se o komplexní soubor ověřených údajů o aktuálním stavebně-technickém stavu budovy, který zahrnuje informace o konstrukčních prvcích, instalacích i přípojkách inženýrských sítí. Data shromážděná v pasportu poskytují ucelený přehled o stavu a provozu objektu.

Pasportizace

Pasportizace představuje **proces**, jehož podstatou je sjednocené zpracování technické dokumentace. Při správě nemovitostí tak funguje jako podrobný přehled o jejich struktuře a evidenci. [2]

Obdobně tento pojem vymezuje i Česelský [3], který pasportizaci chápe jako proces, při kterém se technicko-ekonomická dokumentace zpracovává do jednotné soustavy. Součástí je inventarizace skutečného stavu objektů, jejich konstrukčních částí a prvků, stejně jako posouzení míry jejich opotřebení. Jinými slovy jde o zjištění aktuálního stavu budovy a jejích jednotlivých složek.

Podle [9] tedy pasport vzniká jako výstup pasportizace a představuje obsáhlý dokument, který zahrnuje údaje o stavebně-technickém stavu budovy, včetně podrobné evidence dat týkajících se hmotného i nehmotného majetku. Tento soubor informací slouží jako nezbytný podklad pro efektivní správu a provoz daného objektu

Dále je potřeba rozlišovat pojmy **pasport stavby** a **pasport objektu**.

Podle literatury [4] často dochází k zaměňování těchto pojmů. Pasport stavby je zjednodušená dokumentace skutečného provedení stavby, která je definována patřičnou vyhláškou. Naopak pasport objektu vzniká v rámci procesu pasportizace a poskytuje komplexní a aktuální přehled o spravovaném majetku.

2.1.2 Historie a současnost

Historický kontext pasportizace je důležitý proto, abychom mohli lépe porozumět jejímu současnému významu a podobě. Vývoj metod a forem evidence nemovitého majetku odráží proměny společnosti, legislativy i technických možností dané doby. Hlavní milníky ukazují, proč pasportizace vypadá tak, jak ji známe dnes, a jak se z původně jednoduché evidence majetku vyvinul nástroj s širšími technickými a správními funkcemi.

Počátky evidence

Za veřejností nejznámější evidenci lze podle Bumby [5] považovat katastry. Ty byly původně využívány výhradně pro daňové a berní účely. V posledních sto letech však jejich funkce přesáhla tuto oblast a rozšířila se i na hospodářské a technické využití. Vývoj evidence prošel několika významnými etapami – od počátků berních evidencí přes tereziánsko-josefské katastry až po současný moderní katastr nemovitostí.



Obr. 1 Výřez mapy stabilního katastru Napajedel z roku 1829 | obrázek [78]

Z potřeby detailnějšího zaznamenávání technického stavu a charakteristik budov se postupně vyvinula pasportizace, která začala nabývat na významu zejména ve druhé polovině 20. století.

Poválečné období

V textu od Kudy a Beránkové [2] se píše, že požadavek na pasportizaci se objevil v souvislosti s rozsáhlou poválečnou výstavbou obytných domů a velkých průmyslových areálů. Převod nemovitostí do vlastnictví státu umožnil ministerstvům spravovat a vlastnit významnou část bytového fondu. Správa byla zajišťována vlastními nástroji včetně domovníků a domovních bytů. Centralizace správy bytového fondu a rychlý rozvoj panelové výstavby vyvolal potřebu odborné správy nemovitostí a řízení provozu budov. Za tímto účelem byly zřízeny Okresní podniky bytového hospodářství, které vykonávaly správu prostřednictvím vlastních stavebních podniků a administrativních oddělení.

60. – 70. léta 20. století

Podle Kmochové [1] byly zásady jednotné pasportizace domovního a bytového fondu poprvé zavedeny usnesením vlády ČSSR č. 625/1964, s cílem zvýšit hospodárnost oprav. V roce 1970 následovalo usnesení vlády ČSR č. 136, které ukládalo vést systematické vedení a vyhodnocování pasportizace s ohledem na snížení počtu demolic při investiční výstavbě. V roce 1971 pak ministerstvo vnitra ČSR společně s ministerstvem výstavby a techniky publikovaly metodiku s postupy pro vedení a zpracování pasportů domů a bytů určených k modernizaci a kritéria výběru staveb k odstranění. Potřeba aktualizace vyústila v roce 1976 k vydání metodiky zaměřené na evidenci změn technického stavu konstrukčních prvků v pasportech domů, bytů a nebytových prostor.

80. léta 20. století

V důsledku postupných změn v procesu pasportizace byla v roce 1985 vydána zjednodušená metodika pasportizace, která se zaměřila na hlavní konstrukční prvky. Tento systém umožnil vlastníkům a správcům bytového fondu lépe využívat výsledky pasportizace při plánování krátkodobých i dlouhodobých oprav a údržby [3].

21. století

Literatura [8] uvádí, že způsoby i účely pasportizace budov se v průběhu let vyvíjely. Jejich hlavní smysl však zůstává neměnný, a to poskytnout informace o aktuálním stavu objektu a vytvořit tak podklad pro důležitá rozhodnutí, efektivní řízení změn a plánování dalších kroků.

Současnost

Současná éra průmyslu, někdy označovaná jako „*průmysl 4.0*“, je ovlivněna zásadními změnami vyvolanými novými technologiemi. Data a moderní technologie přitom významně přispívají k růstu efektivity lidské práce [16] Tento celosvětový trend se projevuje i v České republice, kde roste důraz na efektivní správu a údržbu staveb. V této souvislosti získává pasportizace stále větší význam, přičemž rychlý rozvoj moderních technologií celý proces významně zpřesňuje a usnadňuje.

2.1.3 Legislativa

Pasportizace staveb je provázána s právními předpisy. I když samotný pojem „pasportizace“ zákony nepoužívají, legislativa v některých oblastech pracuje s povinností mít zpracovaný pasport a zároveň alespoň částečně vymezuje jeho náležitosti. V této kapitole jsou shrnuty předpisy, které mají k pasportům nejbližší vztah.

K 12. září 2025 je v České republice pojem „pasport“ ve stavebnictví upraven především zákonem č. 283/2021 Sb., stavební zákon, a vyhláškou č. 131/2024 Sb. vyhláška o dokumentaci staveb.

Zákon č. 283/2021 Sb. Stavební zákon:

Podle § 156 zákona č. 283/2021 Sb.:

„(2) Dokumentaci jednoduchých staveb uvedených v odstavci 1 písm. c) a e) až p) a odstavci 2 přílohy č. 2 k tomuto zákonu a dokumentaci stávajícího stavu stavby (dále jen „pasport stavby“) může zpracovat též osoba, která má vysokoškolské vzdělání stavebního nebo architektonického směru anebo střední vzdělání stavebního směru s maturitní zkouškou a alespoň 3 roky praxe v projektování staveb.“ [72]

§ 158 specifikuje obsah pasportu stavby takto:

„(3) Dokumentace jednoduchých staveb a pasport stavby obsahují průvodní list, souhrnnou technickou zprávu, situační výkresy a výkresovou dokumentaci. V případě výrobku, který plní funkci stavby, lze příslušné části dokumentace nahradit dokladem podle jiného právního předpisu prokazujícím shodu vlastností výrobku plnícího funkci stavby s požadavky podle § 153, dokumentací výrobce nebo dovozce, popřípadě dalšími doklady, ze kterých je možné ověřit dodržení požadavků na stavby.“

5) Podrobnosti obsahu projektové dokumentace, dokumentace jednoduchých staveb, pasportu stavby a rozsah povinných průzkumů včetně druhu staveb, k jejichž projektové dokumentaci se závěry povinných průzkumů příkládají, stanoví prováděcí právní předpis.“ [72]

§ 167 uvádí, že vlastník stavby a zařízení je povinen:

„**d)** uchovávat po celou dobu trvání stavby ověřenou projektovou dokumentaci, dokumentaci pro provádění stavby, dokumentaci stavby, došlo-li k odchylce od dokumentace pro povolení stavby, popřípadě dokumentaci skutečného provedení stavby, včetně její geodetické části, nebo pasport stavby, rozhodnutí, osvědčení, souhlasy a jiné důležité doklady týkající se stavby nebo zařízení; dokumentaci lze uchovávat i v elektronické formě,“ [72]

Samotný pasport stavby je detailně popsán v § 245, kde:

Pasport stavby

(1) Vlastník stavby je povinen uchovávat po celou dobu trvání stavby ověřenou dokumentaci odpovídající jejímu skutečnému provedení podle vydaných povolení. V případech, kdy se dokumentace nedochovala nebo není v náležitém stavu a stavba byla povolena nebo povolení podle právních předpisů platných při provedení stavby nevyžadovala, je vlastník stavby povinen pořídit pasport stavby.

(2) Nejsou-li zachovány doklady, z nichž by bylo možné zjistit účel, pro který byla stavba povolena, platí, že stavba je určena k účelu, pro který je svým stavebně technickým uspořádáním určena.

(3) Neplní-li vlastník stavby povinnost podle odstavce 1, stavební úřad mu nařídí, aby pořídil pasport stavby. Rozhodnutí o nařízení pořízení pasportu stavby se vydává jako první úkon stavebního úřadu v řízení. Není-li třeba pasport stavby doplnit, změnit nebo jinak přepracovat, stavební úřad jej ověří.“ [72]

Vyhláška č. 131/2024 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb:

V § 9 se píše:

Pasport stavby (K § 158 odst. 3 zákona)

Obsah pasportu stavby je stanoven v příloze č. 11 k této vyhlášce.“

Obsah dokumentace pasportu stavby upravuje příloha č. 11 takto:

„Obsah pasportu stavby

Dokumentace obsahuje části:

A Průvodní list

A.1 Identifikační údaje

A.1.1 Údaje o stavbě

- a) *název stavby,*
- b) *místo stavby - kraj, katastrální území, parcelní čísla pozemků, u budov adresa a čísla popisná, výčet pozemků s právem zákonné služebnosti,*

A.1.2 Údaje o vlastníkovi

- a) *jméno, popřípadě jména a příjmení a bydliště (fyzická osoba) nebo*
- b) *jméno, popřípadě jména a příjmení, obchodní firma, identifikační číslo osoby, bylo-li přiděleno, sídlo (fyzická osoba podnikající, pokud záměr souvisí s její podnikatelskou činností) nebo*
- c) *obchodní firma nebo název, identifikační číslo osoby, bylo-li přiděleno, sídlo (právnícká osoba).*

A.1.3 Údaje o zpracovateli dokumentace

- a) *jméno, popřípadě jména a příjmení, obchodní firma, identifikační číslo osoby, bylo-li přiděleno, sídlo (fyzická osoba podnikající) nebo obchodní firma nebo název, identifikační číslo osoby, bylo-li přiděleno, sídlo (právnícká osoba),*
- b) *jméno, popřípadě jména a příjmení (fyzická osoba),*
- c) *jméno, popřípadě jména a příjmení autorizovaného zeměměřického inženýra včetně čísla položky, pod kterým je veden v rejstříku autorizovaných zeměměřických inženýrů u České komory zeměměřičů.*

A.2 Seznam vstupních podkladů

- a) *základní informace o všech rozhodnutích nebo opatřeních souvisejících se stavbou (označení stavebního úřadu nebo jméno, popřípadě jména a příjmení autorizovaného inspektora, datum vyhotovení a číslo jednací rozhodnutí nebo opatření), pokud se tyto doklady nedochovaly, uvést pravděpodobný rok dokončení stavby,*
- b) *základní informace o dokumentaci, projektové dokumentaci nebo jiné technické dokumentaci (identifikace, datum vydání, identifikační údaje o zhotoviteli dokumentace), pokud se dochovala,*
- c) *další podklady. “ [73]*

2.1.4 Typy pasportů

Prostudovaná literatura [2]; [4]; [9]; [14]; [15] se shoduje na základním členění pasportů do následujících kategorií:

- Prostorový pasport
- Stavební pasport
- Technický pasport
- Technologický pasport

Kromě toho se lze setkat také s dalšími typy, například pasportem zpevněných ploch, zeleně, pozemních komunikací či personálním pasportem. Tyto varianty však nejsou ve všech zdrojích uváděny jednotně.

Prostorový pasport

Podle [2]; [4]; [9]; [14]; [15] představuje souhrnný dokument obsahující popisné i grafické údaje o vnitřních dispozicích staveb, jejich účelu užívání a přilehlých venkovních plochách. Zahrnuje podrobné informace o jednotlivých místnostech a plochách, jejich rozměrech, technických parametrech, způsobu využití a případném vybavení. Součástí mohou být také data z katastru nemovitostí, adresní a geografické údaje či vizualizace, které usnadňují správu, plánování, rekonstrukce nebo pronájem.

Stavební pasport

Stavební pasport je dokument poskytující souhrnné informace o budově, jejích konstrukčních prvcích a technickém stavu. Obsahuje podrobný popis použitých konstrukcí a prvků, včetně jejich uspořádání, rozměrů a umístění, a může zahrnovat také údaje o energetické náročnosti, provedených opravách, historii stavby či právních omezeních. Slouží jako ucelený přehled pro účely správy, údržby, renovace, prodeje nebo pronájmu nemovitosti [2]; [4]; [9]; [14]; [15].

Technický pasport

Podle literatury je [2]; [4]; [9]; [14]; [15] technický pasport dokument shrnující technické parametry stavby a podrobně evidující její konstrukce, systémy a zařízení. Obsahuje údaje o zabudovaných technických systémech a jejich komponentech, doplněné

o informace o jednotlivých zařízeních a jejich provozních údajích. Součástí mohou být i data o bezpečnostních opatřeních, energetické náročnosti, provedených opravách a úpravách. Slouží k přehledné evidenci a poskytuje důležité podklady pro správu, údržbu, rekonstrukce nebo prodej nemovitosti.

Technologický pasport

Technologický pasport představuje dokumentaci vnitřních technologií, technických zařízení a technologických celků budovy. Obsahuje údaje o vybavení, jejich technických parametrech, specifikacích a provozních požadavcích, včetně evidence zařízení, která zajišťují bezpečný a efektivní chod stavby. Může zahrnovat jak tradiční technologie, například dopravní nebo gastro zařízení, tak i moderní systémy typu IT infrastruktury, BMS či IoT. Slouží jako podklad pro správu, údržbu, servis a optimalizaci provozu technologických systémů [2]; [4]; [9]; [14]; [15].

2.1.5 Úroveň detailu pasportizace

Pasportizace může mít podle [14] různou míru podrobnosti – od základního přehledu až po detailní popis stavebních a technických prvků. V praxi by se dle metodiky u majetku veřejné správy měly rozlišovat tyto tři úrovně pasportu: základní (I), střední (II) a vysoká (III), přičemž zvolená úroveň závisí na účelu využití a dostupných finančních a personálních zdrojích. U majetku veřejné správy je často požadován jednotný typ pasportu. Hlavním cílem pasportizace je určení umístění stavebních prvků, vycházející ze sjednocené, aktualizované a digitalizované stavební dokumentaci.

2.2 Trendy a moderní přístupy stavebnictví

2.2.1 Digitalizace

Podle metodiky [15] je v dnešní době typická snaha digitalizovat široké spektrum činností a procesů včetně pasportizace. Digitalizace přitom neznamená jen využívání počítačů či podobných technologií. Převod informací a jejich správy do digitální podoby obvykle vyžaduje změnu zavedených postupů a uložení údajů ve formátu, který je strojově čitelný. Digitalizaci ve stavebnictví se v rámci České republiky v současnosti věnují

nepovinné metodiky Ministerstva průmyslu a obchodu [15] a České agentury pro standardizaci [14].

Podle [16] je digitalizace ve stavebnictví obvykle vnímána jako využívání digitálních technologií k zásadní proměně stavebních procesů. Cílem je zvýšení produktivity a stavební produkce, což vede k lepším výsledkům projektů a vyšší spokojenosti klientů. V posledních letech se do praxe prosadila řada digitálních nástrojů – od BIM a autonomních robotů přes cloudové služby, 3D tisk a internet věcí až po rozšířenou realitu a analýzu velkých dat – které významně posunuly digitalizaci stavebnictví. Tyto technologie mají potenciál zásadně proměnit způsob realizace staveb a výrazně zvýšit jejich efektivitu, i když jejich možnosti zatím nejsou plně využity. Významným příkladem je BIM, který patří k nejrozšířenějším technologiím v oblasti stavebnictví. Díky prohlubování spolupráce mezi účastníky projektu a integraci informací v celém jeho životním cyklu dokáže přinášet nejen ekonomické, ale i sociální a environmentální přínosy.



Obr. 2 Moderní technologie ve stavebnictví 2025 | převzato a upraveno z [79]

2.2.2 BIM

Literatura [30][31] uvádí, že informační modelování staveb (Building Information Modelling – BIM) představuje proces systematické tvorby, využívání a správy dat o stavbě. Podle [32] lze BIM model chápat jako rozsáhlou databázi informací, která pokrývá celý životní cyklus stavby – od návrhu a realizace přes správu a rekonstrukce až po demolici a ekologickou likvidaci. Do této databáze přispívají všichni účastníci stavebního procesu. Častým omylem je ztotožňování BIMu pouze s jeho 3D modelem.

BIM v rámci ČR

V České republice je problematika BIM upravena Konceptí zavádění metody BIM, která byla schválena usnesením vlády č. 682/2017. Na tento dokument navázala aktualizace harmonogramu v roce 2021 a následně i celková aktualizace koncepce v roce 2024. Podle [33] je cílem koncepce vymezit hlavní témata spojená s problematikou BIM a navrhnout postupy a opatření, které umožní její efektivní a široké uplatnění v podmínkách České republiky.

Wernerová ve své knize [33] píše, že využívání metody BIM v České republice je založeno na jasném vymezení informačních požadavků na model stavby, které vycházejí z norem ČSN EN 17412-1 a ČSN EN ISO 19650. Tyto požadavky se liší podle účelu použití modelu, role jednotlivých účastníků projektu a fáze životního cyklu stavby. Základní roli zde hraje datový standard staveb (DSS), který spolu s klasifikačním systémem vytváří jednotnou strukturu informací a umožňuje jejich sdílení mezi různými profesemi a softwarovými nástroji. Díky tomu jsou informace do modelu doplňovány systematicky, často automaticky, a mohou být opakovaně využívány například projektanty, rozpočtáři nebo správci budov. Normy ČSN EN ISO 19650 přitom neslouží jako detailní návod, ale jako rámec základních principů pro řízení informací v BIM projektech.

Norma ČSN EN 17412-1 je v současné době (listopad 2025) nahrazena normou ČSN EN ISO 7817-1.

Zavádění BIM u existujících staveb

Podle [31] je zavádění metody BIM u stávajících staveb časově náročné a závislé na dostupnosti a kvalitě vstupních dat. Proces zahrnuje vyhodnocení a doplnění stávající dokumentace, převod do 3D modelu a definování pasportizačních dat a jejich vložení do CAFM systému. Součástí je průběžná aktualizace dat a následné využívání modelu pro analýzy, simulace a vyhodnocování.

Studie [34] uvádí, že BIM u stávajících budov podporuje široké spektrum činností – od detekce kolizí, kontroly kvality a výpočtů nákladů, výkaz výměr, přes energetické analýzy a správu dat, až po facility management. Do praxe se postupně prosazují také

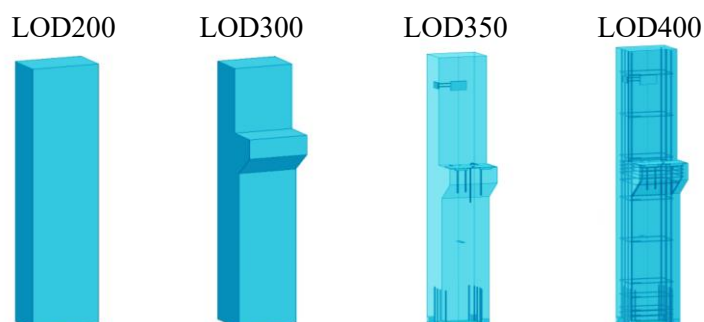
funkce, jako je lokalizace prvků, monitoring výkonu či plánování rekonstrukcí a bezpečnostních scénářů.

Software

Literatura [30] uvádí, že v ČR se nejčastěji používají BIM nástroje jako Revit, ArchiCAD a Allplan, přičemž pro specifické oblasti slouží specializované programy, například Tekla pro ocelové konstrukce či DDS CAD pro technická zařízení budov.

Detail modelu

Podle literatury [35]; [30] je úroveň detailu BIM modelu definována pomocí dvou parametrů – LOD (Level of Development nebo také Level of Definition), který vyjadřuje grafickou podrobnost modelu, a LOI (Level of Information), jenž určuje míru obsažených negrafických informací. Špalek [70] uvádí, že Grafická podrobnost prvků zpravidla nemá zásadní význam. Z důvodu časové náročnosti a zbytečného zatížení modelu se jejich tvar často zjednodušuje.



Obr. 3 Úrovně LOD | převzato a upraveno z [77]

Z hlediska pasportizace staveb má BIM zásadní význam zejména pro systematické ukládání a sdílení informací, které přesahují pouhou geometrickou reprezentaci objektu.

IFC

Industry Foundation Classes (IFC) představuje podle [32]; [36] otevřený a standardizovaný datový formát určený pro výměnu a sdílení informací o stavbě mezi různými softwarovými aplikacemi. Umožňuje propojit jednotlivé profese a usnadňuje spolupráci během celého životního cyklu stavby. Zároveň slouží jako neutrální prostředek pro sdílení

BIM projektů. Je volně dostupný všem výrobcům softwaru. V řadě zemí je legislativně zakotven jako povinný formát.

2.2.3 AI

Umělá inteligence (AI) označuje schopnost technických systémů vykonávat činnosti typicky spojované s lidským myšlením, jako je učení, rozhodování či řešení problémů. Tyto systémy zpracovávají data získaná z okolí a na jejich základě samostatně reagují a přizpůsobují své chování [61].

Počátky umělé inteligence lze spojit s pracemi Alana Turinga. Své myšlenky shrnul v roce 1950 v článku „*Computing Machinery and Intelligence*“, kde představil mimo jiné Turingův test. Samotný termín „*umělá inteligence*“ byl následně zaveden až v roce 1956 na konferenci v USA [62].

Zlomovým momentem ve vývoji umělé inteligence byl rok 2022, kdy byl společností OpenAI pro širokou veřejnost uveden nástroj ChatGPT [64].

Současná podoba

Autoři v článku [65] uvádí, že rozvoj umělé inteligence je úzce spojen se čtvrtou průmyslovou revolucí, která je charakterizována digitalizací, automatizací a využíváním pokročilých technologií ke zvyšování efektivity procesů. Umělá inteligence zde spolu s technologiemi, jako jsou internet věcí či analýza dat, tvoří jeden z klíčových pilířů moderní průmyslové výroby a řízení.

Většina současných systémů umělé inteligence, jako je právě ChatGPT, je založena na velkých jazykových modelech (LLM), které jsou natrénovány na rozsáhlých datech tvořených texty a kódy. Tyto modely na základě zadaného vstupu tzv. „*promptu*“ generují odpověď jako statisticky nejpravděpodobnější pokračování textu. Nejedná se o skutečné porozumění či lidské uvažování, ale o predikci smysluplného výstupu vycházejícího z dříve naučených vzorů [63].

Kučerová v článku [63] píše, že umělá inteligence se obvykle dělí do tří úrovní podle rozsahu svých schopností. Úzká AI (NAI) představuje všechny dnešní prakticky používané systémy, které jsou navrženy k řešení konkrétních úloh, jako je analýza textu,

rozpoznávání obrazu či doporučování obsahu, avšak nedokážou překračovat svou specializaci. Obecná AI (AGI) je zatím teoretickým konceptem a označuje systémy, které by se dokázaly učit a řešit problémy napříč různými oblastmi na úrovni srovnatelné s člověkem. Superinteligence (ASI) pak představuje hypotetickou fázi, v níž by AI výrazně překonala lidské schopnosti ve všech směrech; tato úroveň je zatím předmětem spekulací a odborných debat o bezpečnosti a etice budoucího vývoje.

Využití ve stavebnictví

Přehledové články [66]; [67] uvádí, že umělá inteligence ve stavebnictví nachází uplatnění napříč celým životním cyklem budovy. Významný potenciál má zejména v oblasti architektonického návrhu a vizualizace, predikce a optimalizace vlastností stavebních materiálů, statického návrhu a analýzy konstrukcí, prefabrikace a automatizované výroby, řízení výstavby a monitorování postupu a bezpečnosti. Další aplikace zahrnují provoz a správu chytrých budov a měst, analýzu dat ze stavenišť a senzorových systémů, zvyšování energetické účinnosti, podporu udržitelnosti a řízení stavebního odpadu. Přestože má umělá inteligence ve stavebnictví značný potenciál, její širší nasazení je v současnosti omezeno technickými, organizačními a datovými překážkami.

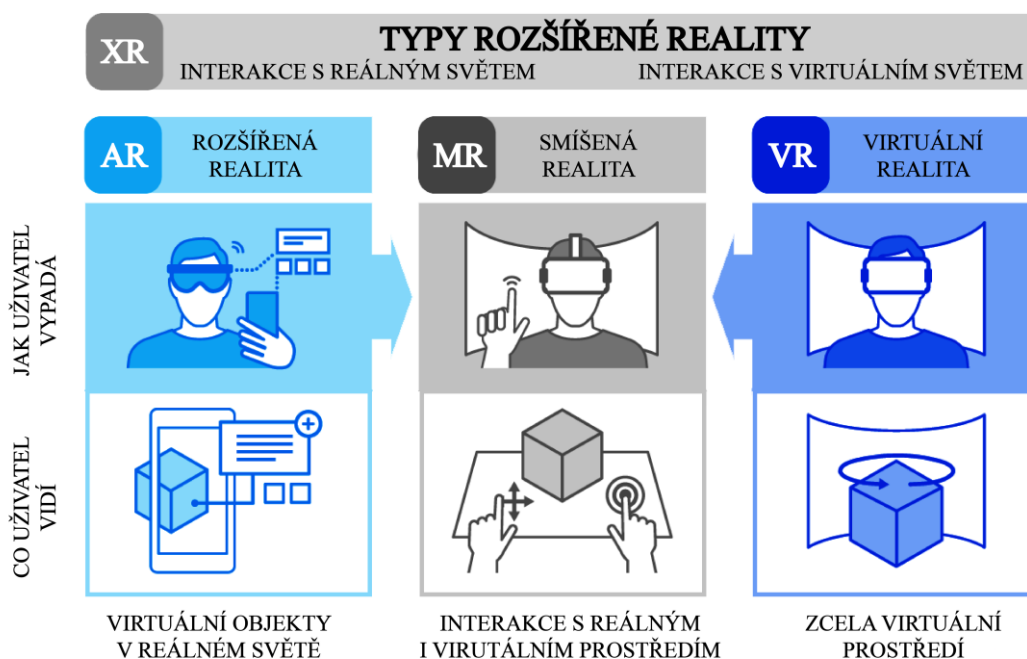


Obr. 4 Zpracování vizualizace s AI | obrázek autor a AI-ChatGPT

2.2.4 Rozšířená realita (XR)

Podle literatury [27] je rozšířená realita rychle se rozvíjející technologie umožňující vizualizaci a interakci s informacemi v reálném i virtuálním prostředí. Zahrnuje:

- **virtuální realitu (VR)** - zcela vtahuje do umělého prostředí a odstiňuje ho od reality, s výjimkou bezpečnostních funkcí, které upozorňují na překážky.
- **rozšířenou realitu (AR)** - kombinuje pohled na skutečný svět s digitálními prvky, které se zobrazují pomocí speciálních brýlí nebo mobilních zařízení.
- **smíšenou realitu (MR)** - propojuje oba přístupy – využívá náhlavní displeje s kamerami, které přenášejí reálný obraz doplněný o počítačovou grafiku, a navíc umožňuje interakci s reálnými i virtuálními objekty pomocí senzorů pohybu či ovladačů. Díky tomu je smíšená realita z uvedených technologií nejvíce provázaná s fyzickým prostředím.



Obr. 5 Typy rozšířené reality | převzato a upraveno z [27]; [75]

Použití

Možnosti využití rozšířené reality ve stavebnictví byly detailně zkoumány v rámci rozsáhlé literární rešerše a následného průzkumu mezi odborníky v USA v článku [28]. Podle něj je možné rozšířenou realitu v rámci stavebnictví použít například k vizualizaci stavebních systémů, virtuálním prohlídkám, detekci kolizí nebo monitorování postupu výstavby. Uplatnění však nachází také při plánování logistiky, bezpečnostních školeních, údržbě stavebních prvků či při rekonstrukcích. Výsledky studie tak ukazují, že potenciál AR pokrývá prakticky všechny fáze životního cyklu stavebního projektu.

2.3 Zaměření stávajícího stavu

Z předchozích kapitol vyplývá, že k vytvoření kvalitního pasportu je nezbytné mimo jiné vlastnit projektovou dokumentaci.

Kos [11] uvádí, že se v praxi často setkáváme se situacemi, kdy stavby, ať už nadzemní či podzemní, nemají žádnou dokumentaci. U historických objektů se původní plány často nedochovaly, zatímco u novějších staveb, například panelových bytových domů, byly projektové i realizační podklady mnohdy skartovány.

Pokud jsou podle literatury [10] k dispozici původní stavební plány nebo dříve zpracovaná dokumentace, lze je po kontrole využít jako výchozí podklad a doplnit o nezaznamenané změny. V mnoha případech však dokumentace chybí nebo je nepřesná, což vyžaduje vytvoření nové dokumentace skutečného stavu objektu.

Stávající stav objektu lze v závislosti na několika faktorech zaměřit pomocí celé řady metod, ať už tradičních či moderních. Tyto přístupy se liší svou přesností, časovou náročností a technologickými požadavky a lze je systematicky rozdělovat podle různých hledisek – například na tradiční a moderní, kontaktní a bezkontaktní, aktivní a pasivní či podle způsobu snímání a zpracování dat [23].

Podrobné a důkladné členění a vysvětlení pojmů by však samo o sobě představovalo téma pro samostatnou práci, proto se následující podkapitoly zaměřují pouze na vybrané metody, které se v praxi využívají nejčastěji anebo budou dále použity v experimentální části této práce.

2.3.1 Metoda křížových měř

Jedná se o nejstarší a technologicky nejjednodušší metodu, která je navzdory svým omezením stále běžně využívána řadou projektantů. Většinou vyžaduje opakované návraty na místo měření a s rostoucí velikostí objektu se tento problém násobí. Metoda také naráží na své technologické limity.

V odborné literatuře nepanuje shoda ohledně názvu této metody. Zatímco Kos a Vlček [10] používají jednotný název metoda křížových měř pro veškeré typy měření, Veselý [13] rozlišuje mezi sebou metodu oměrnou, určenou k měření přímých vzdáleností mezi typickými body stavby a metodu křížových měř, kterou využívá pro zaměřování půdorysných nepravidelností.

Podle Vlčka [10] je možné klasické měření rozdělit v zásadě do tří skupin a to na:

- Zaměření polohopisu
- Vyměření výškopisu
- Zaměření fasády

Princip měření

Metoda křížových měř spočívá v zaměření všech klíčových stavebních konstrukcí a prvků pomocí nejběžnějších nástrojů, jako je svinovací metr, pásmo, laserový dálkoměr aj. Při tomto postupu jsou polohově zaměřeny všechny rohy, kouty, hrany a otvory v místnostech, přičemž tyto měřené hodnoty se doplňují křížovými mírami, aby byla poloha hlavních bodů (rohů a koutů) přesně určena a mohla být následně graficky znázorněna v měřičské dokumentaci. Pokud to dispozice objektu umožňuje, je výhodné provést křížové měření i napříč několika místnostmi, což vede k přesnějšímu propojení jednotlivých prostor. V rámci zakreslování do náčrtu se pro zakótování obvykle používá staničení. U rovných stěn nebo u stěn bez otvorů se rozměry uvádějí podél zobrazené konstrukce [10].

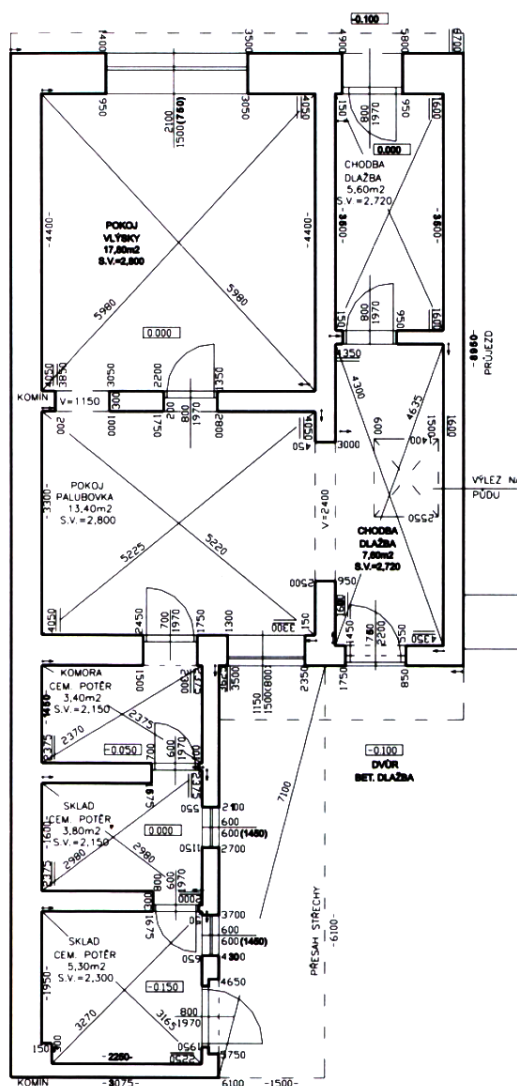
Podle [10] se při měření výškopisu stavebních objektů zpravidla zaměřují vodorovné výškové úrovně v jednotlivých podlažích a místnostech, obvykle přibližně 1 metr

nad úrovní podlahy. Pro zajištění přesného výškového propojení mezi podlažími se ve schodišťových prostorech provádí měření rozdílů mezi jednotlivými měřicími úrovněmi.

Vlček [10] uvádí, že rozměry se u fasádních pohledů při měření určují na základě polohového a výškového zaměření objektu. Pro zpřesnění se jednotlivé prvky a detaily průčelí následně doplňují měřením vodorovných a svislých vzdáleností.

Výstup měření

Výstupem tohoto měření je podle Vlčka a Kose [10] stavební měřičská dokumentace, která zahrnuje pracovní náčrt. Ten slouží jako podklad pro následné vypracování dokumentace stávajícího stavu.



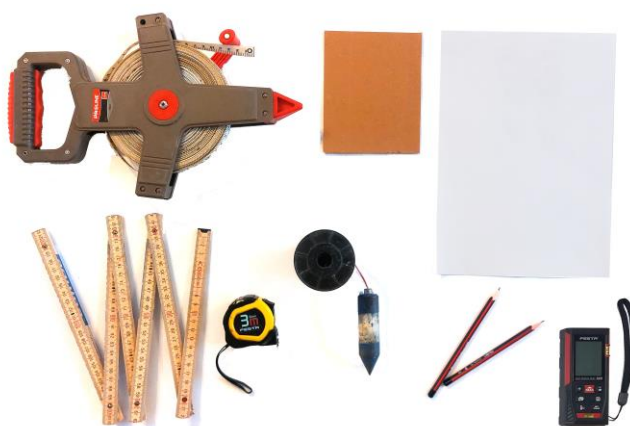
Obr. 6 Pracovní náčrt půdorysu | [10]

Již Kos ve své literatuře [11] z roku 1999 uvádí, že tento postup je náročný, vyžaduje kvalifikované pracovníky a je značně pracný. Tyto limity vedou k hledání alternativních řešení založených na automatizaci stavebního projektování a zavádění moderní výpočetní techniky. V článku [12] se uvádí, že tradiční metoda měření pomocí pásma a latě, i když modernizovaná o laserový dálkoměr, zůstává stále časově náročná a má své limity v přesnosti. Tento přístup navíc často vyžaduje opakované návštěvy stavby a může se stát, že se při měření zapomene změřit nějaká vzdálenost nebo se udělá chyba při odečítání naměřených hodnot, což může vést k následným nesrovnalostem.

Použité vybavení

Podle literatury [10]; [13] patří mezi klasické měřicí pomůcky skládací dřevěný dvoumetr, svinovací pásma o délkách od 2 do 50 metrů, olovnice, nivelační lať nebo teodolit. V praxi se uplatňují také jednodušší prostředky, například trojúhelník či tvrdá kartička přibližně formátu A6, tužka, papír. Z modernějších nástrojů se pak využívají laserové vodováhy a laserové dálkoměry.

Tradiční metody měření lze v současnosti doplnit moderními digitálními prostředky, které zvyšují efektivitu práce v terénu. Typicky jde o využití tabletů místo papírové dokumentace, křížových laserů pro určení rovin a svislostí nebo digitálních laserových dálkoměrů s přenosem dat do mobilních aplikací. V praxi lze využít také řadu dostupných aplikací pro měření a zakreslování, u nichž je však nutné počítat s omezenou přesností.



Obr. 7 Tradiční pomůcky | foto autor

2.3.2 Fotogrammetrie

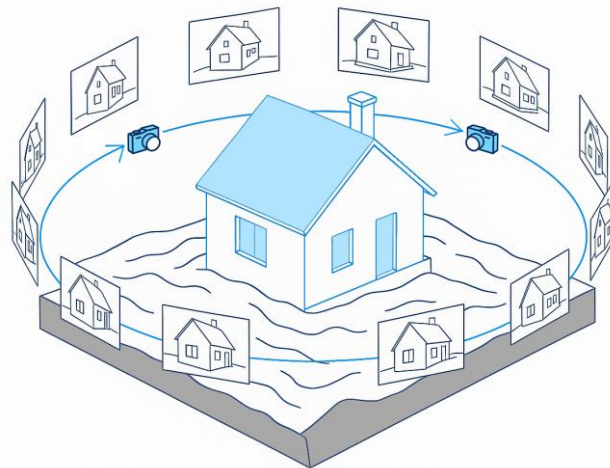
Fotogrammetrie je vědní disciplína, která se zabývá zkoumáním geometrických vlastností, polohy objektů a jejich změn na základě fotografických měřických snímků či jiných obrazových záznamů [17]. Podle autorů textu [18] může být fotogrammetrie definována jako měřická metoda, která umožňuje vytvářet modely trojrozměrného prostoru na základě dvojrozměrných obrazových snímků.

Její matematické a geometrické základy sahají mnohem hlouběji do minulosti než samotný vznik fotografie. Termín „fotogrammetrie“ poprvé použil v roce 1858 Němec A. Meydenbauer, který vycházel z řeckých slov fotos (světlo), gramma (záznam) a metrie (měření). Meydenbauer je také považován za průkopníka fotogrammetrické dokumentace historických staveb. Za zakladatele praktického využití fotografie pro účely měření je pak pokládán Francouz A. Laussedat, který krátce po jejím objevu začal snímky využívat k mapování [17].

Dělení fotogrammetrie podle polohy stanoviště

Pozemní

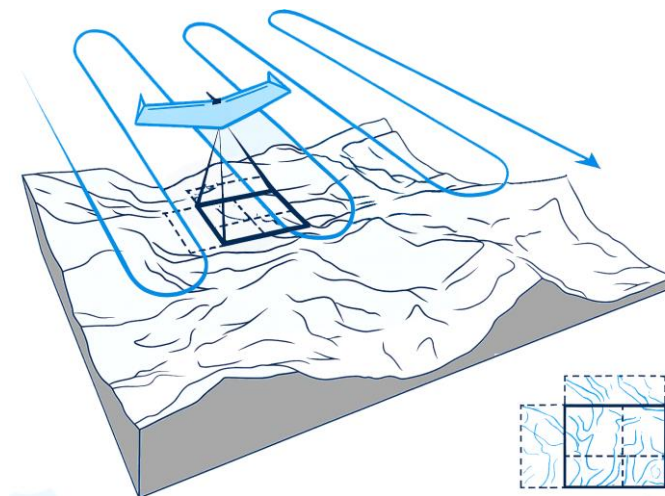
Hodač [19] uvádí, že se u pozemní fotogrammetrie snímky pořizují kamerou umístěnou na stativu nebo drženou přímo v ruce měřiče. V tomto případě jsou možnosti nastavení expozičních parametrů prakticky neomezené. Stanoviště kamery je obvykle pevně umístěno na zemi, což s sebou nese určitá omezení. Nevýhodou této metody je zakrývání jednotlivých měřených objektů, v důsledku čehož snímky často obsahují rozsáhlé nevyhodnotitelné oblasti. Dalším podstatným omezením je klesající přesnost v prostorové složce – čím větší je vzdálenost od objektu, tím rychleji se snižuje přesnost měření. Z tohoto důvodu se pozemní fotogrammetrie uplatňuje především u objektů, které jsou přibližně stejně vzdálené, jako jsou fasády domů, skalní stěny, lomy nebo strmé říční břehy. Dosah této metody může ve výjimečných případech dosáhnout až 500 m, běžně se však pohybuje v řádu desítek metrů.



Obr. 8 Princip pozemní fotogrammetrie | obrázek autor

Letecká

Letecká fotogrammetrie podle [20]; [13]; [19] využívá snímky pořízené z letadel, vrtulníků nebo dálkově řízených bezpilotních prostředků či balonů. Nastavení expozičních parametrů kamery je omezené vzhledem k pohybu nosiče. Tato metoda umožňuje zachytit výrazně větší plochu než pozemní fotogrammetrie, její nevýhodou je však obtížné určení přesné prostorové polohy snímku v okamžiku jeho pořízení, což komplikuje následné zpracování. Jelikož se většinou pořizují téměř kolmé záběry, vzdálenost mezi kamerou a objekty je přibližně stejná, a tím je i přesnost vyhodnocení relativně vyrovnaná. V současnosti je navíc standardem využívání technologií GPS/INS, které umožňují určovat prvky vnější orientace snímků již během letu.



Obr. 9 Princip letecké fotogrammetrie | převzato a upraveno z [76]

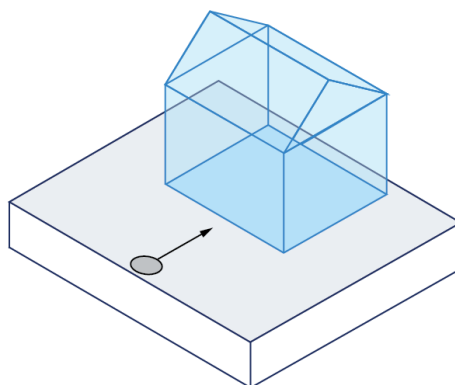
Dělení fotogrammetrie podle počtu snímků

Jednosnímková

Jednosnímková fotogrammetrie představuje základní metodu, jejímž principem je práce s jednotlivými snímky. Protože z jednoho záběru lze získat pouze rovinná data, je tato technika využitelná pro objekty, které jsou rovinné nebo se rovině blíží [20]; [13]; [19].

Podle Veselého [13] se pořízený snímek ideálně co nejvíce přibližuje pravoúhlému průmětu, tedy nárysu sledované plochy.

Výsledkem tohoto postupu bývá fotoplán, tedy přepracovaný snímek s 2D dimenzí, jenž se v praxi uplatňuje zejména při dokumentaci rovinných objektů, jako jsou méně členité fasády budov [19]; [20].

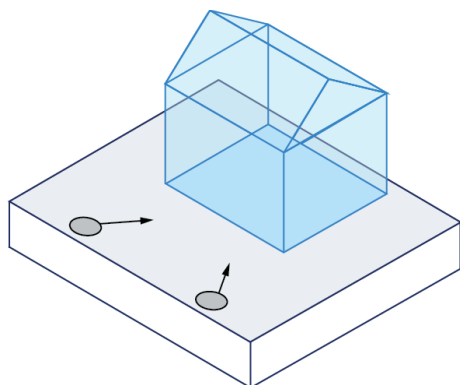


Obr. 10 Princip jednosnímkové fotogrammetrie | obrázek autor

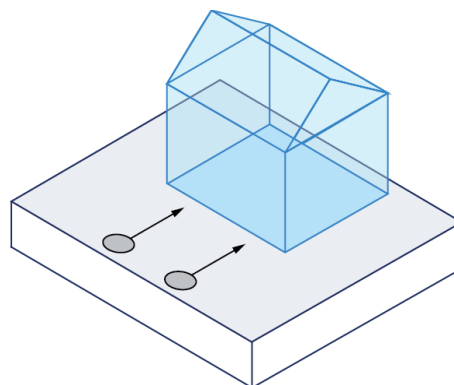
Vícesnímková

Vícesnímková fotogrammetrie umožňuje trojrozměrné zpracování objektů, přičemž je nutné použít alespoň dva snímky s částečným překryvem. Zatímco z jednoho snímku lze získat pouze dvojrozměrné souřadnice, kombinací souřadnic téhož objektu z více snímků je možné určit jeho prostorovou polohu. Při tomto postupu rozlišujeme několik variant – pokud mají snímky přibližně rovnoběžné osy záběru, jedná se o stereofotogrammetrii, zatímco při sbíhání os se uplatňuje metoda prostorového protínání, označovaná též jako průseková fotogrammetrie [20].

Ještě donedávna byla nejrozšířenější právě stereofotogrammetrie, vycházející z principu prostorového vidění lidského oka. V současnosti se však častěji využívají postupy prostorového protínání a obrazové korelace (IBMR), které umožňují pracovat s větším počtem snímků. Moderní softwarové nástroje navíc dokážou ze série vhodně pořízených snímků automaticky generovat velmi přesný trojrozměrný model daného objektu [13].



Obr. 11 Princip vícesnímkové fotogrammetrie – průřeková | obrázek autor



Obr. 12 Princip vícesnímkové fotogrammetrie – stereo | obrázek autor

Výstup měření

Podle prostudované literatury, včetně zdroje [29], je primárním výstupem fotogrammetrie, obdobně jako u laserového skenování, mračno bodů. To je podrobněji popsáno v kapitole Výstup měření na straně 39



Obr. 13 Mračno bodů (krovová výseč) pořízené fotogrammetrickou metodou | obrázek autor

2.3.3 Laserové skenování

Laserové skenování také známé pod zkratkou LiDAR [50] patří podle literatury [13]; [17]; [21]; [22] mezi moderní metody sběru informací o objektech, jehož podstatou je automatické, aktivní a bezkontaktní získávání prostorových souřadnic.

Metoda se vyznačuje vysokou rychlostí, přesností a schopností komplexního záznamu i složitých stavebních konstrukcí, interiérů či podzemních prostor [17]; [22].

3D skenování nachází široké uplatnění v praxi, a to zejména při dokumentaci složitých objektů a těžko přístupných míst, například krovů nebo podzemních prostor. Stále častěji se využívá také při dokumentaci kulturních památek, kde je většinou přijímáno jako moderní a efektivní způsob prezentace kulturního dědictví [17]; [21].

Dělení skenerů podle situace na stanovisku

Statické

Dle autorů [26] je při statickém skenování laserový skener umístěn na stativu, ze kterého poté z pevné polohy zaznamenává okolní prostředí z různých stanovišť. Tato metoda se využívá pro detailní měření stavebních objektů a situace na staveništi. Díky vysokému rozlišení a přesnosti je statické skenování vhodné zejména pro snímání menších ploch a detailů.



Obr. 14 Statický skener– FARO Focus Premium | [80]

Kinematické

Kinematická metoda je mladší a rychle se rozvíjející přístup oproti statickému skenování. Její rozvoj umožnil nárůst výpočetního výkonu a miniaturizace počítačů. Při měření se skener pohybuje, a proto je nutné přesně sledovat jeho polohu a orientaci, k čemuž slouží kombinace údajů z radaru, IMU a často i GNSS (SLAM). Díky tomu lze určit souřadnice bodů i za pohybu přístroje. Metoda je však výrazně náročnější na výpočetní výkon. Patří sem i mobilní mapovací systémy využívané v letectví, na vozidlech či lodích. [12]; [17]. Podle [26] lze mobilní laserové skenery využívat nejen na vozidlech či letadlech, ale také je možné je umístit na drony, batohy nebo je používat v ruční podobě.



Obr. 15 Kinematický skener – Leica BLK2Go | [81]

Dělení podle principu měření

Metoda měření času letu (Time of Flight, ToF)

Podle [24] dálkoměr pracující na principu „*time of flight*“ (ToF) vysílá krátký laserový impuls směrem k cíli a zaznamenává okamžik jeho vyslání i čas, kdy se odražený paprsek vrátí zpět. Na základě rozdílu těchto časů lze vypočítat vzdálenost D mezi senzorem a cílem pomocí vztahu:

$$D = \frac{c \times \Delta t}{2} \quad (1.1)$$

kde c představuje rychlost světla a Δt časový rozdíl mezi vyslaným a přijatým signálem. Přesnost měření závisí na kvalitě časového záznamu a detekci odraženého signálu.

Metoda fázového posunu

Literatura [24] uvádí, že alternativou k měření vzdálenosti metodou ToF je využití amplitudově modulovaného spojitého laserového paprsku. V tomto případě se dráha

paprsku určuje podle fázového rozdílu mezi referenčním a odraženým signálem. Vzdálenost D mezi přístrojem a cílem lze vyjádřit vztahem:

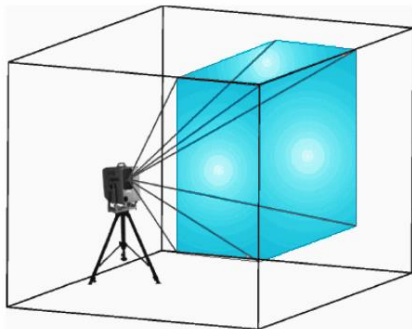
$$D = \frac{c}{2f} \times \frac{\varphi}{2\pi} \quad (1.2)$$

kde c je rychlost světla, f modulační frekvence a φ změřený fázový posun.

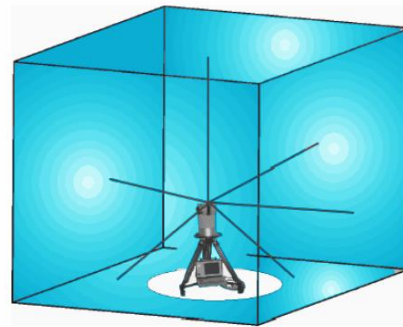
Autoři [24]; [25] ve svých člancích uvádí, že ToF umožňuje dosah až v řádu kilometrů a typicky skenuje stovky tisíc bodů za sekundu, což je vhodné pro topografii či monitoring rozsáhlých území, ale s nižší přesností a rychlostí. Metoda fázového posunu je naopak schopna zaznamenat až miliony bodů za sekundu s vysokou přesností, avšak s kratším dosahem. Novější přístroje však tento limit posunuly nad 300 metrů, takže tato metoda nachází v současné době široké uplatnění.

Rozdělení metod podle zorného pole

Štroner [22] uvádí, že skenery je možné rozdělit podle zorného pole na kamerové a panoramatické. Kamerové skenery pracují tak, že laserový paprsek rozmítají pouze do menšího zorného pole, podobného tomu, jaké má fotoaparát či kamera. U panoramatických zařízení se naopak otáčí celá měřicí jednotka, což umožňuje snímat prakticky celé okolí.



Obr. 16 Kamerový skener | převzato a upraveno z [22]



Obr. 17 Panoramatický skener | převzato a upraveno podle [22]

Skenery lze dále klasifikovat také například podle rychlosti skenování, přesnosti nebo dosahu [22].

Výstup měření

Při laserovém skenování vzniká trojrozměrné mračno bodů s prostorovými souřadnicemi (XYZ), které je charakteristické vysokou hustotou a přesností. Tento datový soubor slouží jako podklad pro tvorbu 3D modelů a může být využit také k identifikaci stavebních vad [24].

Současně mračno bodů často obsahuje i barevné informace v RGB a údaje o intenzitě odrazu. Díky těmto doplňujícím datům je možné získat nejen přesný geometrický popis, ale i detailní povrchovou texturu snímaného objektu [25].

Laserový skener však sám o sobě nezachycuje barevná data, a proto se pro získání barevnosti mračna bodů běžně využívá integrovaná kamera, která barevné informace doplňuje [50]. Z tohoto důvodu



Obr. 18 Mračno bodů pořízené metodou laserového skenování | obrázek autor

2.3.4 Gaussian Splatting

Myšlenka Splattingu má dle [57] dlouhou historii sahající více než tři desetiletí do minulosti. Zásadní posun nastal v roce 2023, kdy Kerbl a kol. představili metodu, která využívá velké množství barevných Gaussových prvků k efektivní a rychlé tvorbě realistických 3D scén v reálném čase.

3D Gaussian Splatting (3D-GS) představuje moderní přístup v oblasti počítačové grafiky, který umožňuje explicitní reprezentaci scén a generování nových pohledů bez využití neuronových sítí na rozdíl od metod založených na bázi NeRF. Metoda nachází uplatnění například v robotice, mapování, autonomní navigaci či ve virtuální a rozšířené realitě a je považována za perspektivní nástroj pro efektivní zpracování a vizualizaci prostorových dat [55]; [56].

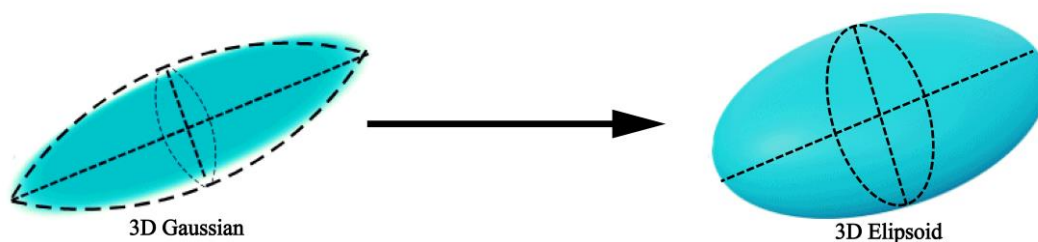
Pro srovnání je vhodné krátce zmínit metodu Neural Radiance Fields (NeRF). Jedná se o přístup založený na neuronových sítích, který z více fotografií rekonstruuje 3D scénu a umožňuje generovat nové pohledy s vysokou vizuální kvalitou. Nevýhodou NeRF je však vysoká výpočetní náročnost a pomalé vykreslování, což omezuje jeho praktické využití, zejména v reálném čase [60].

Princip

Podle [55] je základním principem popis objektů a povrchů pomocí souboru Gaussových funkcí, které současně nesou informaci o tvaru i vzhledu. Díky této reprezentaci nabízí 3D-GS flexibilnější a adaptivnější alternativu k tradičním objemovým renderovacím metodám. Významnou výhodou Gaussian Splattingu je také schopnost realisticky reprodukovat vizuální jevy, jako jsou měkké stíny nebo hloubka ostrosti, což z něj činí perspektivní nástroj nejen pro výzkum, ale i pro praktické aplikace v počítačové grafice.

Metoda pracuje se sadou běžných fotografií scény, ze kterých se nejprve určí poloha kamer a základní prostorová struktura. Následně je scéna popsána pomocí velkého množství jednoduchých prostorových prvků (Gaussových bodů), které nesou informaci o tvaru, barvě a průhlednosti. Tyto prvky se postupně upravují tak, aby výsledný obraz

co nejlépe odpovídal původním fotografiím. Výsledkem je plynulá a realistická 3D reprezentace scény, ze které lze generovat nové pohledy [56].



Obr. 19 3D gaussian a 3D elipsoid | převzato a upraveno z [82]

Výstup měření

V oblasti 3D vizualizace se používají tři základní přístupy. Tradiční počítačová grafika je založena na polygonálních sítích, které vytvářejí ostré hrany a pro realistický vzhled vyžadují složité nastavování textur a osvětlení. Metoda Neural Radiance Fields využívá neuronové sítě k rekonstrukci scény, avšak je výpočetně velmi náročná a obtížně použitelná v reálném čase [57].

Gaussian Splatting reprezentuje scénu pomocí velkého množství Gaussových prvků, jejichž plynulé promítání umožňuje realistické zobrazení detailů při vysoké rychlosti vykreslování [57].



Obr. 20 Střešní krytina – Gaussian Splatting
| obrázek autor



Obr. 21 Střešní krytina – mesh
| obrázek autor

Použití

Podle vybraných publikovaných článků [58]; [59] lze metodu 3D GS využít například k dokumentaci a vizualizaci architektonického dědictví i staveníšť, přičemž umožňuje přesnou prostorovou rekonstrukci a tvorbu detailních 3D modelů.

Přestože je Gaussian Splatting z hlediska vizuální prezentace velmi atraktivní, v současné době zatím nevyhovuje nárokům na přesné měření. Oproti fotogrammetrii a laserovému skenování nelze u této metody spolehlivě zaručit srovnatelnou geometrickou přesnost, její výstupy jsou omezeny na specifické softwarové nástroje a začlenění do zavedených pracovních postupů v geodézii a stavebnictví je zatím omezené [57].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část práce je rozdělena do tří částí.

První část se zaměřuje na možnosti zaměření části stavebního objektu a procesu od zaměření až po tvorbu 3D modelu. Testovány byly metody křížových měř, fotogrametrie, laserové skenování a metoda Gaussian Splatting. Cílem bylo porovnat jednotlivé postupy z hlediska časové náročnosti, přesnosti, objemu vzniklých dat, počtu použitých softwarových nástrojů a přibližných nákladů. Měření bylo provedeno na části rodinného domu s cílem identifikovat dostupná, přesná a ekonomicky přijatelná řešení pro jednotlivce nebo menší projekční týmy.

Druhá část práce se věnuje detailnímu ověření metody, která v předchozí části dosáhla nejlepších výsledků, a to na složitějších stavebních prvcích. Pro zvýšení přesnosti bylo nad rámec použito zařízení podporující technologii RTK umožňující přesné prostorové zapozicování. Metoda byla aplikována v kotelně bytového domu s potrubními rozvody, rozhledně s ocelovým vřetenovým schodištěm a prutovými prvky, fasádě kaple s klenbami a vystupujícími konstrukcemi a na krov sedlové střechy rodinného domu. Kapitola je zakončena slovním vyhodnocením výsledků.

Třetí část experimentální práce se zaměřuje na fotodokumentaci a videodokumentaci a možnosti využití dříve pořízených dat. Konkrétně na použití videí a snímků z 360° kamer a skenů z tabletu. Podklady ze skenů byly dále zpracovány do podoby 3D modelů a vizualizovány ve virtuální realitě, a to jak formou meshe vytvořeného z mračna bodů, tak pomocí metody Gaussian Splatting. Jednotlivé způsoby zobrazení ve VR jsou následně porovnány z hlediska jejich výhod a nevýhod. Tato část byla realizována na objektu kaple v obci Pohořelice.

3.1 Zaměření stávajícího objektu

3.1.1 Popis zaměřovaného místa

Měření bylo prováděno v místě bydliště autora práce, které sloužilo pro následné porovnání jednotlivých metod měření. Pro účely práce byl využit rodinný dům typu bungalov situovaný v běžné zástavbě, jehož architektura odpovídá současnému rodinnému bydlení.



Obr. 22 Řešený rodinný dům | foto autor

Pro interiérové měření byla vybrána část půdorysu interiéru. Tato výseč byla zvolena tak, aby představovala vhodný kompromis mezi jednoduchostí, složitostí a zároveň byla dostatečně reprezentativní pro srovnání jednotlivých metod měření. Konkrétně se jednalo o zádveří, část chodby a pokoj.

Vzhledem k tomu, že chodba prochází téměř celým půdorysem objektu, byla v místě měření vytvořena umělá dělicí stěna, která umožnila uzavření zkoumaného prostoru. Prostor byl uzavřen z důvodu optického vymezení a pro potřeby metod fotogrammetrie a laserového skenování, u nichž je žádoucí, aby snímaný prostor měl jasně definované hranice a omezené rušivé prvky mimo záběr.

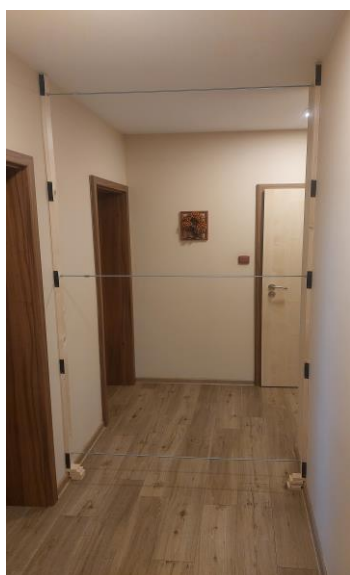
Fiktivní stěna byla zkonstruována podle výkresu uvedeného v příloze této práce. Vytvořena byla z dřevěných latí, závitových tyčí a základních spojovacích prvků, doplněných o suchý zip, geotextilii a ocelové sponky. Latě byly upraveny na potřebnou délku, označena místa pro vzpěry a vyhotoveny drobné zahloubené otvory. Geotextilie byla

nastříhána na požadovaný rozměr a společně se suchým zipem připevněna k nosné konstrukci stěny.



Obr. 23 Materiál pro sestavení provizorní stěny | foto autor

Pozice fiktivní stěny byla na stěnách vyznačena pomocí malířské pásky a křížového laseru, což zajistilo přesné umístění konstrukce v půdorysu. Po vyznačení byla stěna sestavena a zafixována pomocí vzpěr do konečné podoby.



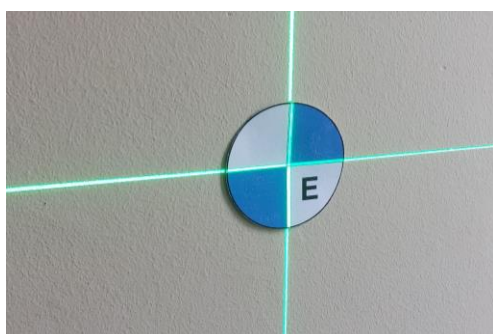
Obr. 24 Konstrukce stěny v chodbě | foto autor



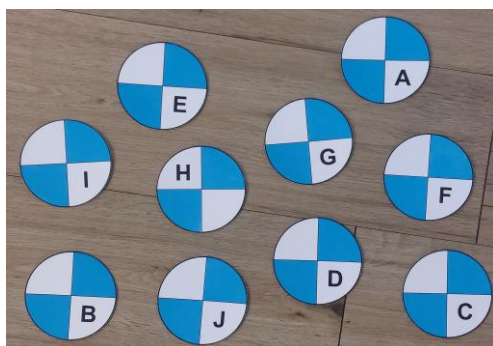
Obr. 25 Sestavená stěna v chodbě | foto autor

V prostoru zaměřovaných ploch byly rozmístěny referenční body sloužící zejména ke kontrole délek, případně měřítka a orientace, aby bylo možné vzájemně porovnat všechny použité metody. Body byly rozděleny do dvou skupin. Abecedně označené body určovaly polohu v horizontální rovině a číselné body ve vertikální rovině, což umožnilo jejich jednoznačnou identifikaci při následném zpracování.

Referenční body o průměru 6 cm měly podobu kruhového terče rozděleného na čtyři barevně kontrastní výseče (modrá – bílá). Byly vytištěny na tvrdý papír, vystřiženy a rozmístěny podle stanovené soustavy, která je na výkresu v příloze této práce. K jejich přesnému umístění byl využit křížový laser, laserový dálkoměr a metr. Číselné body byly připevněny oboustrannou lepicí páskou na strop a podlahu, zatímco abecední body byly umístěny na svislé konstrukce ve výšce 1100 mm podle nastavené řezové roviny v modelu. Pouze body A a B byly umístěny ve výšce 900 mm, protože ve standardní výšce 1100 mm nebylo možné protilehlé body nalepit.



Obr. 26 Umístěný referenční bod | foto autor



Obr. 28 Vystřižené referenční body | foto autor



Obr. 27 Rozmístění referen. bodů | foto autor

3.1.2 Zaměření metodou křížových měř

Zkušební zařízení a pomůcky

Pro zaměření objektu metodou křížových měř byly využity běžně dostupné měřicí pomůcky, které umožňují přesné stanovení vzdáleností a prostorových vztahů jednotlivých konstrukčních prvků.

Použity byly následující nástroje:

- **Ocelový svinovací metr** – sloužil k ručnímu měření délek a k ověřování kratších úseků, zejména tam, kde nebylo možné využít laserový dálkoměr.
- **Laserový dálkoměr** – byl použit pro rychlé a přesné určení vzdáleností mezi jednotlivými body.
- **Posuvné měřidlo** – sloužilo k detailnímu doměření úhlopříček místností
- **Křížový laser** – umožnil vyznačení vodorovných rovin ve výšce 1100 a 900 mm, svislých rovin a kontrolu kolmosti jednotlivých konstrukčních částí.
- **Stativ** – k připevnění křížového laseru a zapozicování do stanovené výšky
- **iPad Pro** – použit pro zakreslování polního náčrtu, zápis naměřených hodnot a přehlednou vizuální dokumentaci měřeného prostoru. Použit byl také fotoaparát pro zpětné získání obrazových dat a dokumentaci měřeného prostoru.



Obr. 29 Použité zařízení a pomůcky | obrázek autor

Použitý software

Metoda křížových měř je poměrně jednoduchá a nevyžaduje použití složitého specializovaného softwaru během samotného procesu měření. V průběhu zaměřování však byl pro záznam a zakreslování naměřených hodnot využit tablet iPad Pro s aplikací Poznámky+, která umožnila přehledné vytváření náčrtů a okamžitý zápis jednotlivých

měřených rozměrů. Tímto způsobem bylo možné efektivně zaznamenávat prostorové vztahy přímo v terénu a minimalizovat riziko ztráty dat.

Software byl nezbytný především ve fázi následného modelování objektu, kde sloužil k převodu naměřených hodnot do prostorové digitální podoby. Pro účely této diplomové práce byl k vytvoření modelu využit program ArchiCAD, který umožňuje přesné zadávání měřených dat a jejich zpracování v prostředí informačního modelování staveb (BIM).

Pro přehlednost je využitý software uveden níže:

- **ArchiCAD** – digitální modelování objektu, zpracování půdorysného a výškového řešení, příprava výkresové dokumentace.
- **Poznámky+** – vytváření a organizace polních náčrtů, zápis naměřených hodnot, barevné rozlišení konstrukčních prvků.

ArchiCAD

Podle [37]; [38] je ArchiCAD pokročilý software typu CAD/BIM určený pro architektky a projektanty působící v oblasti architektury, stavebnictví a inženýrství. Umožňuje navrhovat, modelovat a spravovat budovy v prostředí informačního modelování staveb od koncepční fáze až po realizaci projektu. Program podporuje tvorbu komplexních digitálních modelů staveb i detailních 2D výkresů včetně prováděcí dokumentace a umožňuje efektivní tvorbu přesného konstrukčního modelu, který slouží jako podklad pro výkaz výměr. Je dostupný pro operační systémy Windows i macOS a podporuje otevřený formát IFC v souladu s konceptem OpenBIM. Vývojářem softwaru je společnost Graphisoft.

Zaměření

V první fázi bylo nutné vytvořit přehledný náčrt objektu, který zahrnoval všechny podstatné konstrukční prvky, ale také elektrické zásuvky, vypínače, hlásiče a další detaily. Náčrt byl zpracován pomocí aplikace Poznámky v iPadu Pro.

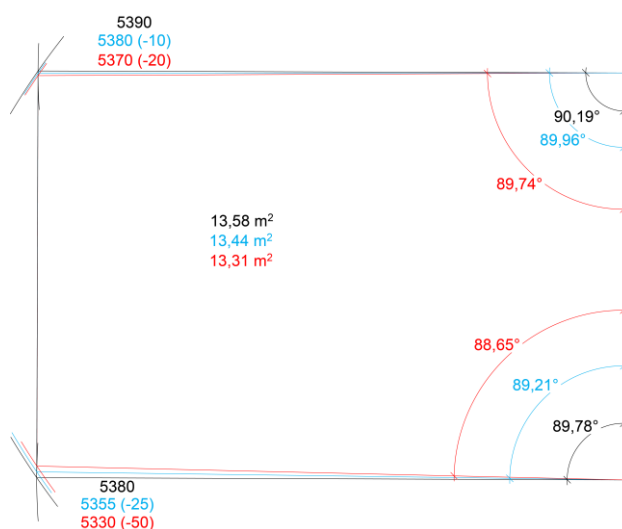
Následně byla pomocí křížového laseru ve výšce 1100 mm vyznačena vodorovná rovina, stanovená podle předem připravených referenčních bodů. Po jejím vyznačení bylo

zahájeno měření s využitím laserového dálkoměru a svinovacího metru a posuvného měřidla. Nejprve byly určeny celkové délky jednotlivých místností a jejich úhlopříčky, poté byly doplněny rozměry menších prvků, jako jsou dveře, okna nebo zásuvky. Tam, kde to bylo možné, byly změřeny také úhlopříčky mezi více místnostmi.

Měření probíhalo tak, že byl zvolen výchozí kout, který sloužil jako nulový počáteční bod, od něhož se měřily prvky ležící na přímce mezi počátečním a koncovým bodem. Tato přímka většinou odpovídala rovině svislých konstrukcí stěn. Naměřené hodnoty byly průběžně zapisovány do náčrtu – celkové délky byly zvýrazněny dvojitým podtržením. V případech, kdy mezi počátečním a koncovým bodem nebyly žádné dílčí prvky, byla celková délka zapsána přibližně do středu úseku mezi dvě pomlčky. Při měření byly rovněž zaznamenávány svislé rozměry, například světlé výšky dveří či místností.

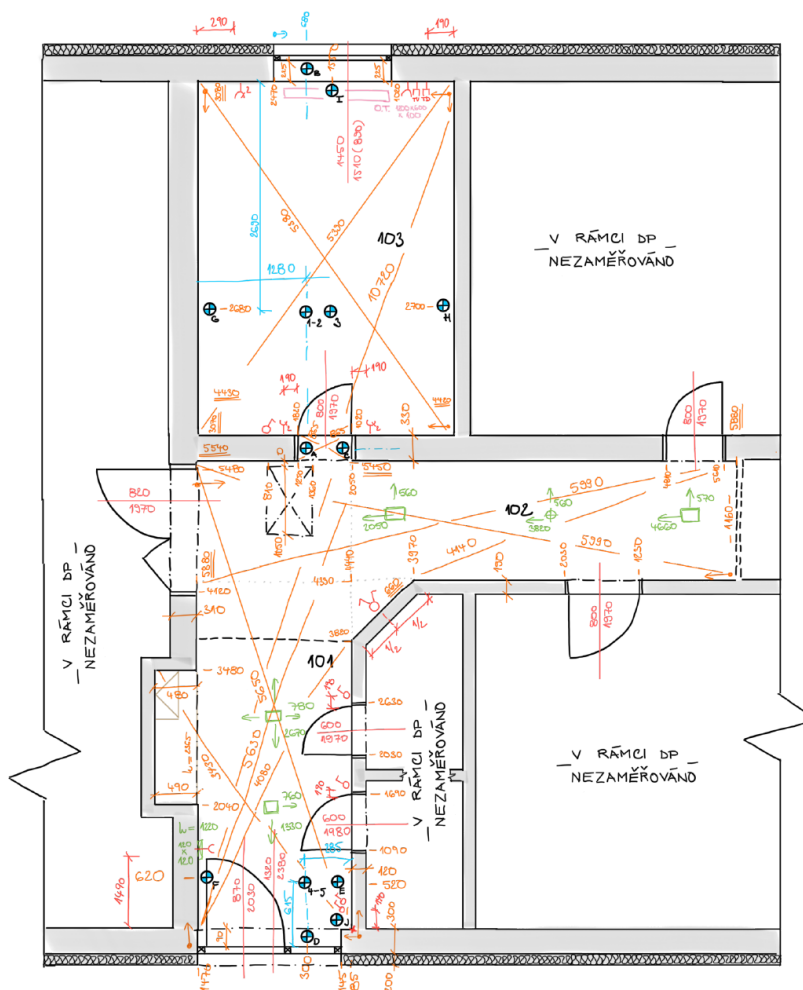
Pro zajištění přesnosti bylo nutné dbát na správné držení měřicích přístrojů ve vodorovné rovině. K tomuto účelu sloužil právě křížový laser, který pomáhal udržet konzistentní výšku měření po celé délce úseku.

V průběhu tvorby náčrtu se objevily určité nepřesnosti v měření, které způsobovaly nerealistické půdorysné průměty konstrukcí. Z tohoto důvodu bylo nutné měření třikrát opakovat a upravit. Jako extrémně klíčové se ukázalo měření úhlopříček, jelikož i drobná nepřesnost v jejich určení vedla k výrazným odchylkám úhlů místností od skutečného stavu. To má následně zásadní vliv na plochy místností, délky i pozice prvků.



Obr. 30 Vliv odchylek měření na přesnost | obrázek autor

Výsledkem zaměření je polní náčrt, který slouží jako podklad pro následné zpracování a tvorbu digitálního modelu. Náčrt je uveden v příloze této diplomové práce.



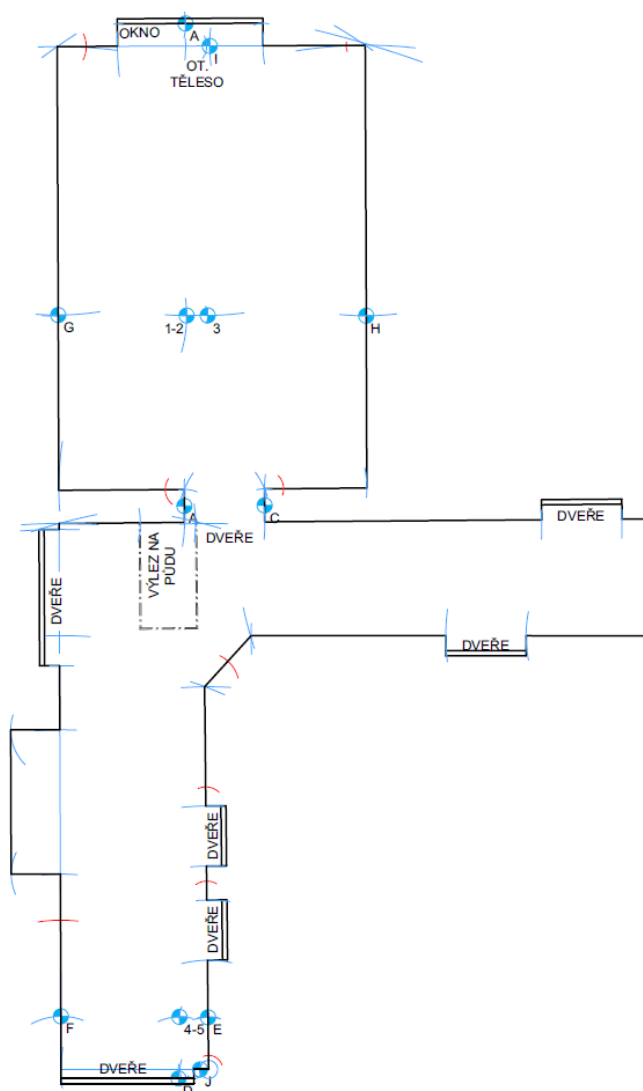
Obr. 31 Polní náčrt řešeného rodinného domu | obrázek autor

Náčrt

Výsledný polní náčrt byl následně překreslen do modelovacího programu ArchiCAD. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, při překreslování se často projeví chyby, které nejsou v původním náčrtu zřetelné v důsledku zkraslení a nepřesného měřítka čar. V této fázi bylo proto několikrát nutné vrátit se k jednotlivým částem měření a provést opakované přeměření hodnot, které vykazovaly zjevné odchylky.

Samotné překreslení spočívalo ve vykreslení základní čáry, z níž byly následně konstruovány jednotlivé rohy a kouty místností. Ty byly určeny pomocí kružnic o polooměru odpovídajícím úhlopříčkám a délkám místností. Na takto vymezené úsečky se poté

obdobným způsobem doplňovaly další zaměřené prvky, čímž vznikl přesný půdorysný model prostoru vycházející z reálně naměřených dat.



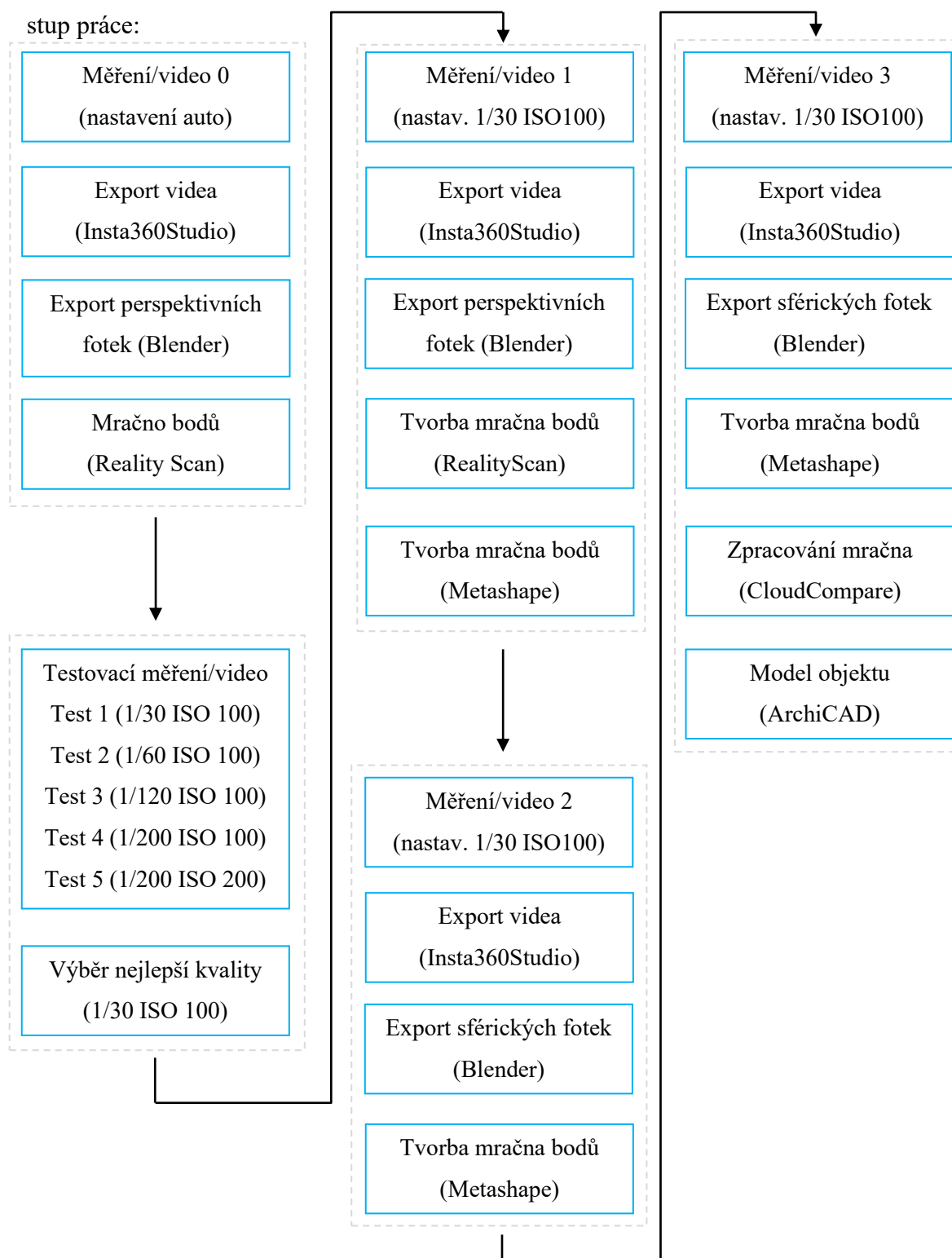
Obr. 32 Náčrt řešeného rodinného domu | obrázek autor

Model

Na základě předešlých naměřených dat byl v programu ArchiCAD vytvořen digitální model zkoumané části objektu. Kromě půdorysného zobrazení byl zpracován také řez, který znázorňuje výškové proporce jednotlivých konstrukčních prvků v rámci řešené výseče rodinného domu. Výkresová dokumentace je uvedena v příloze této diplomové práce.

3.1.3 Zaměření metodou fotogrammetrie

Vzhledem k složitosti kapitoly byla vytvořena schématická mapa zachycující postup práce:



Zkušební zařízení a pomůcky

Zvolený postup fotogrammetrické metody nevyžadoval použití velkého množství pomůcek. Pro zaměření a pořízení záznamu měřeného prostoru byla využita sférická kamera Insta360 X4, která umožňuje zachytit kompletní obrazové informace v rozsahu 360°. Kamera byla zvolena zejména proto, že je schopna pořizovat sférický videozáznam v dobré kvalitě, z něhož lze následným zpracováním získat velké množství jednotlivých snímků potřebných pro fotogrammetrické vyhodnocení.

Použité zařízení a pomůcky:

- **Sférická kamera Insta360 X4** – záznam měřeného prostoru v plném 360° rozsahu, zdroj dat pro fotogrammetrické zpracování.
- **Neviditelná teleskopická selfie tyč** – sloužila k uchycení kamery a umožnila stabilní snímání bez viditelného držáku ve výsledném záznamu.
- **Hliníkový rámeček** – montážní prvek pro bezpečné upevnění kamery během pořizování záznamu.



Obr. 33 Použité zařízení a pomůcky | foto autor

Sférická kamera Insta 360 X4

Insta360 X4 je 360° akční kamera určená pro záznam videa a fotografií ve vysokém rozlišení. Umožňuje natáčet 360° video v kvalitě až 8 K při 30 snímcích za sekundu. Kamera je vybavena technologií stabilizace obrazu FlowState, dotykovým displejem a nabízí řadu režimů záznamu. Konstrukce zařízení je odolná a vodotěsná do 10 metrů

bez pouzdra. Napájení zajišťuje baterie o kapacitě 2290 mAh. Hmotnost kamery činí 203 g a rozměry $46 \times 124 \times 38$ mm [44].

Použitý software

V současné době je dostupné velké množství fotogrammetrických softwarů využitelných v počítačích i mobilních zařízeních. Mezi nejznámější patří Metashape, 3DF Zephyr, PhotoModeler, Pix4D nebo RealityScan. Jednotlivé programy se liší přístupem ke zpracování fotografií, rychlostí, způsobem rekonstrukce 3D modelu i uživatelským rozhraním. Některé jsou určeny pro profesionální geodetické účely, jiné spíše pro získání prostorové představy a vizualizaci objektu ve 3D prostředí.

S ohledem na cíl kapitoly, zaměřený na hledání dostupných řešení pro běžného projektanta či menší projekční tým, byl nejprve zvolen program RealityScan pro platformu Windows, který je možné za určitých podmínek používat i zdarma. Protože však tento software nepodporuje sférické fotografie ani videozáznamy, byl pořízený materiál převeden na perspektivní snímky v open-source programu Blender.

Vzhledem k neuspokojivým výsledkům mračna bodů z RealityScanu byl následně zvolen software Metashape, který je sice placený, avšak trvalá licence ve verzi Standard je nabízena za relativně dostupnou cenu.

V rámci práce bylo v programu Metashape postupováno dvěma způsoby, jelikož výsledné mračno vytvořené z perspektivních fotografií opět nedosahovalo požadované kvality. Program na rozdíl od předchozího řešení umožňuje také zpracování sférických snímků, jejichž použití již vedlo k vytvoření výrazně kvalitnějšího mračna bodů, a to dokonce mnohem rychleji.

Přehled použitého softwaru:

- **Insta360Studio** – prvotní zpracování záznamů ze sférických kamer
- **Blender** – open-source nástroj pro převod sférického videozáznamu na jednotlivé perspektivní a sférické snímky vhodné pro fotogrammetrické zpracování.
- **RealityScan** – software pro tvorbu 3D modelu z fotografií, využit pro rekonstrukci modelu měřeného prostoru.

- **Metashape** – fotogrammetrický software určený pro tvorbu 3D modelů a mračen bodů z fotografií, v rámci práce využít pro zpracování perspektivních i sférických snímků a tvorbu finálního mračen bodů.
- **CloudCompare** – nástroj pro práci s 3D mračen bodů, použit pro jejich zpracování, zahrnující změnu měřítka, ořezání a otočení modelu v prostoru.
- **ArchiCAD** – modelovací software používaný pro tvorbu digitálního modelu objektu; podrobněji viz kapitola Použitý software na straně 47

Insta360Studio

Podle [41] je Insta360 Studio počítačový software určený pro editaci 360° videí. Nabízí pokročilé možnosti přesnímkování, díky nimž lze vytvářet jak běžná plochá videa, tak i 360° či VR záznamy. Program je plně kompatibilní s kamerami Insta360 a poskytuje profesionální nástroje pro efektivní zpracování a úpravu videomateriálu [44].

Blender

Blender je bezplatný open-source software pro tvorbu 3D grafiky, který umožňuje kompletní 3D proces – od modelování a animace až po renderování, kompozici či úpravu videa. Pokročilí uživatelé mohou rozšiřovat jeho funkce pomocí Python API. Program je multiplatformní, funguje na systémech Windows, macOS i Linux a díky technologii OpenGL si zachovává jednotné rozhraní a výkon napříč platformami [39].

RealityScan

RealityScan je fotogrammetrický a 3D skenovací software pro operační systém Windows, který dokáže z fotografií nebo laserových skenů vytvářet detailní a realistické 3D modely. Program je dostupný zdarma pro studenty, pedagogy, hobby uživatele i firmy s ročním obratem do jednoho milionu dolarů [42].

Metashape

Agisoft Metashape je software určený pro fotogrammetrické zpracování snímků z RGB i multispektrálních kamer, včetně vícekamerových systémů. Umožňuje převod obrazových dat na prostorové výstupy, jako jsou mračen bodů, texturované 3D modely,

ortofotomapy či digitální modely povrchu a terénu. Program také umožňuje kombinovat fotografická data s údaji z LiDARu, čímž se spojují výhody obou technologií. Součástí softwaru jsou i nástroje pro následné úpravy – odstranění stínů a artefaktů, automatickou klasifikaci mračen bodů a další analytické funkce. Program je nabízen v několika variantách lišících se cenou a přístupností jednotlivých funkcí [40].

CloudCompare

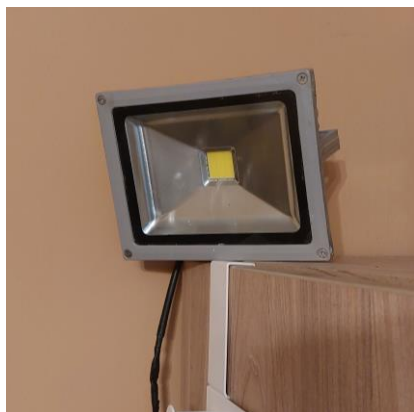
CloudCompare je podle [43] open-source nástroj určený pro práci s 3D mračny bodů a trojúhelníkovými sítěmi. Původně vznikl pro porovnávání dvou hustých mračen bodů. Postupně byl rozšířen na univerzální software nabízející širokou škálu funkcí – od registrace, resamplování a úprav barev či normál až po výpočty statistik, správu senzorů, segmentaci dat a pokročilou vizualizaci.

Videozáznam

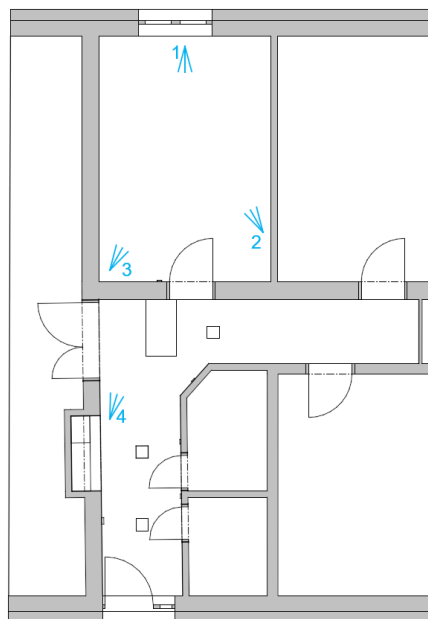
Aby bylo dosaženo optimální kvality výsledného mračna bodů, bylo nejprve pořízeno testovací video (video 0), které bylo následně vyexportováno a zpracováno ve fotogrammetrickém softwaru se základním nastavením kamery. Po prvotním vyhodnocení se ukázalo, že toto nastavení neposkytuje dostatečně kvalitní výsledky, a proto byla provedena série pěti krátkých experimentálních videí s různými kombinacemi expozičních parametrů kamery. Všechna videa byla pořízena v rozlišení 5,7K při 30 snímcích za sekundu (fps). Byly měněny zejména hodnoty času závěrky „*shutter*“ a citlivosti ISO v následujících kombinacích:

- 1/30 s, ISO 100
- 1/60 s, ISO 100
- 1/120 s, ISO 100
- 1/200 s, ISO 100
- a 1/200 s, ISO 200

Současně bylo zjištěno, že v interiéru vykazuje nedostatečné osvětlení, a proto byly do měřené části interiéru rozmístěny celkem 4 LED reflektory, každý o výkonu 20 W.

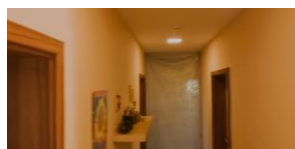


Obr. 34 LED reflektor v prostoru | obrázek autor



Obr. 35 Umístění LED reflektorů | obrázek autor

Po exportu a následné kontrole fotografií bylo vizuálně vyhodnoceno, že nejkvalitnější snímky poskytovalo nastavení 1/30 s a ISO 100, které zajistilo nejlepší vyvážení expozice, ostrosti i množství obrazových detailů.



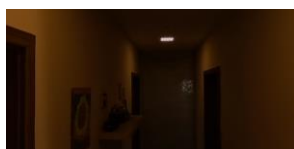
Obr. 36 Fotografie 1/30 s,
ISO 100 | foto autor



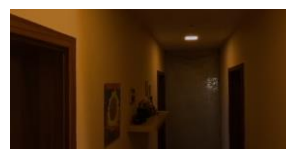
Obr. 37 Fotografie 1/60 s,
ISO 100 | foto autor



Obr. 38 Fotografie 1/120 s,
ISO 100 | foto autor



Obr. 39 Fotografie 1/200 s,
ISO 100 | foto autor



Obr. 40 Fotografie 1/200 s,
ISO 200 | foto autor

Finální měření (video 3), které sloužilo jako druhý pokus o vytvoření mračna bodů ze sférických fotografií (celkově však již třetí video po výběru nejlepšího nastavení kamery), probíhalo jednoduchým a časově nenáročným postupem, což odpovídá i krátké době zaměření uvedené v tabulce v kapitole 3.1.6. Kamera byla usazena do hliníkového rámečku, upevněna na “neviditelnou“ teleskopickou selfie tyč a s ní byl pořízen videozáznam měřeného prostoru.

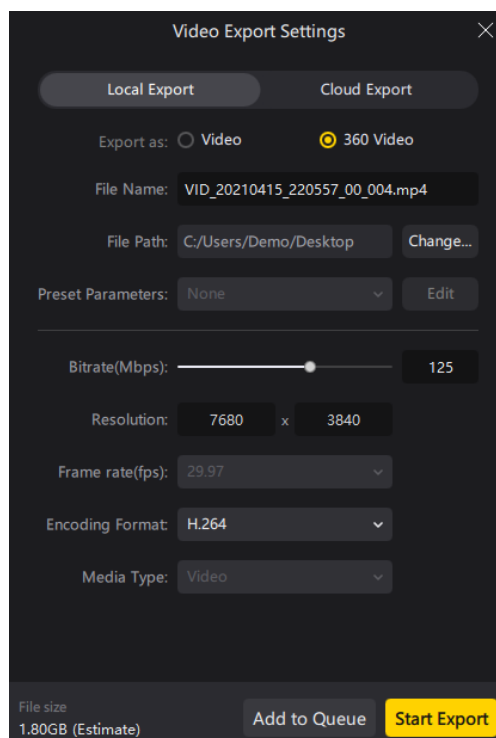
Půdorys zaměřované plochy byl v tomto posledním pokusu třikrát obejit, přičemž kamera byla záměrně zdržována u klíčových konstrukčních prvků, jako jsou okna a dveře, aby bylo dosaženo většího množství překrývajících se záběrů potřebných pro fotogrammetrické vyhodnocení. Tento postup byl zvolen na základě nedostatečných výsledků předchozího měření (video 2), kdy v mračnu bodů chyběly detaily otvorových výplní a částí konstrukcí.

Po dokončení měření byl videozáznam zkontrolován přímo na displeji kamery, aby byla ověřena jeho kvalita, plynulost pohybu i úplné pokrytí měřeného prostoru.

Export videa

Surový videozáznam z kamery je uložen ve formátu .insv, který nelze přímo otevřít v programu Blender ani v jiném běžném prohlížečím softwaru. Proto bylo nutné provést mezikrok – export videa v programu Insta360 Studio, který slouží jako doplňkový software pro zpracování a převod záznamů ze sférických kamer. Tento program umožňuje export do dvou formátů. Pro další práci bylo zvoleno sférické video ve formátu .mp4.

V prostředí Insta360 Studio je rovněž možné provést základní kontrolu a prohlídku záznamu, ověřit jeho plynulost, správnou expozici a úplnost pokrytí zaměřovaného prostoru. Takto upravené video pak sloužilo jako vstupní podklad pro další zpracování v programu Blender.



Obr. 41 Nastavení exportovaného videa v Insta360Studio | obrázek autor

Vytvoření Blender šablony

Varianta perspektivních fotografií

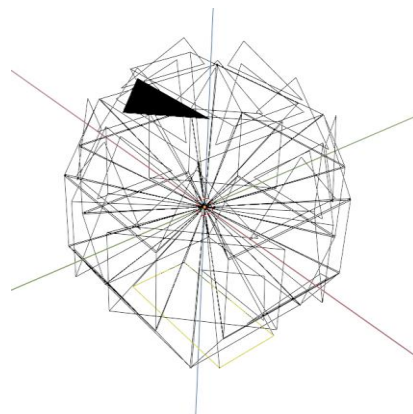
V programu Blender není standardně dostupná žádná vestavěná funkce ani šablona, která by umožňovala automatickou extrakci jednotlivých fotografií z 360° videa. Z tohoto důvodu byla vytvořena vlastní uživatelská šablona ve formě skriptu v jazyce Python, která tento proces zcela automatizuje.

Šablona byla vytvořena s využitím podpory umělé inteligence (ChatGPT) a slouží k vložení 360° videa, rychlé úpravě jeho parametrů a následnému exportu jednotlivých snímků vhodných pro fotogrammetrické zpracování.

Základní princip spočívá v tom, že do scény je vložen objekt typu koule „UV Sphere“, na jehož vnitřní stranu je promítáno 360° video. Uvnitř této koule je automaticky vytvořena a rozmístěna sada virtuálních kamer, které míří do různých směrů – dolů, nahoru a do stran. Každá z těchto kamer zajišťuje jiný úhel pohledu, čímž je dosaženo dostatečného překryvu mezi snímky potřebného pro následnou fotogrammetrii.



Obr. 42 Koule s videem | obrázek autor



Obr. 43 Sada virtuálních kamer | obrázek autor

Pomocí proměnných uvedených v záhlaví skriptu může uživatel snadno měnit klíčové parametry, jako jsou:

- Cesta k video souboru a výstupní složce
- Rozlišení výstupních snímků
- Počet kamer v jednotlivých prstencích a jejich úhel náklonu
- Ohnisková vzdálenost kamery – určující úhel záběru a míru detailu
- Počet generovaných snímků z jedné sekundy videa

Varianta sférických fotografií

Kvůli nízké kvalitě mračna bodů z perspektivních fotografií byla s využitím umělé inteligence vytvořena nová šablona v programu Blender, umožňující rychlý import sférického videa a export jednotlivých snímků.

Pomocí AI byl vygenerován Python skript s grafickým rozhraním, který automaticky načítá 360° video, rozděljuje jej na snímky podle zvoleného intervalu a exportuje do formátů JPG nebo PNG. Uživatel může nastavit cílovou složku, interval snímků i pojmenování souborů. Šablona výrazně urychluje přípravu dat pro následné 3D zpracování.

Export snímků z Blenderu

Varianta perspektivních fotografií

Po spuštění šablony Blender provede tyto kroky automaticky:

- Vytvoří soubor kamer a rozmístí je kolem středu scény podle zadané geometrie.
- Na povrch koule vloží video jako „*movie texture*“ se zapnutou funkcí auto refresh.
- Postupně přehrává video a v definovaných intervalech z něj renderuje snímky ze všech kamer.
- Uloží výsledné snímky do samostatné složky pojmenované podle názvu videa.

Celý proces, od importu videa až po export fotografií, probíhá automatizovaně s možností rychlé parametrizace. Tímto způsobem lze z jednoho 360° videa získat velké množství fotografií s definovaným překryvem.

Varianta sférických fotografií

Po spuštění skriptu Blender automaticky načte vybrané video do svého video editoru, rozdělí jej podle nastavených parametrů na jednotlivé snímky a každý z nich postupně vyrenderuje. Každý snímek je uložen do vybrané složky ve zvoleném formátu a s příslušným číselným označením.

Filtrace fotek

Filtraci fotografií bylo nutné provést pouze při použití metody s perspektivními snímky (video 1).

Exportované fotografie bylo nutné zkontrolovat a pročistit. Celkem bylo vyřazeno 442 snímků, které nebyly vhodné pro další fotogrammetrické zpracování (zachycení měřicí osoby, příliš blízké detaily, rozmazané, přesvětlené snímky a odlesky). Tyto fotografie byly před importem odstraněny, aby neovlivnily kvalitu výsledného modelu.



Obr. 44 Příklad nevhodné fotografie č. 1 | foto autor



Obr. 45 Příklad nevhodné fotografie č. 2 | foto autor



Obr. 46 Příklad nevhodné fotografie č. 3 | foto autor

Zpracování v programu RealityScan

Samotné zpracování dat v programu RealityScan je velmi jednoduché. Po otevření aplikace se označí všechny potřebné fotografie ze složky a tažením myši se přenesou přímo do programu. Následně se spustí proces tvorby modelu stisknutím tlačítka „Align All“, po němž software automaticky zahájí vyhodnocování a vzájemné zarovnání snímků.

Výsledné mračno bodů vykazovalo nízkou kvalitu, a proto nebylo dále zpracováno. Program měl potíže s propojením snímků a podařilo se spojit pouze 15 z celkových 1080 fotografií. Zpracování proběhlo nezvykle rychle, což může naznačovat nedostatečnou hloubku analýzy. Při zkušebním pokusu o zpracování exteriérových dat byly výsledky mírně lepší, avšak i zde se objevovaly nepřesnosti.

Nedostatečná kvalita výsledku v interiéru byla pravděpodobně způsobena nevhodnými světelnými podmínkami a nižší kvalitou snímků, u nichž se vyskytoval výraznější šum a nedostatečná ostrost.

Tab. 1 Fotogrammetrie – RealityScan

RealityScan – video 1		
	Měrná jednotka	Počet měrných jednotek
Fotografie	ks	1 080
Objem dat	GB	16,1
Čas renderu	h:min:s	0:07:00
Počet bodů	ks	1 658
Použitelnost	-	ne



Obr. 47 Mračno bodů interiéru z programu RealityScan | obrázek autor



Obr. 48 Mračno bodů exteriéru z programu RealityScan | obrázek autor

Zpracování v programu Metashape

Varianta perspektivních fotografií

V první variantě byly v programu Metashape zpracovány stejné fotografie jako v RealityScanu. Princip práce je obdobný jako u programu RealityScan – fotografie se jednoduše přetáhnou myší do prostředí softwaru, kde lze před samotným výpočtem v horní liště nastavit různé parametry importovaných snímků. Po úpravě nastavení je spuštěn výpočet mračna bodů.

Výpočet tentokrát trval podstatně déle a výsledkem bylo větší množství bodů, avšak jejich rozmístění působilo nahodile a výsledné mračno neodpovídalo skutečnému tvaru prostoru. Pravděpodobně opět došlo ke špatnému spojení a zarovnání jednotlivých fotografií, což vedlo k deformaci výsledného modelu. Výsledný model nebyl dále zpracováván.

Tab. 2 Fotogrammetrie – Metashape – využití perspektivních fotografií

Metashape – varianta perspektivních fotek – video 1		
	Měrná jednotka	Počet měrných jednotek
Fotografie	ks	1 080
Objem dat	GB	16,1
Čas renderu	h:min:s	3:48:00
Počet bodů	ks	142 825
Použitelnost	-	ne



Obr. 49 Mračno bodů z programu Metashape – perspektivní fotografie | obrázek autor

Varianta sférických fotografií

Po neúspěchu obou předchozích metod, tedy zpracování perspektivních fotografií v obou softwarech, byla vyzkoušena varianta, kterou program Metashape přímo podporuje – zpracování sférických fotografií. Tento přístup umožňuje import sférických snímků a jejich následné automatické vyhodnocení. Pořízené fotografie se do prostředí programu vkládají stejným způsobem jako ve variantě s perspektivními fotografiemi. Následně se v horní nabídce zvolí „Tools → Camera Calibration“ a typ kamery „Camera Type“ se přenastaví z „Frame“ na „Spherical“. Poté lze spustit samotný výpočet mračna bodů.

Tato varianta se ukázala jako výrazně rychlejší, méně datově náročná a také uživatelsky jednodušší než předchozí způsoby zpracování. Přesto bylo nutné metodu opakovat, protože výsledné mračno bodů vykazovalo určité chyby a nepřesnosti, zejména v oblasti otvorových výplní a menších konstrukčních detailů. Opakování měření (tedy třetí pořízení videozáznamu po úpravě parametrů kamery) a následné zpracování vedlo k dosažení odpovídající kvality výsledného modelu, který již lépe reprezentoval tvar a prostorové uspořádání měřeného objektu.

Tab. 3 Fotogrammetrie – Metashape – využití sférických fotografií

	Metashape – varianta sférických fotografií – video 2		Metashape – varianta sférických fotografií – video 3	
	Měrná jednotka	Počet m. j.	Měrná jednotka	Počet m. j.
Fotografie	ks	183	ks	317
Objem dat	GB	0,976	GB	2,02
Čas renderu	h:min:s	0:37:00	h:min:s	1:19:00
Počet bodů	ks	99 111	ks	170 075
Použitelnost	-	částečně	-	ano



Obr. 50 Mračno bodů z programu Metashape – sférická fotografie – video 3 | obrázek autor

Zpracování mračna bodů

Jelikož bylo mračno bodů původně zpracováno v programu Metashape ve verzi Standard, která nabízí pouze omezené možnosti pro následnou práci s mračny bodů, byl pro další úpravy použit program CloudCompare, který umožňuje velké množství nejrůznějších editací mračen bodů. Pro import byl zvolen formát souboru e57.

Po naimportování mračna bylo zjištěno, že model má z programu Metashape nesprávně orientované osy a zároveň neodpovídající měřítko. Z tohoto důvodu bylo nejprve provedeno natočení mračna a následně byla provedena úprava měřítko.

Natočení mračna

V první fázi bylo nutné provést hrubé natočení mračna, protože po importu z programu Metashape bylo mračno pootočeno kolem všech os. Půdorys se zobrazoval jako boční pohled a jednotlivé roviny tak neodpovídaly skutečné prostorové orientaci. Pomocí

funkce „*Apply Transformation*“ proto bylo mračno otočeno o 90° kolem vhodných os, tak aby byla podlaha orientována směrem dolů.

V další fázi bylo mračno zarovnáno tak, aby podlaha ležela vodorovně a stěny byly svislé. Tento krok byl proveden pomocí funkce „*Cross section*“, kdy byly vytvořeny svislý a podélný řez mračnem. V každém řezu byla pomocí nástroje „*Point picking*“ vybrána dvojice bodů, mezi nimiž byla následně vytvořena úsečka. Ze zobrazených rozdílů souřadnic (ΔX , ΔY , ΔZ) byly vypočteny sklony obou řezů a z nich odvozen úhel potřebný k pootočení mračna do vodorovné polohy.

Rotace se prováděla v kartě „*Apply Transformation*“ v záložce „*Euler angles*“, kde jsou k dispozici tři úhly rotace:

- Phi – odpovídá otáčení v rovině YZ,
- Theta – odpovídá otáčení v rovině XZ,
- Psi – odpovídá otáčení v rovině XY.

Aby při vícenásobných úpravách nedocházelo ke sčítání jednotlivých rotací, bylo nutné před každou další změnou kliknout na tlačítko „*Reset*“, čímž se transformační matice vynuluje. Tímto způsobem byla podlaha zarovnána do vodorovné polohy.

Následně byl zobrazen pohled shora a pomocí funkce „*Point picking*“ byla opět zakreslena úsečka, tentokrát v půdorysu. Z této úsečky byl spočítán úhel pootočení půdorysu, což umožnilo určit úhel pro závěrečnou rotaci. Tímto bylo dosaženo správného natočení mračna bodů vůči souřadnicovému systému.

Změna měřítka

Po dokončení zarovnání byla provedena kontrolní měření délkových rozměrů. Tato kontrola ukázala, že model neodpovídá skutečným rozměrům a že je nutné provést změnu měřítka. Měřítka muselo být upraveno ve všech třech souřadnicích (X, Y, Z), aby nedošlo k deformaci modelu. Pro výpočet přepočtových faktorů byly opět vytvořeny řezy mračnem v místech, kde byly známy skutečné rozměry z reálného prostředí. K tomuto účelu byly zvoleny obložkové zárubně dveří mezi chodbou a pokojem, které měly reálné světlé rozměry 800×1970 mm. V modelu však tyto rozměry odpovídaly hodnotám 3,006873 (šířka) a 7,749259 (výška). Z těchto údajů byly vypočteny měřítkové faktory:

- pro osu X:

$$S_x = \frac{\text{reálná vzdálenost}}{\text{vzdálenost v programu}} = \frac{800}{3,006873} = 266,10 \quad (1.3)$$

- pro osu Z:

$$S_z = \frac{1970}{7,749259} = 254,22 \quad (1.4)$$

Protože se měřítko může lišit i v hloubce scény, bylo nutné ověřit ještě třetí rozměr. K tomuto účelu byla využita šířka chodby, jejíž rovina je kolmá k rovině zárubní a která měla v reálném prostoru šířku 1160 mm, zatímco v modelu činila 4,178767 jednotek. Z tohoto poměru byl spočítán měřítkový faktor:

- pro osu Y:

$$S_y = \frac{1160}{4,178767} = 277,60 \quad (1.5)$$

Jednotlivé osy tedy vykazovaly jen malou vzájemnou odchylku (přibližně $\pm 4,5\%$), a proto bylo rozhodnuto použít průměrnou hodnotu měřítka 265,97 pro všechny tři směry.

$$S_{\text{průměrná}} = \frac{266,10 + 254,22 + 277,60}{3} = 265,97 \quad (1.6)$$

Tento faktor byl zadán v kartě „Multiply/Scale“, kde byla do všech políček (X, Y, Z) vložena stejná hodnota. Tím bylo mračno rovnoměrně přepočítáno do měřítka v milimetrech.

Vyčištění mračna

Před samotným exportem bylo nutné mračno bodů dodatečně upravit a vyčistit, jelikož vykazovalo lokální odchylky, drobný šum a obsahovalo odlehlé body, které by mohly ovlivnit přesnost i kvalitu následného zpracování.

Prvním krokem bylo odstranění odlehlých bodů pomocí funkce „SOR Filter“ (Statistical Outlier Removal), dostupné v nabídce „Tools → Clean“. Tento filtr

vyhodnocuje vzájemné vzdálenosti mezi jednotlivými body a jejich sousedy a eliminuje ty, které se od lokální hustoty výrazně liší. Vhodným nastavením parametrů v dialogovém okně se podařilo odstranit výrazně odlehle body a dosáhnout základního zhutnění mračna.

Na takto předčištěné mračno byla následně aplikována funkce „*Noise Filter*“, která umožňuje odstranit body s velkou lokální odchylkou. Tento nástroj vyhodnocuje, do jaké míry se poloha jednotlivých bodů odchyluje od ideální polohy vzhledem k okolním bodům v definovaném poloměru. Při zpracování byl použit poloměr 200 mm, přičemž byly porovnávány sousední body nacházející se v rámci koule o tomto poloměru.

Tímto postupem došlo k výraznému snížení šumu a odstranění bodů, které neodpovídaly skutečné geometrii snímaného objektu. Celkový počet bodů klesl z 170 075 na 112 465. Výsledné mračno bylo kompaktnější, s hladší strukturou povrchů.

Export mračna

Po dokončení všech úprav bylo mračno vyexportováno zpět do formátu e57. Výsledný soubor lze dále importovat do programu ArchiCAD.

Model v ArchiCADu

Import mračna bodů do programu ArchiCAD probíhá tak, že se v nabídce *Soubor* → *Spolupráce* zvolí možnost *Import mračna bodů*. Po načtení se mračno automaticky uloží do knihovny projektu a následně vloží do pracovního prostředí softwaru.

Ve vlastnostech prvku bylo poté nutné změnit jednotky z metrů na milimetry, aby odpovídaly měřítku modelu.

3.1.4 Zaměření metodou laserového skenování

V rámci práce bylo využito laserové skenování, které umožňuje velmi přesné zachycení geometrie objektu pomocí laserového senzoru. Jak bylo uvedeno v teoretické části práce, surové mračno bodů neobsahuje barevnou informaci, která je při zpracování doplněna na základě obrazových dat z integrované kamery zařízení. Výsledkem je geometricky přesné mračno bodů s přiřazenými barevnými hodnotami odpovídajícími skutečnému vzhledu snímaného objektu. V současnosti je k dispozici široká škála zařízení využívajících tento princip, od mobilních zařízení až po profesionální geodetické systémy.

Zkušební zařízení a pomůcky

Pro tuto metodu byl použit tablet iPad Pro, který sice nedosahuje přesnosti profesionálních geodetických přístrojů, avšak představuje výrazně levnější a dobře dostupnou alternativu pro běžnou práci projektanta. Zároveň jde o komplexní nástroj, který umožňuje nejen měření, ale i další související činnosti spojené s projektovou přípravou.

Použité zařízení a pomůcky:

- **Tablet Apple iPad Pro 3. generace** – skenování měřeného prostoru.



Obr. 51 Použité zařízení a pomůcky | foto autor

Tablet Apple iPad Pro 3. generace

Tento tablet je vybaven čipem Apple M1, LiDAR skenerem, širokoúhlým a ultraširokoúhlým fotoaparátem, TrueDepth kamerou a sadou senzorů včetně akcelerometru,

gyroskopu a Face ID. Nabízí Thunderbolt / USB-4 port, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.0 a u některých modelů také 5G a GPS/GNSS. Podporuje Apple Pencil (2. generace / USB-C) a umožňuje připojení externího displeje až do 6K rozlišení [45].

Použitý software

V online obchodě App Store pro zařízení s operačním systémem iOS a iPadOS je v nabídce mnoho aplikací pro pořízení 3D modelu. Patří mezi ně například Polycam, 3d Scanner App, Pix4D, Scaniverse, CamToPlan.

Přehled použitého softwaru:

- **Polycam 3D Scanner (verze pro)** – skenování řešeného prostoru
- **CloudCompare** – zpracování mračna bodů; podrobněji viz kapitola na straně 54
- **ArchiCAD** – modelovací software; podrobněji viz strana 47

Polycam 3D Scanner

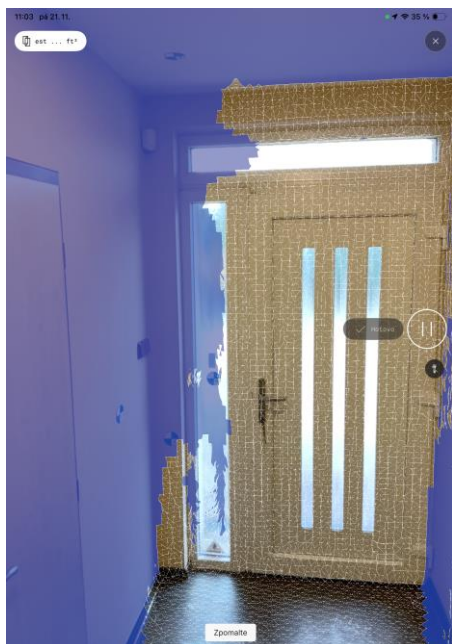
Polycam je aplikace pro iPhone a iPad, která umožňuje vytvářet 3D modely pomocí fotogrammetrie, LiDARu i 360° snímků a nabízí základní úpravy či export do běžných 3D formátů. Dostupná je v různých verzích, které se liší rozsahem funkcí i cenou. Aplikaci lze využívat také přes webové rozhraní [46].

Skenování prostoru

Skenování prostoru pomocí tabletu a aplikace Polycam je velmi intuitivní, jednoduché a rychlé. Po otevření aplikace se vytvoří nový záznam a v nabídce se zvolí typ skenu. Pro práci v interiéru byla použita varianta *Okolí*. Po spuštění záznamu již probíhá samotné skenování. Na displeji tabletu se zobrazuje síť z modrých trojúhelníků s bílými okraji, která se po naskenování konstrukcí změní na průhlednou, což umožňuje rychlou kontrolu již zachycených i chybějících oblastí. Důležité je pohybovat se s tabletem v různých pozicích, aby se předešlo vzniku stíněných míst.

Po naskenování celého prostoru se sken ukončí a zobrazí se náhled měřeného prostředí. Po volbě základních parametrů se záznam vyexportuje. Pokud se v exportu stále nacházejí stíněné nebo neúplné oblasti, lze sken rozšířit a tyto části doplnit. Není nutné

skenovat celý prostor znovu, stačí naskenovat pouze chybějící místo. Export probíhá stejným způsobem jako při prvním skenu. postup lze podle potřeby několikrát opakovat.



Obr. 52 Skenovaná síť | obrázek autor



Obr. 53 Nezachycená oblast | obrázek autor

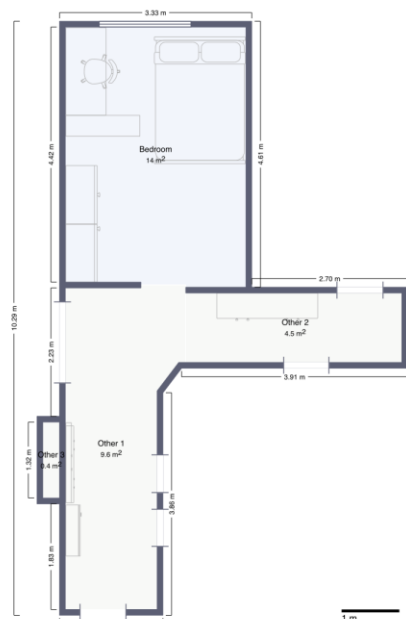
Export záznamu

Naskenovaný prostor se pomocí tlačítka v aplikaci nahraje na server, odkud jej lze snadno otevřít v počítačové aplikaci. Zde je možné provést základní kontrolu, úpravy a hlavně export skenu v požadovaném formátu. Verze Pro umožňuje export meshe i mračna bodů v několika formátech. Mesh např. jako .obj nebo .ply, mračno bodů jako .xyz či .dxf. V této práci bylo použito mračno ve formátu .xyz.

Aplikace dokáže také automaticky generovat jednoduchý půdorys a tabulky s plochami místností. Tyto výstupy však zatím často obsahují drobné nepřesnosti, a proto nejsou vhodné pro detailní zpracování. Dobře ale poslouží pro rychlý náčrt nebo orientační rozkres.



Obr. 54 Exportovaný prostor | obrázek autor



Obr. 55 Půdorys z aplikace | obrázek autor

Zpracování mračna bodů

Přestože lze mračno bodů částečně upravovat již v aplikaci, bylo provedeno detailnější zpracování v programu CloudCompare. Postup kontroly a úprav odpovídal metodě popsané v kapitole na straně 65.

Natočení mračna

Po načtení mračna bylo ověřeno, že jeho orientace vůči souřadnicím je správná, takže nebylo nutné provádět žádnou rotaci.

Změna měřítka

Kontrola světlých rozměrů dveří mezi místností chodba a pokoj a šířky chodby ukázala, že měřítko není třeba upravovat, protože odchylky se pohybovaly do ± 10 mm.

Vyčištění mračna

V této fázi bylo nutné odstranit odlehlé body. Postup čištění odpovídal kapitole na straně 65. Po aplikaci filtrů klesl počet bodů z původních 8 088 240 na 3 003 632.

Export mračna

Po veškerých úpravách a kontrolách bylo mračno vyexportováno ve formátu .e57.



Obr. 56 Upravené mračno bodů v programu CloudCompare | obrázek autor

Model v ArchiCADu

Při modelování prostoru v softwaru ArchiCAD bylo postupováno stejným způsobem jako u metody fotogrammetrie. Vzhledem k velkému počtu bodů a celkovému objemu dat však import mračna bodů trval výrazně déle.

3.1.5 Zaměření metodou Gaussian Splatting

V rámci diplomové práce byla ověřena také tato moderní metoda. Vzhledem k nespokojivé kvalitě výsledného mračna bodů dosažené při zaměření řešené části objektu nebyla tato metoda zahrnuta do následného porovnání všech použitých metod. Kvalita výstupu nebyla dostatečná, a proto nebylo možné s mračnem dále pracovat. Současně je nutné uvést, že v době zpracování této kapitoly (prosinec 2025) byla nabídka dostupného softwaru pro tuto technologii velmi omezená a možnosti alternativního zpracování byly minimální.

Zkušební zařízení a pomůcky

Tato metoda je velmi jednoduchá na použitý hardware a software obdobně jako laserové skenování v kapitole 3.1.4

Použité zařízení a pomůcky:

- **Tablet Apple iPad Pro 3. generace** – skenování měřeného prostoru.



Obr. 57 Použité zařízení a pomůcky | obrázek autor

Použitý software

- **Scaniverse** – skenování řešené části objektu – opensource
- **Polycam 3D Scanner (verze pro)** – skenování prostoru
- **CloudCompare** – úprava mračna bodů

Scaniverse

Je mobilní aplikace určená k pořizování, prohlížení a sdílení 3D scén dokumentujících místa, objekty, architekturu či umění z reálného světa. Umožňuje vytváření detailních prostorových modelů pomocí metody Gaussian Splatting přímo v mobilním zařízení, bez nutnosti externího výpočetního zpracování nebo připojení k internetu. Uživatel snímá objekty či prostory z různých úhlů, přičemž aplikace zajišťuje automatické zpracování a tvorbu 3D scén. Vytvořená data lze detailně prohlížet prostřednictvím mapového rozhraní, sdílet s ostatními uživateli nebo exportovat do běžných 3D formátů pro další zpracování a vizualizaci [51]; [52].

Skenování prostoru

Skenování bylo nejprve vyzkoušeno v Polycamu, avšak kvůli velmi dlouhému renderu a následným pádům aplikace nebylo možné se záznamem dále pracovat. Proto byl sken následně proveden s aplikací Scaniverse, který vykazoval stabilnější průběh.

Proces skenování se mírně liší od laserového skenování. Prostředí softwaru je obdobné, avšak po spuštění záznamu dochází k natáčení videa, během něhož se snímáný prostor zobrazuje nejprve rozostřeně a postupně se zostřuje a vyhlazuje, což indikuje již naskenované oblasti. Po ukončení záznamu je video automaticky vyrenderováno. Celý proces je velmi rychlý.

Vzhledem k neuspokojivé kvalitě výsledných mračen bodů byly vyzkoušeny celkem 3 varianty snímání:

Varianta 1

Prostor byl snímán bez systematického postupu. Výsledné mračno bylo velmi ne-kvalitní, chyběla většina chodby i zádveří.

Varianta 2

Prostor byl šestkrát obejit po směru hodinových ručiček, přičemž tablet byl držen v různých výškách a úhlech. Kvalita byla lepší, avšak stále nedostatečná. Postup vycházel

z doporučení výukových materiálů aplikace Scaniverse, které jsou však primárně zaměřeny na skenování objektů z vnější strany.

Varianta 3

Postup byl shodný s variantou 2, avšak po třetím okruhu byl změněn směr pohybu. Tato varianta poskytla nejlepší výsledky, přesto však kvalita mračna zůstala nevyhovující.

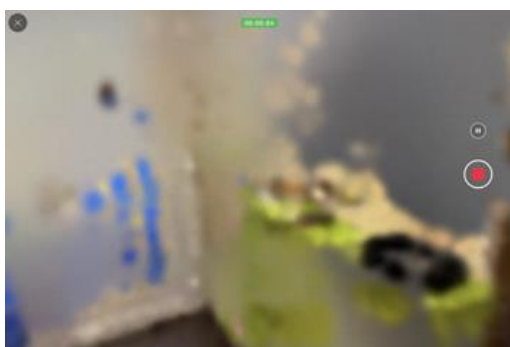
Export záznamu

Záznam lze v aplikaci exportovat nebo sdílet s ostatními uživateli (např. pomocí odkazu či zveřejněním na online mapě) a dále jej prohlížet, včetně využití ve virtuální realitě. Aplikace umožňuje také export mračna bodů ve formátu .spz nebo .ply.

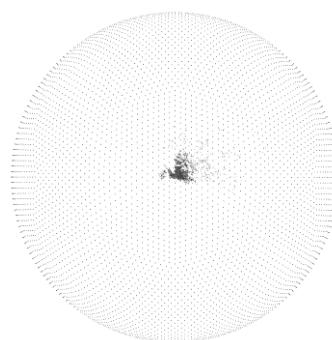
Zpracování a export mračna bodů.

Na rozdíl od fotogrammetrie a laserového skenování se po načtení mračna v programu CloudCompare zobrazuje mračno bez barevné informace RGB. Zaměřovaný objekt je navíc obalen pomocnou koulí, kterou je nutné spolu se surovým mračnem hrubě ořezat. Následně je třeba mračno otočit stejným postupem, jaký je popsán v kapitolách na stranách 65 a 72

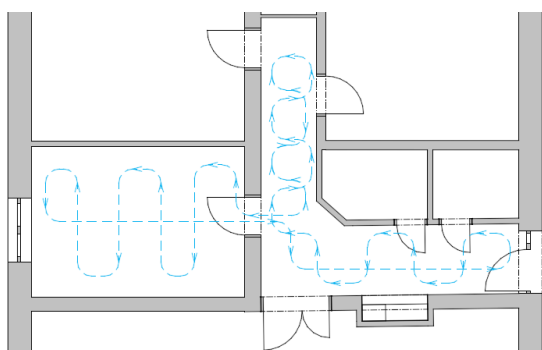
Po provedení těchto úprav lze mračno vyexportovat do libovolného formátu. Pro práci v Archicadu byly mračna exportovány ve formátech .e57



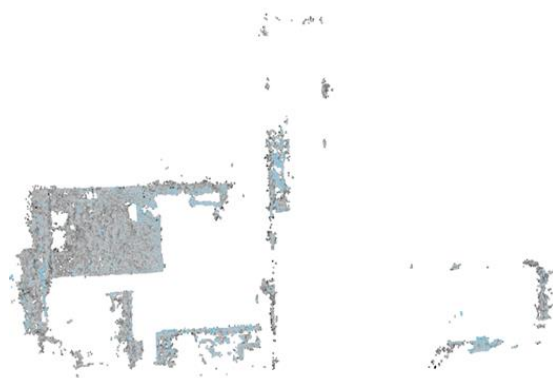
Obr. 58 Průběh skenování | obrázek autor



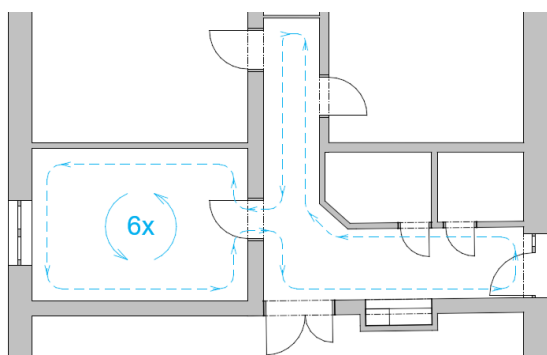
Obr. 59 Nevyčištěné mračno bodů | obrázek autor



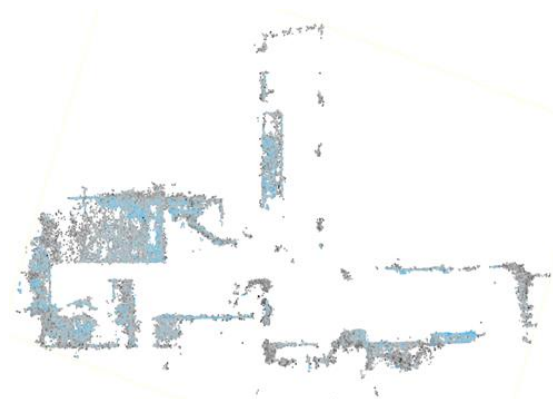
Obr. 60 Trasa 1 | obrázek autor



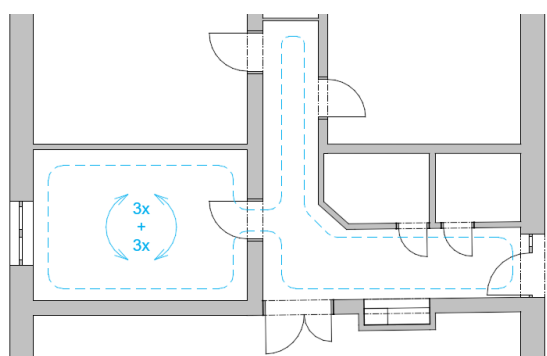
Obr. 61 Mračno bodů – varianta 1 | obrázek autor



Obr. 62 Trasa 2 | obrázek autor



Obr. 63 Mračno bodů – varianta 2 | obrázek autor



Obr. 64 Trasa 3 | obrázek autor



Obr. 65 Mračno bodů – varianta 3 | obrázek autor

Zobrazení v ArchiCADu

Ačkoliv bylo již v prostředí CloudCompare patrné, že kvalita mračna bodů není dostatečná, bylo mračno naimportováno do softwaru ArchiCAD. Po importu se ukázalo, že body ani po vyhlazení neleží v přímkách a poloha stěn se odchyluje až o ± 10 cm. Mračno navíc neobsahovalo stropní konstrukce, referenční body ani barevnou informaci. Z těchto důvodů bylo další zpracování ukončeno.



Obr. 66 Mračno bodů v Archicadu – půdorys | obrázek autor

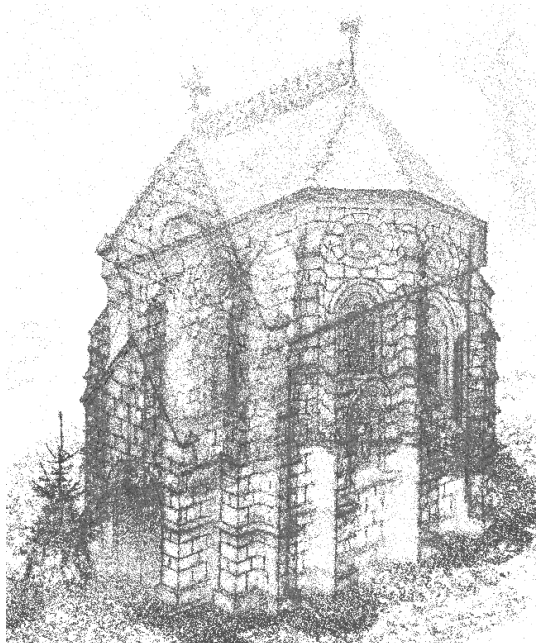


Obr. 67 Mračno bodů v Archicadu – řez | obrázek autor

Použití metody u exteriérové stavby

Navzdory uvedeným problémům byla metoda vyzkoušena také na menší kapli ze strany exteriéru, kde již dosahovala výrazně lepších výsledků. Oproti laserovému skenování (viz kapitola 3.1.4) umožnila snímání prvků z větší vzdálenosti bez výrazného

zkreslení a některé konstrukční detaily byly zachyceny podrobněji. Kromě kvality mračna bodů je zde nutné vyzdvihnout také větší dosah a vysokou kvalitu výsledného 3D modelu, který byl vizuálně velmi přesvědčivý.



Obr. 68 Mračno bodů kaple | obrázek autor



Obr. 69 3D model kaple | obrázek autor

Vyhodnocení

Jedná se o jednu z nejnovějších metod rekonstrukce 3D objektů, která zatím vykazuje určité nedostatky, zejména absenci barevné informace RGB, špatné natočení v prostoru a omezenou délku záznamu při snímání větších objektů. Přesto je tato metoda velmi rychlá a jednoduchá. Skenovaný prostor je zachycen detailněji a při stejné konfiguraci jako u laserového skenování umožňuje snímat i výrazně vzdálenější objekty. Z těchto důvodů se zatím metoda jeví jako perspektivní především pro rychlou vizuální dokumentaci menších prvků ze strany exteriéru nebo tam, kde není kladen důraz na přesnou geometrii a metricky využitelné výstupy, avšak její využití pro detailní pasportizaci interiérů je v současné podobě omezené.

3.1.6 Porovnání jednotlivých metod měření

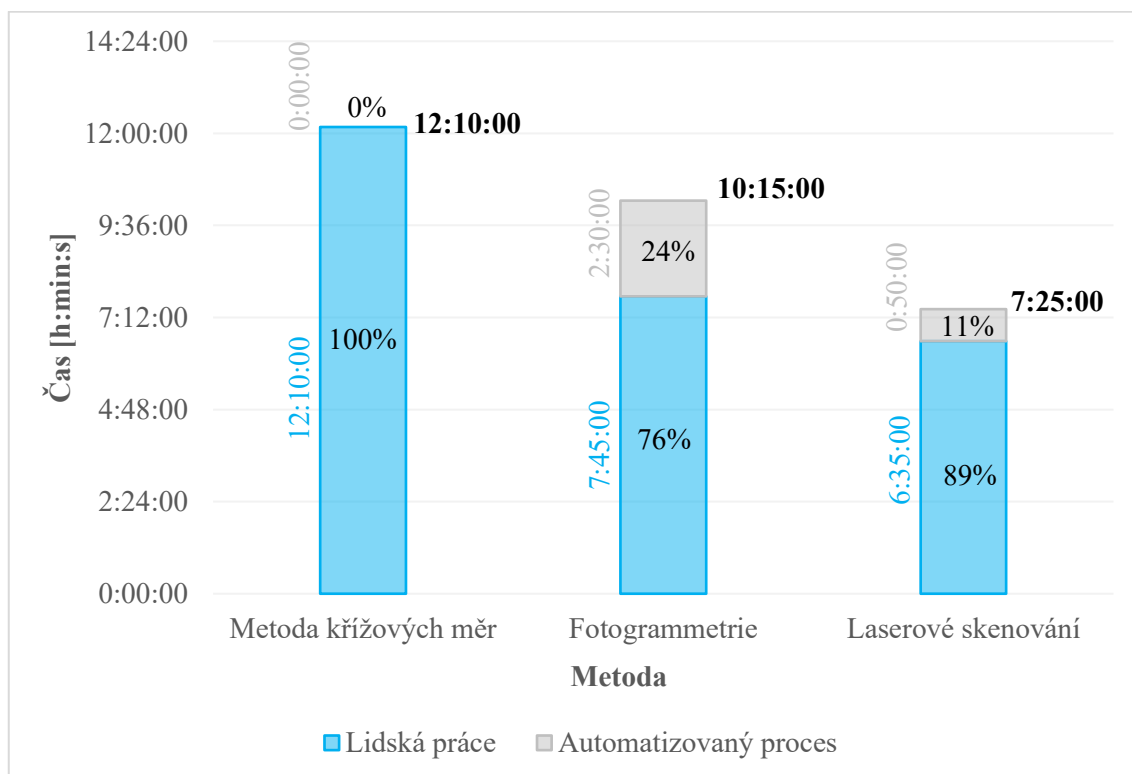
Použité postupy měření byly vyhodnocovány z několika hledisek. U všech tří metod měření byla sledována doba zpracování od zaměření po vytvoření finálního modelu, přesnost měření, objem generovaných dat, počet využitých programů během zpracování a také celková cena zahrnující náklady na software, hardware a čas.

Doba zpracování

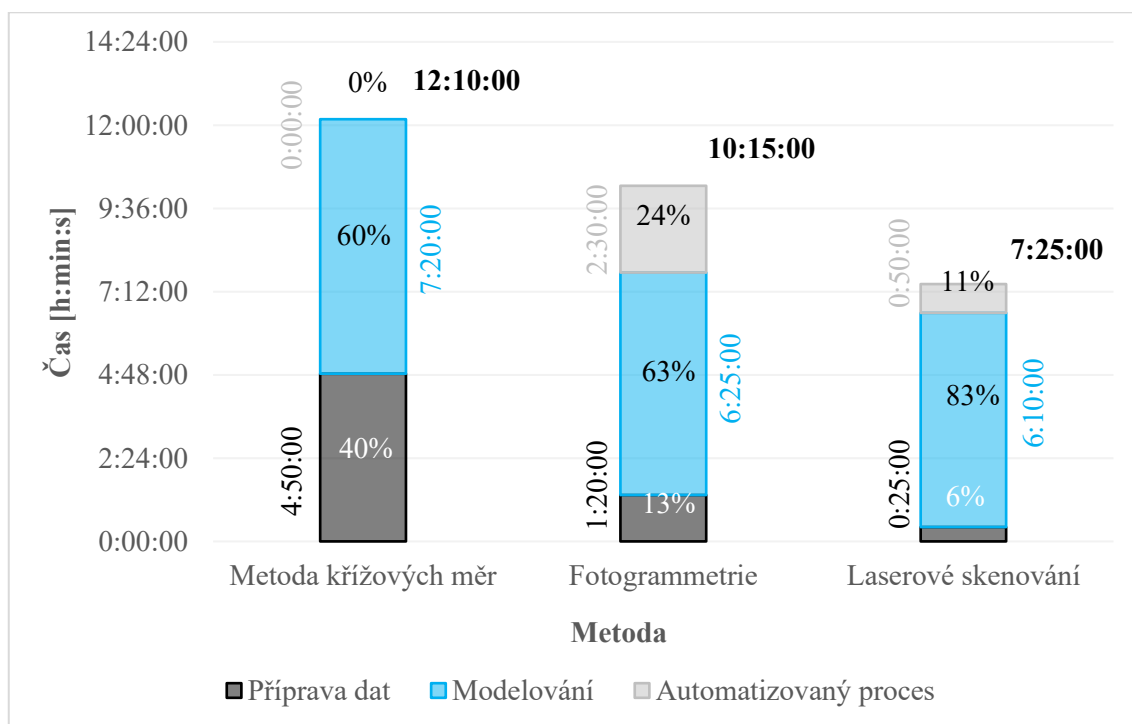
Tab. 4 Porovnání doby zpracování

Metoda křížových měř		Fotogrammetrie		Laserové skenování	
Činnost	Čas [h:min:s]	Činnost	Čas [h:min:s]	Činnost	Čas [h:min:s]
Zaměření	2:52:00	Videozáznam	0:06:00	1. Skenování	0:12:00
Náčrt v PC	1:59:00	Export videa	0:02:00	1. Render skenu	0:06:00
Model	7:18:00	Export videa	0:49:00	2. Skenování	0:03:00
		Blender šablona	0:34:00	2. Render skenu	0:07:00
		Blender export	0:03:00	CloudCompare	0:11:00
		Blender export	0:20:00	Import mračna	0:35:00
		Metashape	0:03:00	Model	6:10:00
		Metashape	1:19:00		
		CloudCompare	0:34:00		
		Import mračna	0:02:00		
		Model	6:24:00		
Celkový čas	12:09:00		10:16:00		7:24:00
Celkový čas	12:09:00		7:46:00		6:36:00

Poznámky:	
	Lidská práce – doba, kdy je činnost vykonávána uživatelem (např. měření)
	Automatizovaný proces – doba, kdy probíhá zpracování bez zásahu uživatele
	celková doba lidské práce a automatizovaného procesu



Gr. 1 Porovnání doby zpracování – lidská práce a automatizovaný proces



Gr. 2 Porovnání doby zpracování – více rozdělená lidská práce a automatizovaný proces

Přesnost měření

Přesnost byla vyhodnocena na plochách, objemech, vodorovných vzdálenostech, světých výškách a zachycených elektro komponentech. Vzdálenosti byly měřeny mezi referenčními body v prostoru. Pro každou hodnotu byla určena referenční hodnota jako medián tří měření, protože žádnou z metod nelze považovat za zcela přesnou. Odchytky byly vypočteny jako rozdíl mezi naměřenou a referenční hodnotou a byla určena také relativní odchylka v procentech. Celková přesnost metod byla vyjádřena aritmetickým průměrem všech odchylek.

Tab. 5 Porovnání přesnosti měření

Typ	Měrná jednotka	Prvek	R. h.	Metoda křížových měř			Fotogrammetrie			Laserové skenování		
				N. h.	Odchylka		N. h.	Odchylka		N. h.	Odchylka	
					[-]	[%]		[-]	[%]		[-]	[%]
Plocha	m ²	101 - Zádveří	6,56	6,57	+0,01	+0,2%	6,51	-0,05	-0,8%	6,56	-0,01	0,0%
Plocha	m ²	102 - Chodba	8,09	7,58	-0,51	-6,3%	8,09	0,00	0,0%	8,58	+1,00	+6,1%
Plocha	m ²	103 - Pokoj	13,58	13,58	0,00	0,0%	14,58	+1,00	+7,4%	13,26	-0,32	-2,4%
Plocha	m ²	Celková	28,40	27,73	-0,67	-2,4%	29,18	+0,78	+2,7%	28,40	+0,67	0,0%
Objem	m ³	101 - Zádveří	16,45	16,45	0,00	0,0%	16,64	+0,19	+1,2%	16,43	-0,02	-0,1%
Objem	m ³	102 - Chodba	20,83	19,14	-1,69	-8,1%	20,83	0,00	0,0%	21,67	+2,53	+4,0%
Objem	m ³	103 - Pokoj	36,26	36,26	0,00	0,0%	39,80	+3,54	+9,8%	35,27	-0,99	-2,7%
Objem	m ³	Celkový	73,37	71,85	-1,52	-2,1%	77,27	+3,90	+5,3%	73,37	+1,52	0,0%
Vzdálenost	mm	A - C	800	800	0,00	0,0%	800	0,00	0,0%	800	0,00	0,0%
Vzdálenost	mm	G - H	3064	3080	+16,00	+0,5%	Nez.	-	-	3048	-32,00	-0,5%
Vzdálenost	mm	I - 3	210	210	0,00	0,0%	205	-5,00	-2,4%	210	0,00	0,0%
Vzdálenost	mm	E - F	1490	1470	-20,00	-1,3%	1490	0,00	0,0%	1610	+140,00	+8,1%
Vzdálenost	mm	B - D	10461	10550	+89,00	+0,9%	Nez.	-	-	10372	-178,00	-0,9%
Vzdálenost	mm	I - J	10088	10210	+122,00	+1,2%	Nez.	-	-	9966	-244,00	-1,2%
Světla výška	mm	1 - 2	2670	2670	0,00	0,0%	2730	+60,00	+2,2%	2660	-10,00	-0,4%
Světla výška	mm	4 - 5	2525	2525	0,00	0,0%	2575	+50,00	+2,0%	2525	0,00	0,0%
Průměrná odchylka	%	-	-	-	-	-1,1%	-	-	+2,1%	-	-	+0,6%

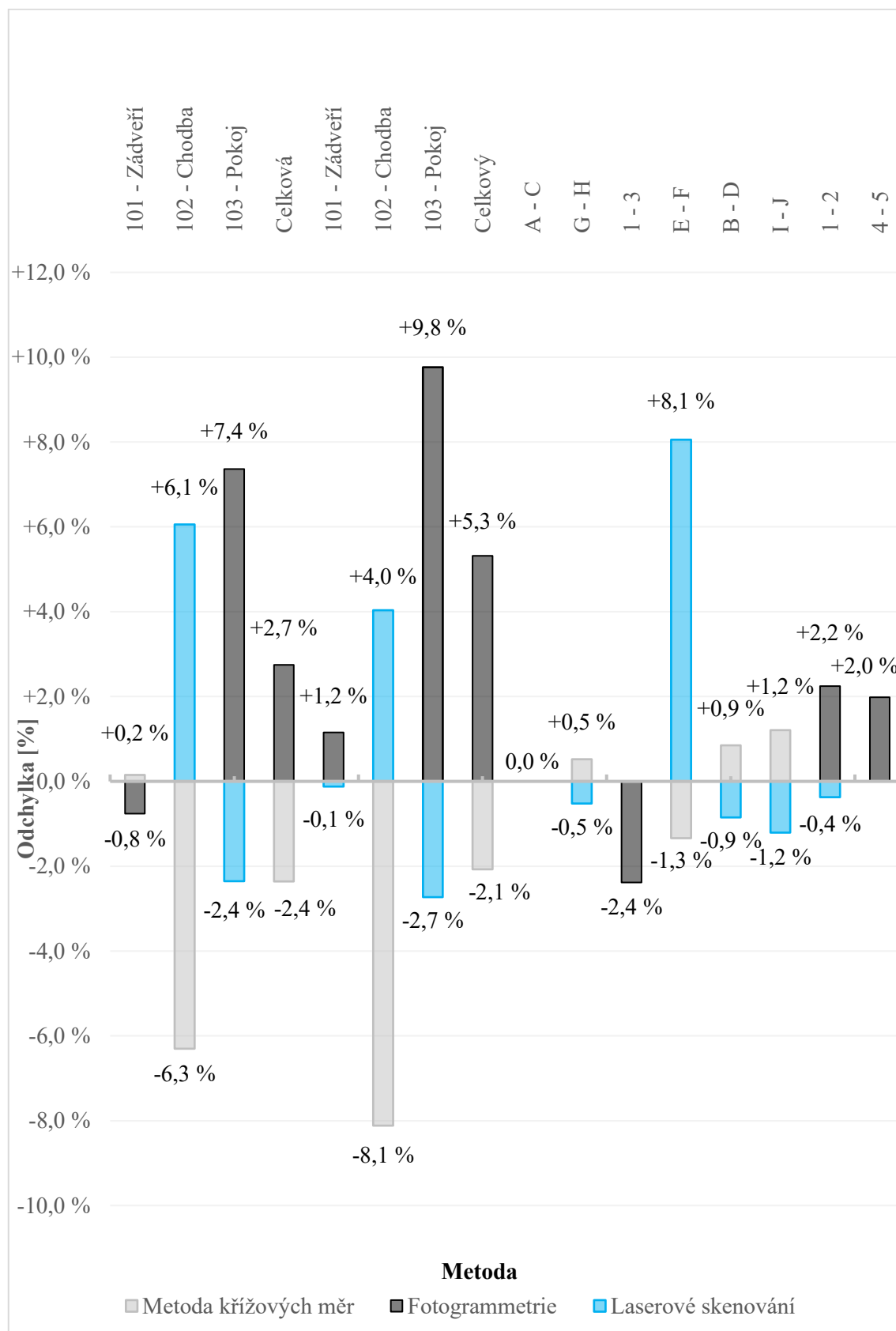
Poznámky:

Nez. - hodnota nebyla určena, protože při pořizování videa a následném fotogrammetrickém zpracování nebyl zachycen

příslušný referenční bod

R. h. - referenční hodnota

N. h. - naměřená hodnota

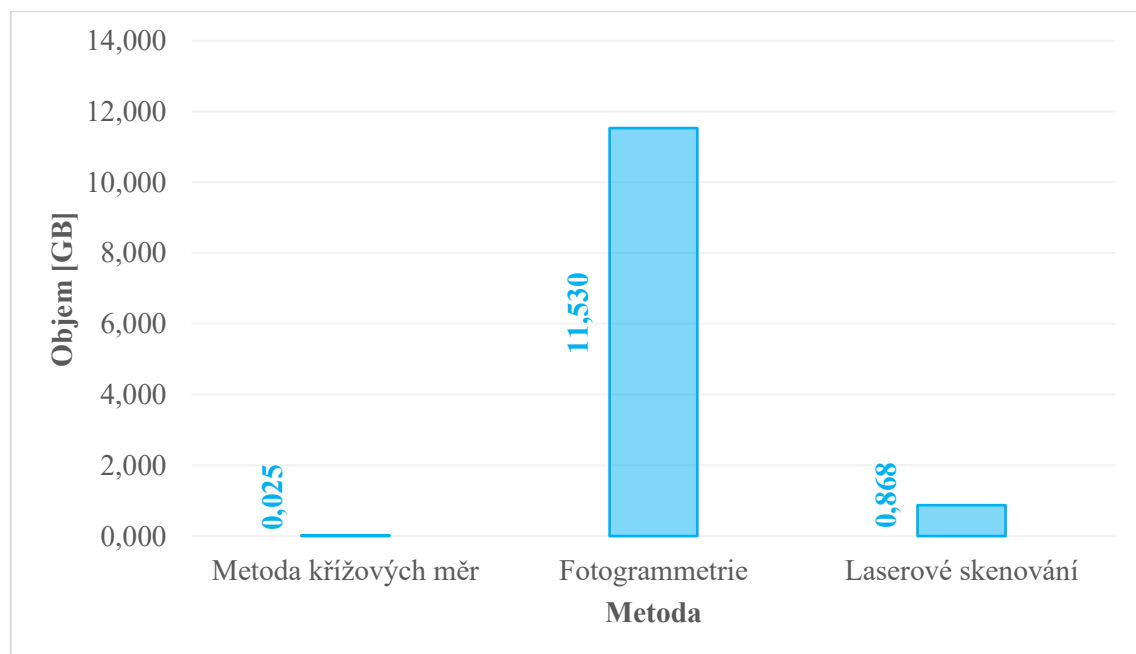


Gr. 3 Porovnání odchylek přesnosti měření

Objem dat

Tab. 6 Porovnání objemu dat

Metoda křížových měř		Fotogrammetrie		Laserové skenování	
Činnost	Data [GB]	Činnost	Data [GB]	Činnost	Data [GB]
Polní náčrt .pdf	0,001	Surové video	2,040	Surový sken	0,073
Model - Archicad	0,024	Exportované video	7,360	.xyz surové mračno	0,411
		Blender soubor	0,001	CloudCompare soubor.	0,314
		Sférické fotografie	2,020	.e57 mračno po úpravě	0,043
		Metashape soubor	0,040	Model - Archicad	0,027
		.e57 surové mračno	0,004		
		CloudCompare soubor.	0,034		
		.e57 mračno po úpravě	0,003		
		Model – Archicad	0,028		
Celkový objem dat	0,025		11,530		0,868

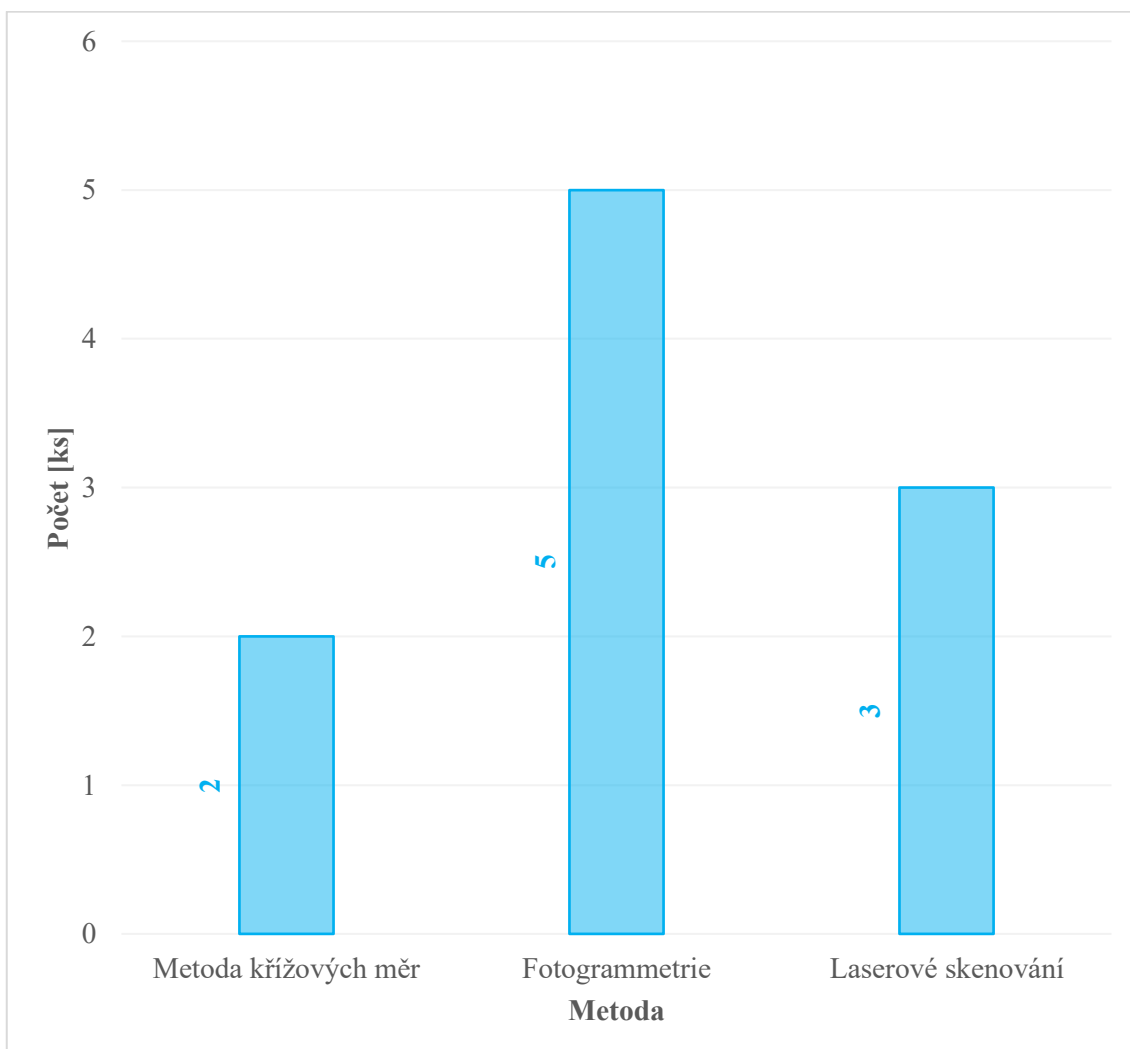


Gr. 4 Porovnání objemu dat

Počet použitých programů

Tab. 7 Porovnání počtu použitých softwarů

Metoda křížových měř		Fotogrammetrie	Laserové skenování
Použitý software [ks]		Použitý software [ks]	Použitý software [ks]
Poznámky+		Insta360 Studio	Polycam
ArchiCAD		Blender	CloudCompare
		Metashape	ArchiCAD
		CloudCompare	
		ArchiCAD	
Celkem sw.	2	5	3



Gr. 5 Porovnání počtu použitých softwarů

Celková cena

Tabulka s cenami byla sestavena ke dni 4. 12. 2025. Ceny softwarů, zařízení a pomůcek (včetně DPH) byly převzaty z oficiálních stránek výrobců či partnerských obchodů. Cena normohodiny byla určena na základě údajů z portálu Platy.cz a mediánu mzdy ČSÚ. Po přepočtu hrubé mzdy 45 000 Kč na měsíční pracovní fond (22,5 pracovních dnů × 8 hodin) činí hodinová sazba 250 Kč/h [68][69].

Do porovnání nejsou zahrnuty náklady na základní pracovní vybavení (např. PC, monitor), protože jsou společné všem metodám měření. Ve druhém grafu je cena ArchiCADu a modelování odečtena, aby neovlivňovala vzájemné srovnání měřicích technologií.

Náklady na hardware byly převedeny pomocí výpočtu na cenu jednoho projektu pomocí vzorce pořizovací cena / životnost / počet projektů za rok tak, aby došlo k eliminaci zkreslení způsobené rozdílnou životností jednotlivých zařízení.

Tab. 8 Náklady na zaměření a zpracování řešené části objektu – metoda křížových měř

Metoda křížových měř									
Položka	M. j.	Počet m. j.	Cena za m. j. [Kč / m. j.]	Cena [Kč]	Životnost [roky]	Projekty / rok [ks]	Cena za projekt [Kč]		
Čas - příprava dat	🕒	h	4,80	250	1 200	-	-	1200	
Čas - modelování	🕒	h	7,30	250	1 825	-	-	1825	
Ocelový svinovací metr	🔧	ks	1,00	93	93	20	30	0	
Laserový dálkoměr	🔧	ks	1,00	1 499	1 499	8	30	6	
Posuvné měřidlo	🔧	ks	1,00	340	340	20	30	1	
Stativ	🔧	ks	1,00	799	799	10	30	3	
Křížový laser	🔧	ks	1,00	3 999	3 999	10	30	13	
iPad Pro 3. generace 11"	🔧	ks	1,00	13 999	13 999	5	30	93	
Poznámky+ (v. 6.1.8)	📄	licence	1,00	verze zdarma	-	-	-	0	
ArchiCAD 28 (v. 28.0.0)	📄	licence	1,00	64 900	64 900	1	30	2163	
							Modernější	Klasický	
Celková cena – lidská práce	🕒							3025	3025
Celková cena – zař. a pomůcky	🔧							116	7
Celková cena – software	📄							2163	2163
Celková cena							5 305 Kč	5 195 Kč	

Poznámky:

M. j. – měrná jednotka

Pole označená světle modrou barvou představují variantu, kdy by byl prostor zaměřen klasickým způsobem pomocí papíru a psacích potřeb.

Tab. 9 Náklady na zaměření a zpracování řešené části objektu – metoda fotogrammetrie

Fotogrammetrie								
Položka	M. j.	Počet m. j.	Cena za m. j. [Kč / m. j.]	Cena [Kč]	Životnost [roky]	Projekty / rok [ks]	Cena za projekt [Kč]	
Čas – příprava dat	🕒	h	1,40	250	350	-	-	350
Čas – modelování	🕒	h	6,40	250	1 600	-	-	1600
Insta360 X4 + příslušenství	🔧	ks	1,00	15 999	15 999	5	30	107
Insta360Studio (v. 5.3.4)	📄	licence	1,00	open-source	-	-	-	0
Blender (v. 4.2.3)	📄	licence	1,00	open-source	-	-	-	0
RealityScan (v. 2.0.1)	📄	licence	1,00	verze zdarma	-	-	-	0
Metashape (v. 2.2.2 - Standard)	📄	licence	1,00	3 700	3 700	5	30	25
CloudCompare (v. 2.14.alpha)	📄	licence	1,00	open-source	-	-	-	0
ArchiCAD 28 (v. 28.0.0)	📄	licence	1,00	64 900	64 900	1	30	2163
Celková cena – lidská práce	🕒							1950
Celková cena – zařízení a pomůcky	🔧							107
Celková cena – software	📄							2188
Celková cena								4 245 Kč

Poznámky:

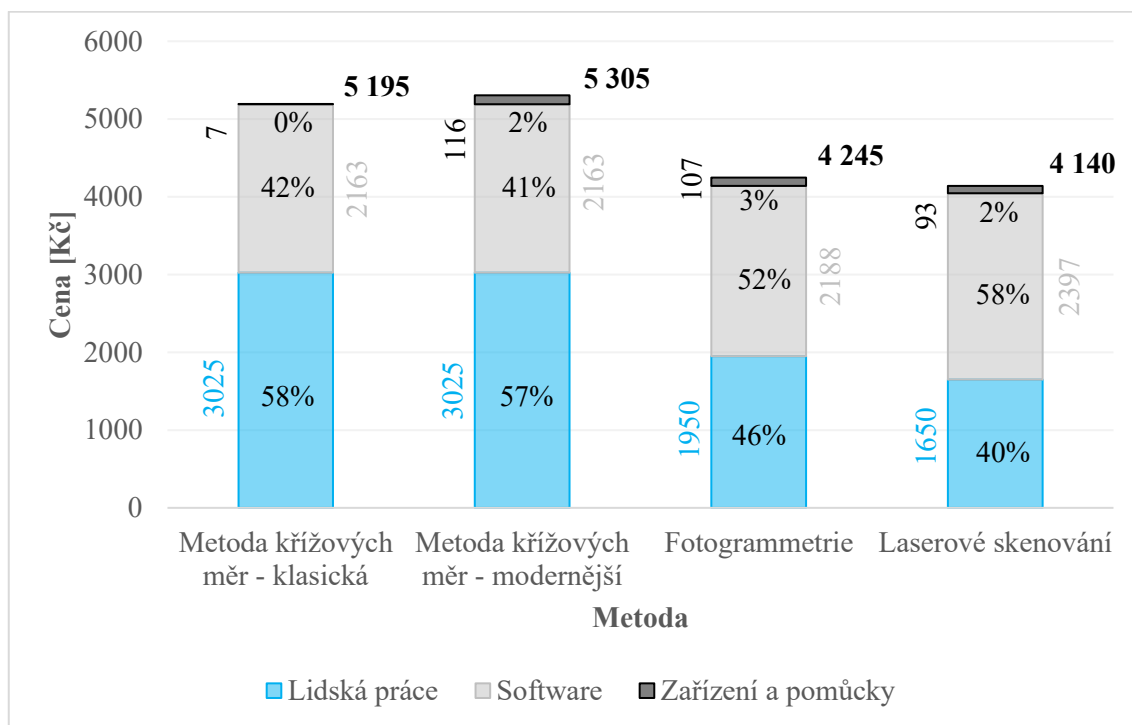
M. j. – měrná jednotka

Tab. 10 Náklady na zaměření a zpracování řešené části objektu – laserové skenování

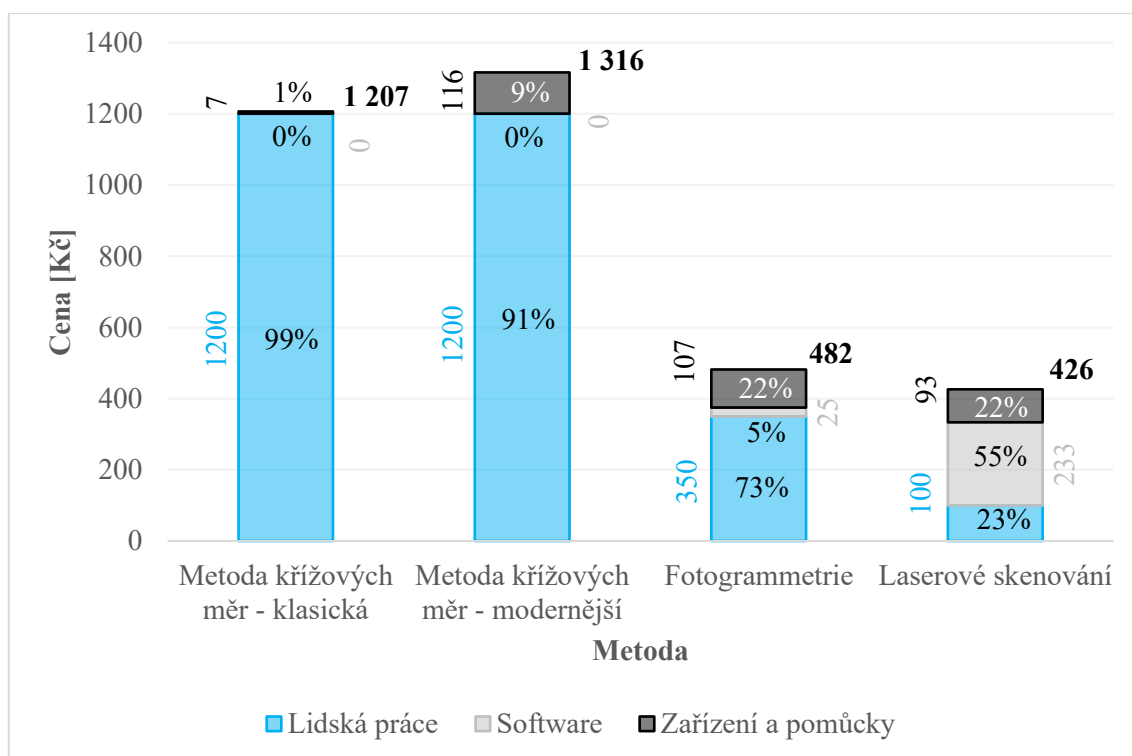
Laserové skenování								
Položka	M. j.	Počet m. j.	Cena za m. j. [Kč / m. j.]	Cena [Kč]	Životnost [roky]	Projekty / rok [ks]	Cena za projekt [Kč]	
Čas – příprava dat	🕒	h	0,40	250	100	-	-	100
Čas – modelování	🕒	h	6,20	250	1 550	-	-	1550
iPad Pro 3. generace 11"	🔧	ks	1,00	13 999	13 999	5	30	93
Polycam (v. 5.1.18 - Pro)	📄	licence	1,00	7 000	7 000	1	30	233
CloudCompare (v. 2.14.alpha)	📄	licence	1,00	open-source	-	-	-	0
ArchiCAD 28 (v. 28.0.0)	📄	licence	1,00	64 900	64 900	1	30	2163
Celková cena – lidská práce	🕒							1650
Celková cena – zařízení a pomůcky	🔧							93
Celková cena – software	📄							2397
Celková cena								4 140 Kč

Poznámky:

M. j. – měrná jednotka



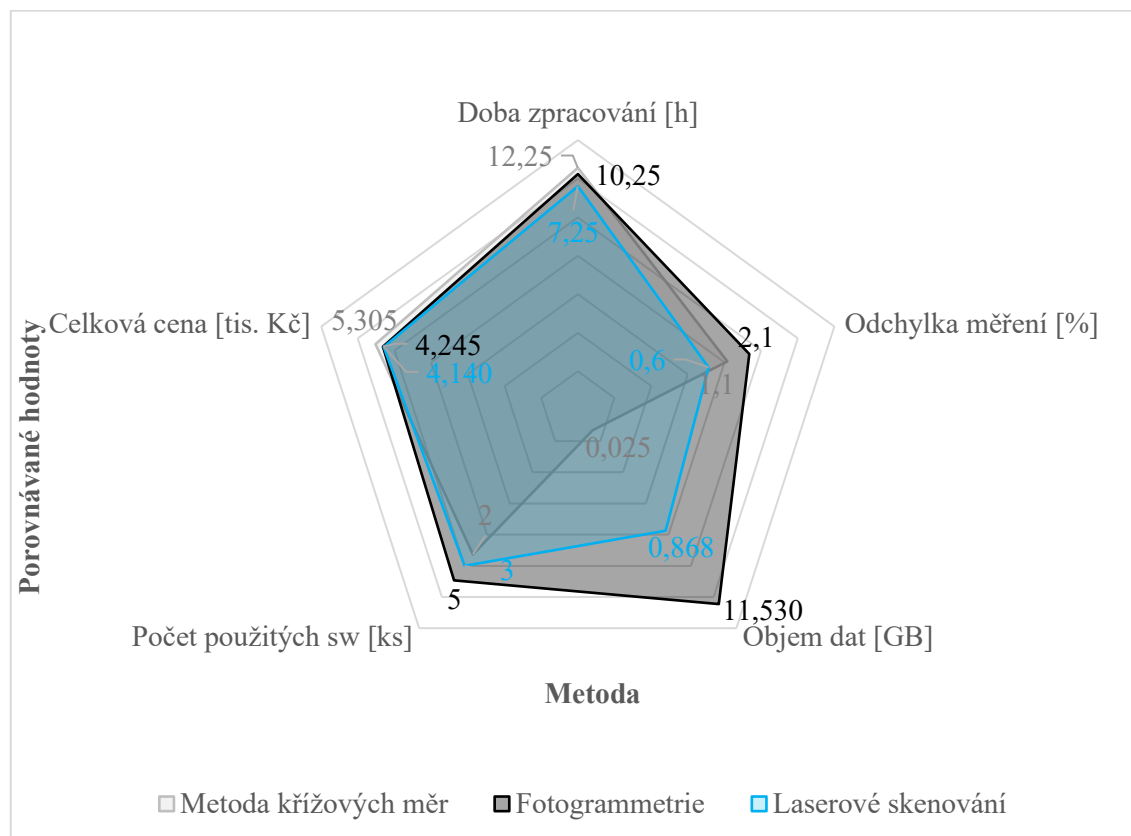
Gr. 6 Porovnání celkových nákladů na zaměření a zpracování řešené části objektu



Gr. 7 Porovnání celkových nákladů na zaměření a zpracování řešené části objektu bez vlivu modelování a ceny licence ArchiCADu

Souhrnné vyhodnocení dílčích částí

Výsledný souhrnný graf je zobrazen v logaritmickém měřítku z důvodu výrazně rozdílných řádů porovnávaných hodnot, což umožňuje jejich přehlednější a vzájemně srovnatelné zobrazení.



Gr. 8 Celkové porovnání hodnocených částí

Závěrečné vyhodnocení

Následující hodnocení se vztahuje ke konkrétním konfiguracím metody křížových měř, fotogrammetrie a laserového skenování tak, jak byly provedeny a popsány v předchozích částech této práce. Nejedná se tedy o obecné zhodnocení těchto technologií, ale o vyhodnocení jejich praktického uplatnění v rámci zvoleného experimentu. Výsledky je nutné chápat v kontextu konkrétního měřeného prostoru, použitého vybavení a zvoleného pracovního postupu, které ovlivnily dosažené hodnoty přesnosti, časovou náročnost i kvalitu výstupních dat. Výkresy uvedené v přílohách této práce slouží k ilustraci podoby získaných dat, která byla následně zahrnuta do procesu hodnocení.

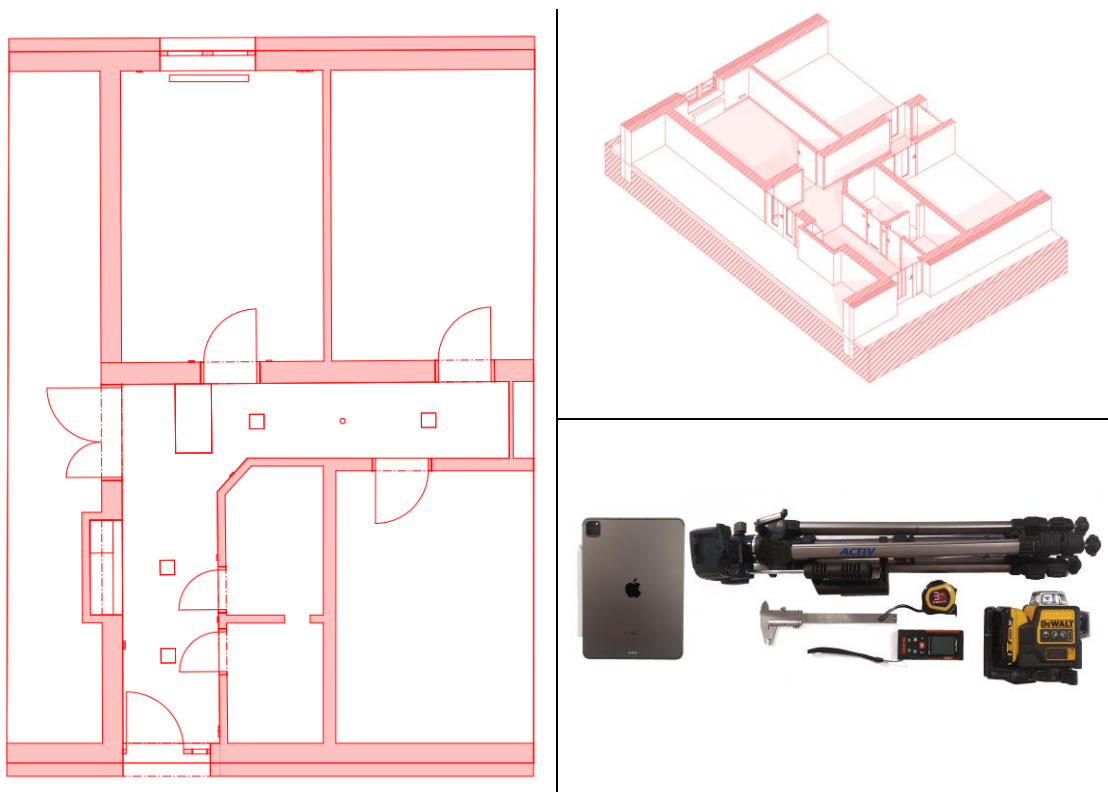
Metoda křížových měř

Výhody:

- ✓ Plná kontrola nad procesem měření
- ✓ Nulové technické nároky
- ✓ Menší závislost na světelných podmínkách
- ✓ Metodická jednoduchost
- ✓ Minimální objem dat
- ✓ Použití i ve stísněných prostorech

Nevýhody:

- ✗ Časová náročnost
- ✗ Chyby způsobené lidským faktorem
- ✗ Omezený potenciál vývoje
- ✗ Většinou nutná potřeba opakovaných návštěv místa měření
- ✗ Méně vhodné u složitější geometrie
- ✗ Kumulace chyb
- ✗ Nutnost fyzického přístupu ke každému měřenému prvku
- ✗ V některých případech obtížná realizace jednou osobou



Obr. 70 Souhrn – metoda křížových měř | obrázky autor

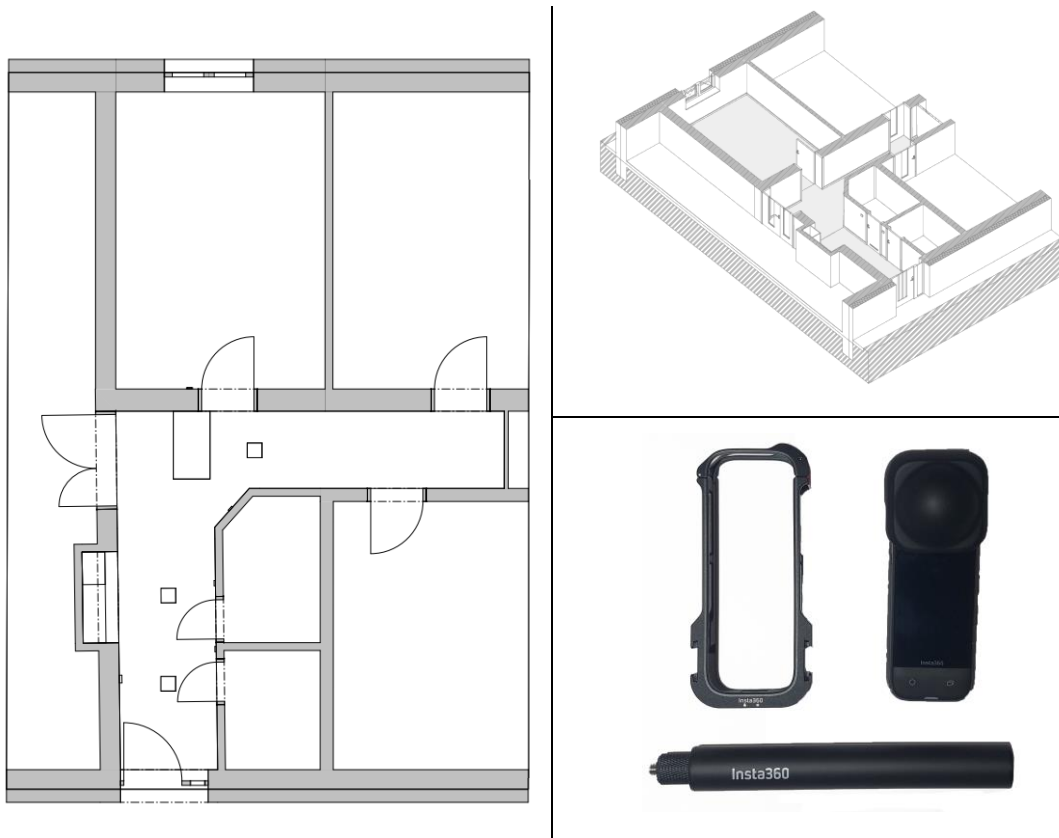
Fotogrammetrie

Výhody:

- ✓ Rychlost pořízení záznamu
- ✓ Komplexní záznam v několika průchodech
- ✓ Vícenásobné využití dat
- ✓ Velké množství informací z obrazových dat
- ✓ Možnost extrakce velkého počtu snímků z jednoho záznamu

Nevýhody:

- ✗ Velká citlivost na světelné podmínky
- ✗ Kontrola záznamu videa neodhalí kvalitu výsledného mračna bodů
- ✗ Citlivost na správné nastavení fotografických parametrů
- ✗ Nižší přesnost
- ✗ Složitější workflow
- ✗ Velký počet použitých softwarů
- ✗ Vysoké nároky na výpočetní výkon
- ✗ Řídké mračno bodů



Obr. 71 Souhrn – metoda fotogrammetrie | obrázky autor

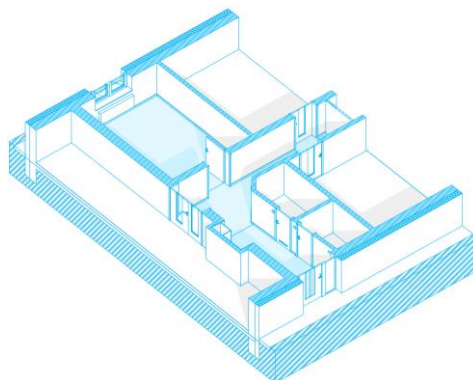
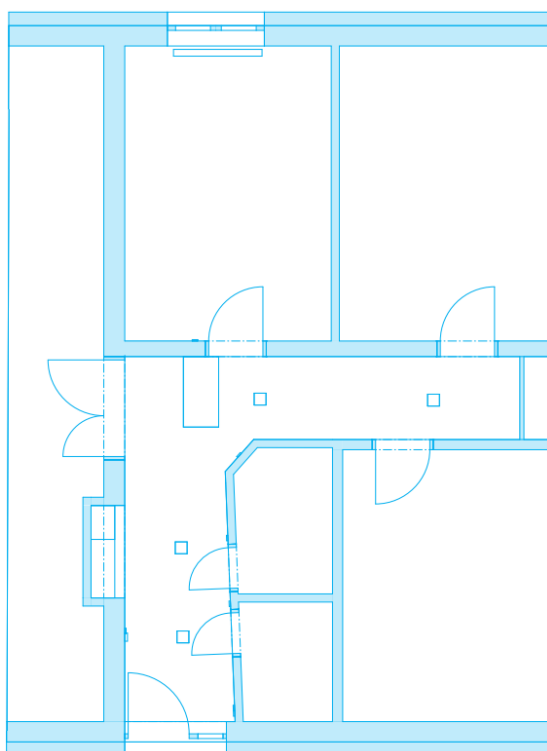
Laserové skenování

Výhody:

- ✓ Vysoká uživatelská intuitivnost
- ✓ Velmi rychlé pokrytí prostoru
- ✓ Automaticky správně určené měřítko i orientace výsledného mračna bodů
- ✓ Malé množství použitého softwaru i hardwaru
- ✓ Vysoká rychlost celého procesu
- ✓ Možnost okamžité vizuální kontroly na displeji tabletu
- ✓ Menší objem dat
- ✓ Velmi husté mračno bodů

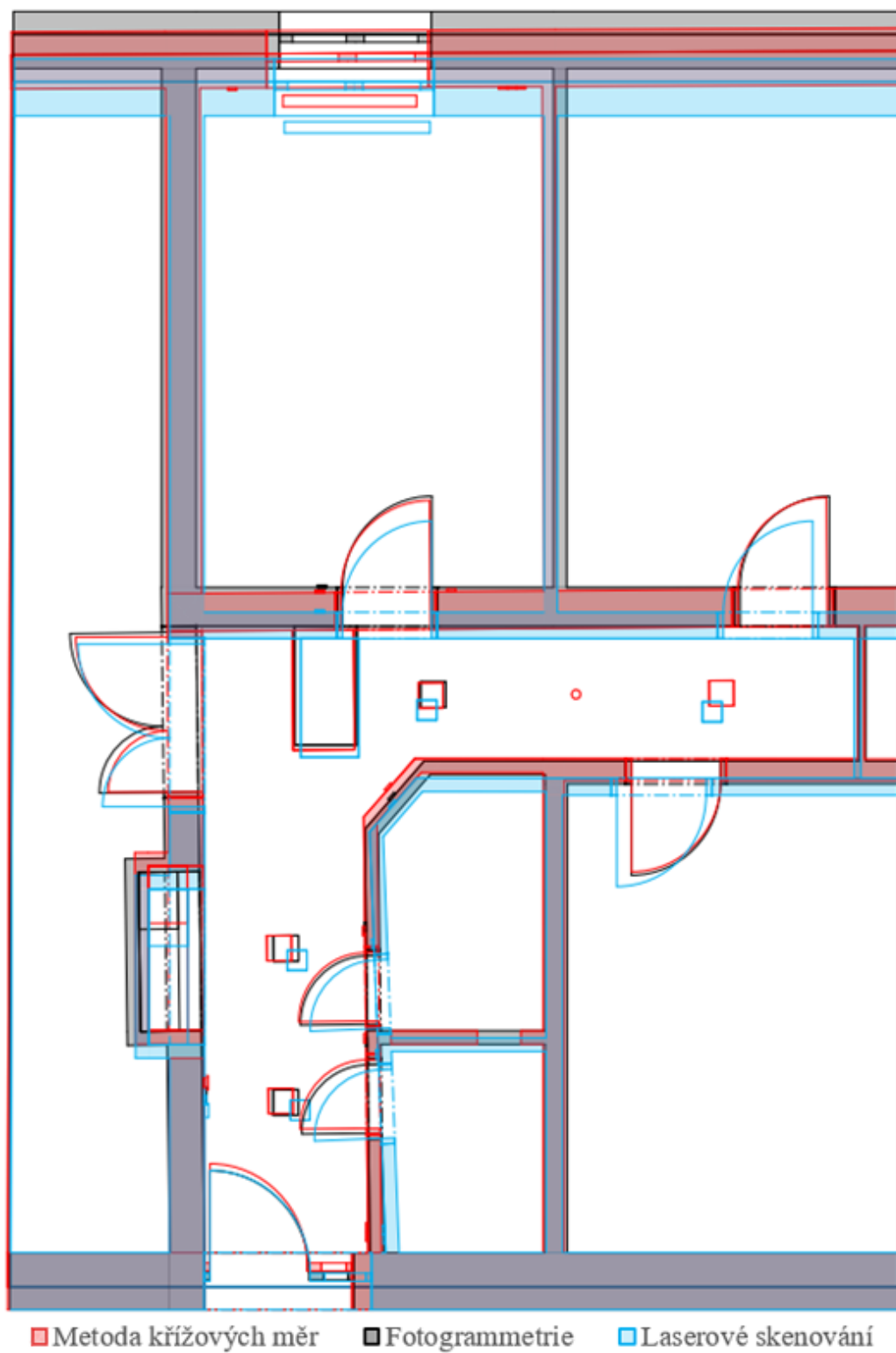
Nevýhody:

- ✗ Nižší přesnost na větší vzdálenosti
- ✗ Horší detekce lesklých a průhledných povrchů
- ✗ Omezený dosah vestavěných skenerů



Obr. 72 Souhrn – laserové skenování | obrázky autor

Porovnávané modely jsou rovněž uvedeny na výkresech tvořících přílohou této práce.



Obr. 73 Porovnání – půdorys | obrázek autor

3.2 Další využití laserového skenování

Vzhledem k dosaženým výsledkům mobilního laserového skenování byla tato technologie v rámci diplomové práce dále testována také na složitějších stavebních prvcích, se kterými se projektant může v praxi běžně setkat a jejichž zaměření je zbývajícími řešenými metodami podstatně obtížnější. Pro toto následné měření bylo využito odlišné technické vybavení i jiný software.

Kapitola se nezabývá podrobným geodetickým vyhodnocením přesnosti RTK systému, protože to přesahuje rámec práce. RTK je zde posuzováno pouze v základní rovině, tedy podle toho, zda došlo k fixaci signálu a průměrné přesnosti po měření. Hlavní pozornost je zaměřena na kvalitu výsledného mračna bodů a jeho využitelnost pro dokumentaci stavebních konstrukcí. Cílem je posoudit praktický přínos laserového skenování pro projekční účely, nikoli jeho absolutní přesnost v souřadném systému.

Zkušební zařízení a pomůcky

- **Mobilní telefon Apple iPhone 14 Pro** – skenování jednotlivých prvků
- **ViDoc RTK** – polohovací zařízení ke zvýšení přesnosti prostorové polohy podporující technologii RTK



Obr. 74 Použité zařízení a pomůcky | obrázek autor

Mobilní telefon Apple iPhone 14 Pro

Podle oficiálních stránek [48] je iPhone 14 Pro smartphone uvedený v roce 2022, vybavený čipem A16 Bionic s 6jádrovým CPU, 5jádrovým GPU a 16jádrovým Neural Enginem. Má profesionální fotosoustavu (48MP hlavní, 12MP ultraširokoúhlý a teleobjektiv), TrueDepth přední kameru a LiDAR skener. Podporuje 5G, Wi-Fi 6, Bluetooth

5.3, používá konektor Lightning a obsahuje řadu senzorů, včetně Face ID, gyroskopu, akcelerometru a barometru. Zařízení běží na systému iOS.

ViDoc RTK

Je přenosné zařízení, které rozšiřuje možnosti chytrého telefonu o přesné geodetické a dokumentační funkce – slouží jako GNSS rover, 3D skener a nástroj pro práci s daty v prostředí GIS i BIM. Připojit lze také různé typy GNSS antén podle požadované přesnosti práce. Díky kompaktním rozměrům a přesnosti až kolem 1 cm je vhodný pro terénní měření, dokumentaci staveb i rychlé pořizování prostorových dat [47].

Použitý software

- **Pix4Dcatch (verze professional)** – skenování řešených konstrukcí a prvků

Pix4Dcatch

PIX4Dcatch je aplikace pro mobilní zařízení (iOS i Android), která slouží k dokumentaci a mapování objektů pomocí fotogrammetrie a LiDAR senzoru iPhone. Umožňuje zaznamenávat detaily staveb, prvků infrastruktury i terénu a je využitelná ve stavebnictví, geodézii a veřejné správě. V kombinaci s modulem PIX4Dcatch RTK rozšiřuje možnosti o přesnější určování polohy v terénu [49].

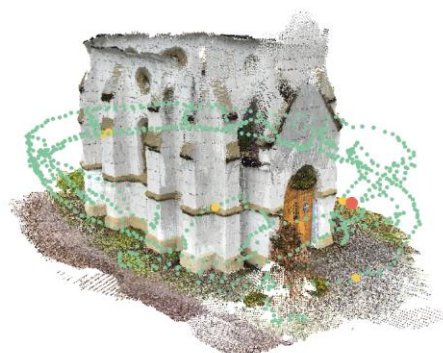
Fixace polohového signálu a jeho kvalita

Po spuštění aplikace je její prostředí velmi podobné aplikaci Polycam (kapitola 3.1.4). Navíc se v levém horním rohu zobrazuje okno s typem přijímaného signálu, jeho aktuální kvalitou a odhadovanou horizontální a vertikální přesností. Tyto hodnoty závisí na podmínkách příjmu, zejména na výhledu na oblohu a přítomnosti překážek či odrazů signálu. Při vhodném umístění se přesnost měření výrazně zlepšuje.

Skenování a zpracování řešených prvků

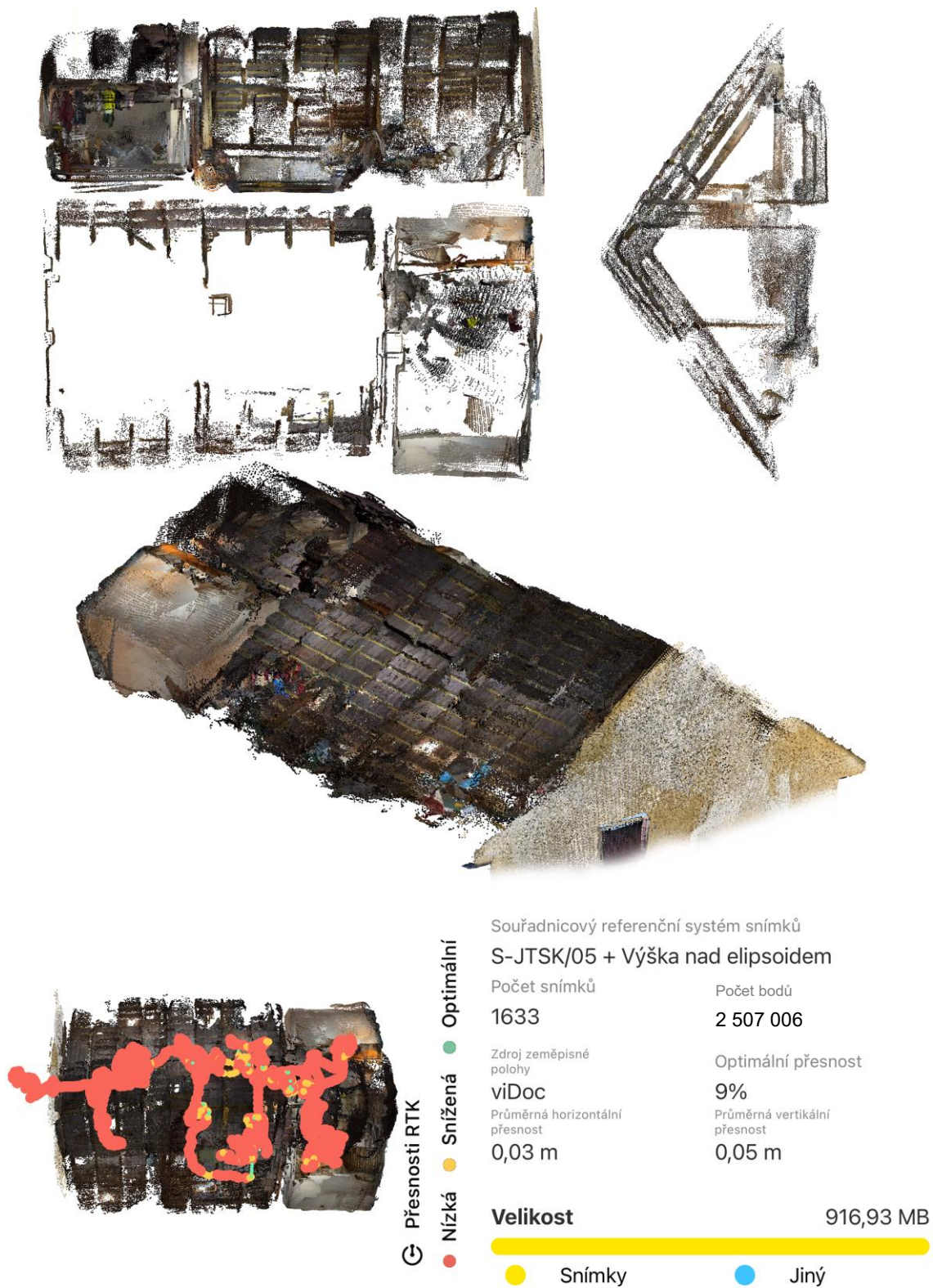
Pracovní postup při použití tohoto zařízení a softwaru se kromě přesnějšího určování polohy zásadně neliší od postupu v aplikaci Polycam popsané v kapitole 3.1.4, a proto zde není znovu uváděn. Následující části práce se zaměřují pouze na to, jak si daná sestava poradila s naskenováním složitějších tvarů.

Výsledná mračna bodů

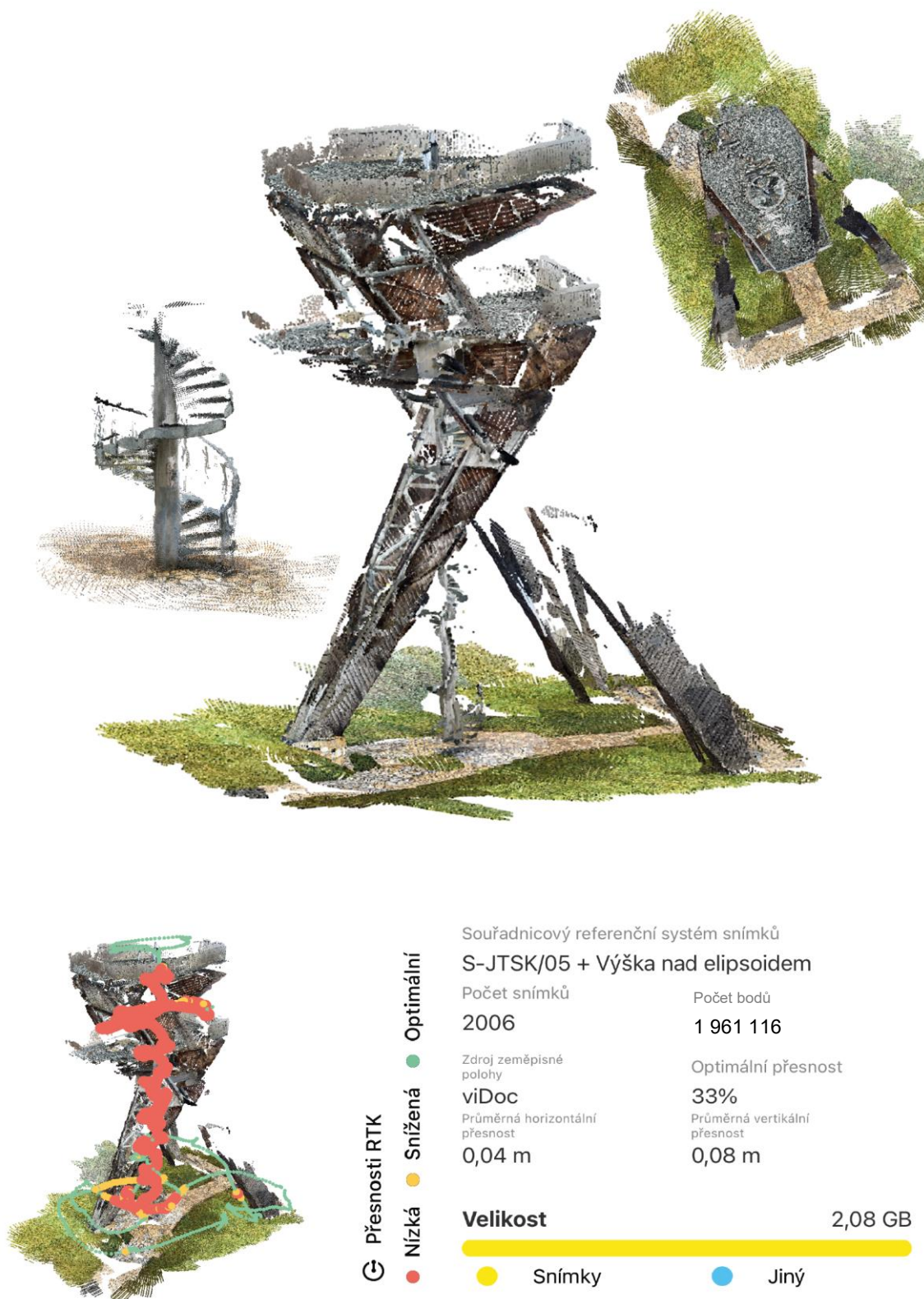


Přesnosti RTK ● Nízká ● Snížená ● Optimální	Souřadnicový referenční systém snímků	
	S-JTSK/05 + Výška nad elipsoidem	
	Počet snímků	Počet bodů
	708	1 394 817
	Zdroj zeměpisné polohy	Optimální přesnost
	viDoc	99%
	Průměrná horizontální přesnost	Průměrná vertikální přesnost
	0,01 m	0,01 m
Velikost		1,02 GB
● Snímky ● Jiný		

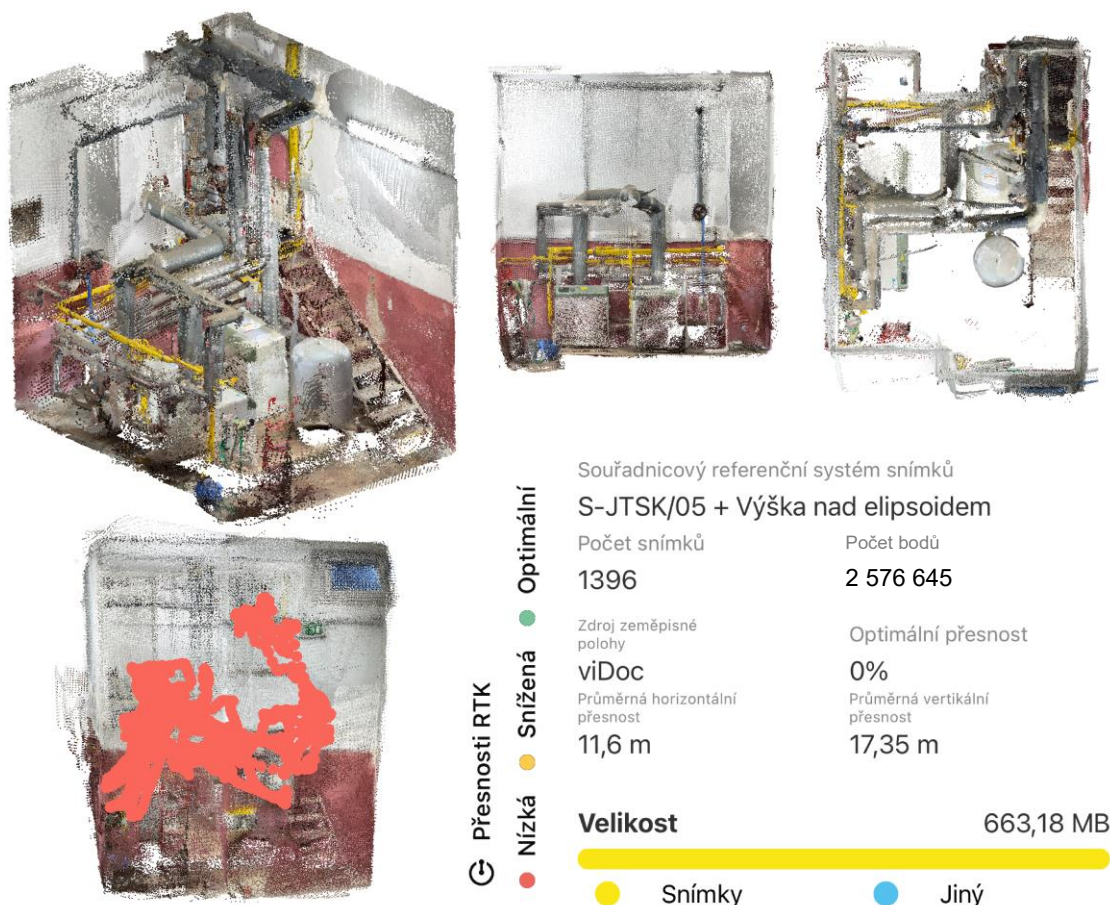
Obr. 75 Kaple Pohořelice – Pix4D | obrázek autor



Obr. 76 Krov v RD – Pix4D | obrázek autor



Obr. 77 Rozhledna Salaš – Pix4D | obrázek autor



Obr. 78 Kotelna v BD – Pix4D | obrázek autor

Vyhodnocení

Tab. 11 Tabulka s informacemi skenovaných prvků

Zaměřované místo	Počet bodů	Počet snímků [ks]	Velikost [GB]	Průměrná horizontální přesnost [m]	Průměrná vertikální přesnost [m]
Kaple Pohořelice	1 394 817	708	1,02	0,01	0,01
Krov v RD	2 507 006	1 633	0,92	0,03	0,05
Rozhledna Salaš	1 961 116	2 006	2,08	0,04	0,08
Kotelna v BD	2 576 645	1 396	0,66	11,60	17,35

Zařízení si dobře poradilo i se skenováním složitějších prvků, avšak největší obtíže se objevily u prutových a perforovaných konstrukcí, kruhových průřezů prvků, lesklých povrchů a v hůře osvětlených částech prostoru, přičemž se zároveň projevil omezení dosahu skeneru. Přesnost RTK byla ztracena při pohybu se zařízením bez dostatečného výhledu na otevřenou oblohu.

3.3 Fotodokumentace

Z teoretické části práce vyplývá, že nedílnou součástí každého pasportu stavby, nebo alespoň procesu jeho zpracování, je fotodokumentace. Ta slouží k vizuálnímu zaznamenání skutečného stavu objektu a k doplnění technických údajů o obrazovou informaci. V současné době se fotodokumentace nejčastěji pořizuje mobilním telefonem, který díky své dostupnosti a kvalitě vestavěných kamer představuje rychlý a efektivní nástroj pro záznam.

Fotodokumentace má však význam i v dalších fázích práce, zejména při následném vytváření digitálního modelu stavby. Poskytuje možnost zpětné kontroly detailů, které nemusí být zřejmé z polních náčrtů nebo měřických údajů, a umožňuje tak lépe porozumět prostorovým souvislostem a správně interpretovat zaměřené konstrukce.

3.3.1 Videodokumentace

Výsledný 360° videozáznam lze kromě fotogrammetrie (viz kapitola 3.1.3) využít také jako náhradu tradiční fotodokumentace pořizované mobilním telefonem. Poskytuje podrobnější prostorovou informaci, umožňuje zpětné zobrazení detailů a jeho pořízení i zpracování je velmi rychlé.

Pro interaktivní prohlížení videa v plném 360° rozsahu je nutné použít přehrávací software podporující tuto funkci. Vhodná je například open-source aplikace VLC Media Player, umožňující plynulé otáčení a přiblížení záznamu přímo během přehrávání.



Obr. 79 Záznam z 360° kamery | foto autor

3.3.2 Zobrazení ve VR – Gaussian Splatting

Zkušební zařízení a pomůcky

- VR brýle Meta Quest 3 – zobrazení modelu ve virtuální realitě.
- Tablet Apple iPad Pro 3. generace – skenování měřeného prostoru.



Obr. 80 Použité zařízení a pomůcky | obrázek autor

VR brýle Meta Quest 3

Meta Quest 3 je samostatný VR/XR headset vybavený čipem Snapdragon XR2 Gen 2, 8 GB operační paměti a úložištěm o kapacitě 512 GB. Oproti předchozí generaci nabízí vyšší grafický výkon a podporu náročnějších aplikací. Zařízení využívá barevný passthrough pomocí RGB kamer a hloubkového snímání pro mapování okolního prostoru. Obraz je zobrazován na dvou displejích s rozlišením 2064×2208 pixelů na oko a obnovovací frekvencí až 120 Hz. Headset podporuje ruční ovládání bez kontrolerů i klasické ovladače a umožňuje připojení k PC prostřednictvím kabelu nebo bezdrátově. [53]

Použitý software

- Scaniverse – skenování prostoru, zobrazení ve virtuální realitě

Popis procesu

Postup skenování řešeného prostoru je popsán v kapitole 3.1.5. Pořízený sken je následně možné uložit do uživatelského úložiště aplikace Scaniverse, které je synchronizováno v rámci stejného účtu přihlášeného na tabletu i ve VR zařízení, nebo jej zveřejnit

na veřejné mapě aplikace. Ve virtuální realitě lze sken zobrazit buď ze soukromé knihovny účtu, nebo prostřednictvím veřejné mapy, podle zvoleného způsobu publikace.

Zobrazení ve VR

Po spuštění aplikace ve virtuální realitě se uživatel přihlásí ke svému účtu, ve kterém je synchronizován nahraný sken prostoru. V případě, že se sken po přihlášení automaticky nezobrazí nebo není možné se k účtu přihlásit, je možné jej v případě zveřejnění vyhledat prostřednictvím interaktivní mapy a následně otevřít.

Po načtení modelu je možné se pomocí ovladačů virtuální reality volně pohybovat ve virtuálním prostředí a prohlížet naskenovaný prostor z různých perspektiv. Zobrazený objekt působí velmi realisticky a věrohodně, přičemž jsou zachyceny i jemné geometrické a vizuální detaily, které významně přispívají k celkovému dojmu prostoru. Sken dosahuje oproti variantě zobrazení meshe výrazně větších vzdálenostních rozsahů.



Obr. 81 Zobrazení kaple ve VR – Gaussian Splatting | obrázek autor

3.3.3 Zobrazení ve VR - mesh

Zkušební zařízení a pomůcky

- **VR brýle Meta Quest 3** – zobrazení modelu ve virtuální realitě.
- **Tablet Apple iPad Pro 3. generace** – skenování měřeného prostoru.



Obr. 82 Použité zařízení a pomůcky | foto autor

Použitý software

K vytvoření meshe lze využít aplikace, které umožňují jeho následný export ve formátu GLB/GLTF. Mezi takové aplikace patří například Polycam, který byl využit u kapitoly 3.1.4

Přehled použitého softwaru:

- **Polycam 3D Scanner (verze pro)** – skenování prostoru
- **Adobe Substance 3D Reviewer** – zobrazení modelu ve VR

Adobe Substance 3D Reviewer

Je nástroj určený k prohlížení, kontrole a sdílení 3D modelů. Podporuje spolupráci více uživatelů, kteří mohou modely současně procházet a komentovat v reálném čase, a to jak v prostředí virtuální reality, tak na běžném stolním počítači [54].

Skenování prostoru

Skenování prostoru probíhá shodně s postupem popsáním v kapitole 3.1.4.

Export záznamu

Naskenovaný prostor je z aplikace exportován ve formě meshe, který je pro zobrazení ve virtuální realitě vhodnější než mračno bodů. Vhodným formátem je GLTF nebo GLB, které při exportu ukládají geometrii, barvy i textury do jednoho souboru.

Upload do webového rozhraní Adobe Substance

Exportovaný mesh je v počítači nahrán do cloudové aplikace Adobe Substance, která je synchronizována se složkou dostupnou ve VR brýlích v rámci stejné aplikace.

Zobrazení ve virtuální realitě

Po přihlášení do aplikace Adobe Substance ve virtuální realitě, pomocí stejného uživatelského účtu, se zobrazí synchronizovaná složka s nahranými modely. Vybraný mesh je následně možné zobrazit, procházet jím a detailně si jej prohlížet ve virtuálním prostoru.



Obr. 83 Zobrazení kaple ve VR – mesh | obrázek autor

3.3.4 Vyhodnocení

Výhody a nevýhody vycházejí z vlastností a vyhodnocení předchozích kapitol a mají mnoho společných rysů.

VR – Gaussian Splatting

Výhody:

- ✓ Výstup je součástí skenu – není nutné další zpracování dat
- ✓ Velmi rychlé pořízení i zpracování výsledku
- ✓ Rychlá synchronizace bez nutnosti dodatečných úprav

Nevýhody:

- ✗ V současné době omezené možnosti skenování interiérových prostor
- ✗ Velmi omezená velikost skenovaného objektu

VR – mesh

Výhody:

- ✓ Možnost získat prostorové informace o interiéru
- ✓ Snadná orientace v prostoru

Nevýhody:

- ✗ Složitější workflow a větší počet kroků
- ✗ Kvalita mračna bodů nezaručuje odpovídající kvalitu výsledného meshe
- ✗ Časová náročnost zpracování
- ✗ Někdy nutnost dodatečné úpravy
- ✗ Požadavek na specifický exp. formát
- ✗ Mesh zpravidla méně vystihuje detaily snímaného prostoru

Vzhledem k nevýhodám jednotlivých přístupů, zejména časové náročnosti a kvalitě výsledného zobrazení prostoru v podobě meshe a omezením při skenování interiérů i velikosti objektu u metody Gaussian Splatting, nelze na základě provedeného experimentu považovat zobrazení ve virtuální realitě za plnohodnotnou náhradu klasické fotodokumentace a videozáznamů sloužících jako podklad pro další zpracování. Tyto závěry se vztahují výhradně k podmínkám a konfiguraci použitým v rámci této diplomové práce, přičemž virtuální realita může být nadále využita zejména pro účely prostorové vizualizace v počátečních fázích projekční přípravy.

4 ZÁVĚR

Současná doba nabízí řadu alternativ, kterými lze tradiční metody sběru dat při pasportizaci staveb nahradit nebo alespoň vhodně doplnit. Cílem diplomové práce bylo ověřit vybrané tradiční a moderní metody a porovnat je z hlediska jejich praktické použitelnosti.

Teoretická část práce se věnovala základním pojmům pasportizace, přehledu měřicích metod a současným trendům ve stavebnictví, jako jsou digitalizace, BIM, umělá inteligence a rozšířená realita. Tyto kapitoly vytvořily teoretický přehled pro následnou experimentální část práce.

V první části praktické části byly na základě teoretické rešerše experimentálně ověřeny a aplikovány vybrané metody zaměření stávajícího stavu, včetně metody křížových měř a jejich alternativ, při zaměření vymezené části půdorysu rodinného domu. Použité technické vybavení bylo záměrně voleno tak, aby bylo finančně dostupné jednotlivcům nebo menším projektovým týmům. Metody byly vzájemně hodnoceny z hlediska časové náročnosti, přesnosti, objemu vznikajících dat, počtu použitých softwarových nástrojů a přibližné ceny. Na základě vyhodnocení výsledků se ukázalo, že metoda křížových měř zůstává i nadále nejjistějším postupem zejména z hlediska kontroly nad průběhem měření a zpracováním dat, přičemž její nevýhodou je nutnost doplňujícího měření v případech chybějících nebo nepřesných údajů. Jako dostupná a v praxi dobře využitelná alternativa se jeví laserové skenování realizované pomocí tabletu nebo telefonu, jehož využití je však omezeno především dosahem skeneru a je proto vhodné zejména pro interiéry menších objektů, typicky rodinných a bytových domů. Fotogrammetrie realizovaná pomocí 360° kamery se v daném experimentu ukázala jako nejméně efektivní metoda, a to především z důvodu složitého pracovního postupu, velkého objemu dat a nejistoty výsledného výstupu.

Součástí práce bylo rovněž ověření technologie Gaussian Splatting, která svým principem navazuje na laserové skenování a umožňuje překonat některá její omezení, zejména z hlediska dosahu. V současné době je však tato technologie limitována rozsahem skenovaného objektu a je obtížně použitelná v interiérech, zejména v úzkých

a členitých prostorech. Při snímání objektů v exteriéru však dosahovala velmi dobrých výsledků, což naznačuje její potenciál do budoucna.

Ve druhé části bylo laserové skenování dále ověřeno na složitějších stavebních konstrukcích, se kterými se projektant může v praxi setkat. Měření byla provedena například v kotelně bytového domu s rozvody technických zařízení, na členité fasádě kaple s klenbami a vystupujícími konstrukcemi, na rozhledně s ocelovým vřetenovým schodištěm a prutovými prvky a na krovu rodinného domu. Pro tato měření bylo využito odlišné technické vybavení, včetně mobilního zařízení podporujícího technologii RTK. V těchto případech se potvrdila omezení metody související s dosahem skeneru, lesklými povrchy a dále pak s kruhovými průřezy prvků, perforovanými konstrukcemi a zhoršenými světelnými podmínkami. Současně se ukázalo, že přesnost určování polohy pomocí RTK může být při pohybu se zařízením v prostředí bez dostatečného výhledu na otevřenou oblohu dočasně ztrácena.

Závěrečná část práce se zaměřila na možnosti využití získaných dat pro účely fotodokumentace a videodokumentace. Jako velmi efektivní se ukázalo využití 360° videozáznamů, které umožňují rychlé a komplexní zachycení prostoru a následnou pohodlnou orientaci v záznamu. Zobrazení 3D modelů vytvořených laserovým skenováním ve virtuální realitě nepřineslo oproti 360° videím zásadní přínos, zatímco výstupy metody Gaussian Splatting nabídly výrazně vyšší míru věrohodnosti, avšak při zachování stejných omezení jako při jejich využití pro samotné měření.

Na základě výsledků práce lze konstatovat, že v současné době se jako nejvhodnější přístup jeví kombinace více metod. Pro vlastní zaměření stávajícího stavu je vhodné spojení tradiční metody křížových měř a mobilního laserového skenování, zatímco pro účely prezentace a orientační dokumentace prostoru je efektivní využití 360° videozáznamů, případně technologie Gaussian Splatting ve virtuální realitě.

Další pokračování v tématu této diplomové práce by mohlo spočívat v aplikaci a porovnání použitých metod na rozsáhlejších objektech, kde by se výrazněji projevila jejich technologická omezení. Takový přístup by umožnil lépe zhodnotit jejich využitelnost při pasportizaci větších stavebních celků.

5 ZDROJE

Literatura

- [1] KMOCHOVÁ, Alena. *Pasporty domů, bytů a nebytových prostor*. Praha: Polygon, 1996. ISBN 80-85967-39-1. Dostupné z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:73fd82c0-7f83-11ec-bc36-005056827e51>. [cit. 2025-03-02].
- [2] KUDA, František a BERÁNKOVÁ, Eva. *Facility management v technické správě a údržbě budov*. Praha: Professional Publishing, 2012. ISBN 978-80-7431-114-7.
- [3] ČESELSKÝ, Jan. *Pasportizace v kontextu udržitelného managementu obecního domovního a bytového fondu*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, Fakulta stavební, 2011. ISBN 978-80-248-2549-6.
- [4] KUDA, František; BERAN, Václav; DLASK, Petr a WERNEROVÁ, Eva. *Management ekonomiky správy majetku*. Průhonice: Professional Publishing, 2018. ISBN 978-80-88260-03-5.
- [5] BUMBA, Jan. *České katastry od 11. do 21. století*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-2318-1.
- [6] ŠMAHEL, Milan. Problematika podrobnosti zpracování pasportizace objektů pozemních staveb. Online. In: *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2014*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014, s. 97-102. ISBN 978-80-214-4852-0. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/42847>. [cit. 2025-03-16].
- [7] ĎUBEK, Marek a MAKÝŠ, Peter. Možnosti při tvorbě základního pasportu. Online. In: *Czech Journal of Civil Engineering*, 2023, s. 15-22. ISSN 2336-7148. Dostupné z: <https://cjce.cz/journal/article/view/209>. [cit. 2025-03-17].
- [8] RUDOVSKEÝ, Zdeněk. Pasportizace. In: *Juniorstav 2013*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013, s. 60-72. ISBN 978-80-214-4669-4.
- [9] DOSTÁL, Petr; FENCL, Tomáš; KARÁSEK, Jiří; KRATOCHVÍL, Václav; KUDA, František et al. *Manuál provozovatele budovy: praktické vzory a návody pro vlastníky a správce nemovitostí*. Praha: Forum, 2022. ISSN 2464-7691.
- [10] VLČEK, Milan. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 3. vyd. Technická knihovna. Brno: ERA, 2006. ISBN 80-7366-073-3.
- [11] KOS, Josef. *Rekonstrukce pozemních staveb*. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-132-0. Dostupné také z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:798e2f00-2328-11ef-a7f5-5ef3fc9bb22f>. [cit. 2025-03-20].
- [12] MÜLLER, Jan. Využití laserového skenování v památkové péči. Online. In: *Prostor pro život: Sborník mezinárodní konference Krajina Sídlá Památky 2023*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2023, s. 270-275. ISBN 978-80-214-6158-1. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/209698>. [cit. 2025-03-26].

-
- [13] VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. Odborné a metodické publikace. Praha: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelstvím, 2014. ISBN 978-80-86516-79-0.
- [14] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI [ČAS]. *Pravidla pro provozní pasportizaci stávajících budov v majetku veřejné správy*. Online. Praha, 2024. Dostupné z: <https://konceptebim.gov.cz/dokumenty/pravidla-pro-provozni-pasportizaci-stavajicich-budov-v-majetku-verejne-spravy/>. [cit. 2025-09-13].
- [15] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU [MPO]. *Metodika informačního modelování staveb pro potřeby veřejných zadavatelů*. Online. Verze 2.0. Praha, 2022. Dostupné z: https://mpo.gov.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2022/12/Methodika_aktualizace_ver-2_final.pdf. [cit. 2025-09-13].
- [16] ZHIXUE, Liu; RONGGUI, Ding; ZHENG, Gong a OBUKS, Ejohwomu. Fostering Digitalization of Construction Projects through Integration: A Conceptual Project Governance Model. Online. *Buildings*. 2023, roč. 13, č. 3, s. 825. ISSN 2075-5309. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/buildings13030825>. [cit. 2025-09-14].
- [17] PAVELKA, Karel. *Exaktní metody průzkumu památek: s využitím geodetických a geofyzikálních metod*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05260-0.
- [18] KASSER, Michel a EGELS, Yves. *Digital photogrammetry*. London: Taylor & Francis, 2002. ISBN 0748409440.
- [19] HODAČ, Jindřich. *Pozemní fotogrammetrie*. Acta Universitatis Purkynianae, Facultatis Philosophicae. Fundamenta Scholarium. Ústí nad Labem: Centrum pro dokumentaci a digitalizaci kulturního dědictví, Filozofická fakulta Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2011. ISBN 978-80-7414-343-4.
- [20] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie I*. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04249-6.
- [21] FIŠEROVÁ, Věra. *Laserové skenování*. Acta Universitatis Purkynianae, Facultatis philosophicae. Fundamenta Scholarium. Ústí nad Labem: Centrum pro dokumentaci a digitalizaci kulturního dědictví, Filozofická fakulta Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012. ISBN 978-80-7414-458-5.
- [22] ŠTRONER, Martin. *3D skenovací systémy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [23] REMONDINO, Fabio a EK-HAKIM, Sabry. Image-based 3D Modelling: A Review. Online. *The Photogrammetric Record*. 2006, roč. 21, č. 115, s. 269-291. ISSN 1477-9730. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>. [cit. 2025-09-21].
-

-
- [24] SUCHOCKI, Czesław. Comparison of Time-of-Flight and Phase-Shift TLS Intensity Data for the Diagnostics Measurements of Buildings. Online. *Materials*. 2020, roč. 13, č. 2, s. 353. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma13020353>. [cit. 2025-09-22].
- [25] WU, Chao; YUAN, Yongbo; TANG, Yang a TIAN, Boquan. Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. Online. *Sensors*. 2021, roč. 22, č. 1, s. 265. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s22010265>. [cit. 2025-09-22].
- [26] LIU, Junshan; AZHAR, Salman; WILLKENS, Danielle a LI, Batao. Static Terrestrial Laser Scanning (TLS) for Heritage Building Information Modeling (HBIM): A Systematic Review. Online. *Virtual Worlds*. 2023, roč. 2, č. 2, article 6, s. 90–114. ISSN 2813-4160. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2020006>. [cit. 2025-09-22].
- [27] SHATOKHIN, Oleksii; DZEDZICKIS, Andrius; PEČIULIENĖ, Milda a BUČINSKAS, Vytautas. Extended Reality: Types and Applications. Online. *Applied Sciences*. 2025, roč. 15, č. 6, s. 3282. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app15063282>. [cit. 2025-09-24].
- [28] NASSEREDDINE, Hala; HANNA, Awad S.; VEERAMANI, Dharmaraj a LOTFALLAH, Wafik. Augmented Reality in the Construction Industry: Use-Cases, Benefits, Obstacles, and Future Trends. Online. *Frontiers in Built Environment*. 2022, roč. 8, s. 730094. ISSN 2297-3362. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.730094>. [cit. 2025-09-24].
- [29] PU, Xinming; GAN, Shu; YUAN, Xiping a LI, Raobo. Feature Analysis of Scanning Point Cloud of Structure and Research on Hole Repair Technology Considering Space-Ground Multi-Source 3D Data Acquisition. Online. *Sensors*. 2022, roč. 22, č. 24, s. 9627. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s22249627>. [cit. 2025-09-24].
- [30] DUFEK, Zdeněk; KOUKAL, Pavel; FIALA, Petr; VYHNÁLEK, Rudolf; REMEŠ, Josef et al. *BIM pro veřejné zadavatele*. Praktik. Praha: Leges, 2018. ISBN 978-80-7502-285-1.
- [31] WERNEROVÁ, Eva; KUDA, František a FALTEJSEK, Michal. *Zavádění BIM u existujících staveb*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2018. ISBN 978-80-248-4238-7. Dostupné také z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:4b891b80-a6b9-11ec-adf7-5ef3fc9bb22f>. [cit. 2025-04-19].
- [32] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU [MPO]. *Koncepce zavádění metody BIM v ČR*. Online. Praha, 2017. Dostupné z: <https://mpo.gov.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>. [cit. 2025-09-29].
- [33] WERNEROVÁ, Eva. *Facility management ve zkratce*. Praha: Idealab, 2023. ISBN 978-80-908740-2-2.
- [34] VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian a SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. Online. *Automation in*
-

-
- Construction*. 2014, roč. 38, s. 109–127. ISSN 0926-5805. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>. [cit. 2025-09-29].
- [35] FUNTÍK, Tomáš. *Informačné modelovanie stavby ako nástroj pre efektívnu správu životného cyklu*. Vydanie prvé. Librix.eu. Brno: Tribun EU, 2017. ISBN 978-80-263-1369-4.
- [36] CENTRUM PRO PODPORU POČÍTAČOVÉ GRAFIKY ČR [CEGRA] S.R.O. VE SPOLUPRÁCI S EARCH.CZ. *Archinews - Co byste měli vědět o IFC*. Online. 2018, roč. 20., č. 1. Praha, 2018. ISSN 1802-7172. Dostupné z: <https://www.cegra.cz/content/uploads/ArchiNEWS/AN12018PDF.pdf>. [cit. 2025-09-29].
- [37] CSIKOS, Eموke a PREY, Molinda. *What is Archicad?* Online. In: Graphisoft Community. 2021. Dostupné z: <https://community.graphisoft.com/t5/Getting-started/What-is-Archicad/ta-p/304208>. [cit. 2025-10-14].
- [38] BIM. *Archicad*. Online. BIM. Koncepce BIM. C2025. Dostupné z: <https://koncepcebim.gov.cz/bim/co-je-co-v-bim/dss/podpora-software-dodavatelu/ukazky-software-platforem/archicad/>. [cit. 2025-10-14].
- [39] BLENDER FOUNDATION. *Free Software Never Looked This Awesome*. Online. Blender. Dostupné z: <https://www.blender.org/features/>. [cit. 2025-10-24].
- [40] AGISOFT LLC. *Metashape 2.2 – Photogrammetry + Lidar*. Online. In: Agisoft. C2025. Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf. [cit. 2025-10-23].
- [41] INSTA360. *Action Camera / 360° Camera*. Online. Insta360. 2025. Dostupné z: <https://www.insta360.com/download/hot-download>. [cit. 2025-10-24].
- [42] EPIC GAMES. *RealityScan - Getting Started*. Online. Epic Games Developer. 2025. Dostupné z: <https://dev.epicgames.com/community/realityscan/getting-started/realityscan>. [cit. 2025-10-24].
- [43] CLOUDCOMPARE. *CloudCompare*. Online. CloudCompare. Dostupné z: <https://www.cloudcompare.org/>. [cit. 2025-10-24].
- [44] INSTA360 ČESKO. *Insta360 X4*. Online. Insta360. C2025. Dostupné z: <https://insta360.cz/products/insta360-x4>. [cit. 2025-10-24].
- [45] APPLE INC. *IPad Pro, 11palcový (3. generace) - Technické specifikace*. Online. Apple. C2025. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/111897>. [cit. 2025-11-21].
- [46] POLYCAM. *Polycam 3D Scanner, LiDAR, 360*. Online. APPLE INC. App Store. C2025. Dostupné z: <https://apps.apple.com/us/app/polycam-3d-scanner-lidar-360/id1532482376>. [cit. 2025-11-21].
- [47] VIGRAM AG. *ViDoc*. Online. ViDoc. C2025. Dostupné z: <https://vidoc.com/en/vidoc/>. [cit. 2025-12-05].
-

-
- [48] APPLE INC. *iPhone 14 Pro - Technické specifikace*. Online. Apple. C2025. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/111849>. [cit. 2025-12-05].
- [49] PIX4D SA. *PIX4Dcatch RTK: Learn the Best Capture Practices*. Online. In: PIX4D. 2023. Dostupné z: <https://www.pix4d.com/blog/PIX4Dcatch-RTK-learn-the-best-capture-practices/>. [cit. 2025-12-05].
- [50] CHAN, Ting On; XIAO, Hang; LIU, Lixin; SUN, Yeran; CHEN, Tingting et al. A Post-Scan Point Cloud Colorization Method for Cultural Heritage Documentation. Online. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021, roč. 10, č. 11, s. 737. ISSN 2220-9964. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijgi10110737>. [cit. 2025-12-12].
- [51] NIAN TIC, INC. *Scaniverse*. Online. C2024. Dostupné z: <https://scaniverse.com>. [cit. 2025-12-15].
- [52] NIAN TIC, INC. *Scaniverse - 3D Scanner*. Online. APPLE INC. App Store. C2025. Dostupné z: <https://apps.apple.com/us/app/scaniverse-3d-scanner/id1541433223>. [cit. 2025-12-15].
- [53] META. *Meta Quest 3*. Online. Meta. C2025. Dostupné z: https://www.meta.com/quest/quest-3/?srsltid=AfmBOoqHdo46vHyHoDK1TpOqFMys-e-j0NHpsWXibDfWEKNb-5_q_8ut. [cit. 2025-12-15].
- [54] ADOBE. *Substance 3D Reviewer*. Online. Adobe. C2025. Dostupné z: <https://helpx.adobe.com/substance-3d-reviewer.html>. [cit. 2025-12-16].
- [55] FEI, Ben; XU, Jingyi; ZHANG, Rui; ZHOU, Qingyuan; YANG, Weidong et al. 3D Gaussian Splatting as a New Era: A Survey. Online. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2025, roč. 31, č. 8, s. 4429–4449. ISSN 1077-2626. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2024.3397828>. [cit. 2025-12-18].
- [56] LUO, Jie; HUANG, Tianlun; WANG, Weijun a FENG, Wei. A review of recent advances in 3D Gaussian Splatting for optimization and reconstruction. Online. *Image and Vision Computing*. 2024, roč. 151, s. 105304. ISSN 0262-8856. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2024.105304>. [cit. 2025-12-18].
- [57] 3D SURVEY. *What is Gaussian Splatting?* Online. In: 3Dsuryey. 2025. Dostupné z: <https://3dsurvey.si/what-is-gaussian-splatting/>. [cit. 2025-12-18].
- [58] YU, Yingwen; VERBREE, Edward; VAN OOSTEROM, Peter a POTTGIESSER, Uta. 3D Gaussian Splatting for Modern Architectural Heritage: Integrating UAV-Based Data Acquisition and Advanced Photorealistic 3D Techniques. Online. *AGILE GIScience Series*. 2025, roč. 6, č. 51. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/agile-giss-6-51-2025>. [cit. 2025-12-19].
- [59] RÜTER, Sina; WALDOW, Kristoffer; BARTELS, Niels a FUHRMANN, Arnulph. 3D Gaussian Splatting for Construction Sites. Online. In: NOROOZINEJAD FARSANGI, Ehsan et
-

-
- al. *Construction Applications of Virtual Reality*. Vol. 2. Springer, 2025, s. 37-52. ISBN 978-981-96-8765-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-981-96-8765-7_3. [cit. 2025-12-19].
- [60] TOOLIQA INC. *Neural Radiance Fields (NeRF): A Breakthrough in 3D Reconstruction*. Online. Tooli.qa. 27 march 2023. Dostupné z: <https://www.tooli.qa/insights/neural-radiance-fields-nerf-a-breakthrough-in-3d-reconstruction>. [cit. 2025-12-19].
- [61] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Co je umělá inteligence a jak ji využíváme?* Online. Evropský parlament. 2020, 21. 11. 2023. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20200827STO85804/umela-inteligence-definice-a-vyuziti>. [cit. 2025-12-26].
- [62] HAENLEIN, Michael a KAPLAN, Andreas. A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. Online. *California Management Review*. 2019, roč. 61, č. 4, s. 5-14. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>. [cit. 2025-12-26].
- [63] KUČEROVÁ, Amálie. *Úvod do AI: Co je umělá inteligence, jak funguje a k čemu se hodí*. Online. In: ENGETO S.R.O. Engeto. C2016-2025, 24. prosinec 2025. Dostupné z: <https://engeto.cz/blog/ai/uvod-do-ai-co-je-umela-inteligence/>. [cit. 2025-12-26].
- [64] KOŘOUSKOVÁ, Barbora. *Historie umělé inteligence (AI) a trendy v roce 2025*. Online. In: RASCACONE, S.R.O. Rascacone. 21/07/2025. Dostupné z: <https://www.rascacone.com/cs/blog/umela-inteligence-ai-trendy>. [cit. 2025-12-26].
- [65] RASHID, Adib Bin a KAUSIK, MD Ashfakul Karim. AI revolutionizing industries worldwide: A comprehensive overview of its diverse applications. Online. *Hybrid Advances*. 2024, roč. 7, č. 100277. ISSN 2773-207X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100277>. [cit. 2025-12-29].
- [66] ABIOYE, Sofiat O. et al. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. Online. *Journal of Building Engineering*. 2021, roč. 44, s. 103299. ISSN 2352-7102. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103299>. [cit. 2025-12-29].
- [67] BADUGE, Shanaka Kristombu et al. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. Online. *Automation in Construction*. 2022, roč. 141, s. 104440. ISSN 0926-5805. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>. [cit. 2025-12-29].
- [68] ALMA CAREER CZECHIA, S.R.O. *Platy na pozicích z pracovní oblasti Stavebnictví a reality*. Online. *Platy.cz*. C1997-2025. Dostupné z: <https://www.platy.cz/platy/stavebnictvi-a-reality>. [cit. 2025-12-06].
- [69] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD [ČSÚ]. *Zaměstnanci a mzdy*. Online. Český statistický úřad. 2025, 05. 01. 2026. Dostupné z: <https://csu.gov.cz/trh-prace>. [cit. 2026-01-06].
-

-
- [70] ŠPALEK, Michal. *Co znamená pojem LOD v BIM?* Online. In: TZB-info. 2020. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/20352-co-znamená-pojem-lod-v-bim>. [cit. 2026-01-07].
- [71] OPENAI. *ChatGPT*. Online, generativní AI. Verze GPT-5.1 Dostupné z: <https://chatgpt.com/>. [cit. 2025-11-20].

Zákony, vyhlášky, normy směrnice

- [72] ČESKO. Zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon. In: *Zákony pro lidi.cz*. Online. AION CS. C2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-283>. [cit. 2025-03-16]
- [73] ČESKO. Vyhláška č. 131/2024 Sb., o dokumentaci staveb. In: *Zákony pro lidi.cz*. Online. AION CS. C2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2024-131>. [cit. 2025-03-16]
- [74] ČSN ISO 690:2022. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.

Obrazové zdroje

- [75] DEXERIALS CORPORATION. *VR, AR, MR, and XR: The Metaverse Market and XR-Related Technologies*. Online. Dexerials. 2022/11/01. Dostupné z: <https://techtimes.dexerials.jp/en/elemental-technologies/applied-technology-for-xr/>. [cit. 2025-09-24].
- [76] ALTOUNIAN, Valerie; KAKAES, Konstantin; GREENWOOD, Faine; LIPPINCOT, Mathew; DOSEMAGEN, Shannon et al. Flight planning. Online. In: *Drones and Aerial Observation: New Technologies for Property Rights, Human Rights, and Global Development*. New America, 2015, s. 37. Dostupné z: <https://www.newamerica.org/future-security/books/book-drones-and-aerial-observation/>. [cit. 2025-12-10].
- [77] BIMFORUM. LOD Structural Column. Online. In: *LOD Specification, part 1*. BIMForum, 2024, s. 28-29. Dostupné z: <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2024/11/LOD-Spec-2024-Part-I-official-English.pdf>. [cit. 2025-12-11].
- [78] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ [ČÚZK]. *Napajedla – originální mapa stabilního katastru: Signatura: B2/a/4M, inv. č. 1627, Archivní soubor: 8 – Stabilní katastr*. Online. 1 : 2880. 1829. Dostupné z: https://ags.cuzk.gov.cz/archiv/openmap.html?typ=orm&idrastru=B2_a_4M_1627_9&extent=13.102313739660888,12.797645592685923,29.864335581444536,20.750875747823894&link=ext. [cit. 2025-12-10].
- [79] RIB SOFTWARE GMBH. *Construction Technology Trends 2025*. Online. In: RIB Software. 5 december 2024. Dostupné z: <https://www.rib-software.com/en/blogs/construction-technology-trends>. [cit. 2025-12-11].

-
- [80] *FARO Focus Premium*. Online. In: 3GON POSITIONING S.R.O. 3GONshop.cz. C2025. Dostupné z: <https://www.3gonshop.cz/faro-focus-premium/>. [cit. 2025-12-12].
- [81] *Ruční skener BLK2Go*. Online. In: GEFOS A.S. Gefos. C2011-2025. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/3d-laserove-skenery/blk2go>. [cit. 2025-12-12].
- [82] SOUMYADIP. *3D Gaussian to 3D Ellipsoid*. Online. In: BIG VISION LLC. In: LearnOpenCV. 17 december 2024. Dostupné z: https://learnopencv.com/3d-gaussian-splatting/?utm_source=chatgpt.com#elementor-toc_heading-anchor-4. [cit. 2025-12-19].

6 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obr. 1 Výřez mapy stabilního katastru Napajedel z roku 1829 obrázek [78].....	15
Obr. 2 Moderní technologie ve stavebnictví 2025 převzato a upraveno z [79].....	22
Obr. 3 Úrovně LOD převzato a upraveno z [77]	24
Obr. 4 Zpracování vizualizace s AI obrázek autor a AI-ChatGPT	26
Obr. 5 Typy rozšířené reality převzato a upraveno z [27]; [75].....	27
Obr. 6 Pracovní náčrt půdorysu [10].....	30
Obr. 7 Tradiční pomůcky foto autor	31
Obr. 8 Princip pozemní fotogrammetrie obrázek autor	33
Obr. 9 Princip letecké fotogrammetrie převzato a upraveno z [76].....	33
Obr. 10 Princip jednosnímkové fotogrammetrie obrázek autor.....	34
Obr. 11 Princip vícesnímkové fotogrammetrie – průseková obrázek autor.....	35
Obr. 12 Princip vícesnímkové fotogrammetrie – stereo obrázek autor	35
Obr. 13 Mračno bodů (krovová výseč) pořízené fotogrammetrickou metodou obrázek autor	35
Obr. 14 Statický skener– FARO Focus Premium [80]	36
Obr. 15 Kinematický skener – Leica BLK2Go [81].....	37
Obr. 16 Kamerový skener převzato a upraveno z [22]	38
Obr. 17 Panoramatický skener převzato a upraveno podle [22]	38
Obr. 18 Mračno bodů pořízené metodou laserového skenování obrázek autor.....	39
Obr. 19 3D gaussian a 3D elipsoid převzato a upraveno z [82].....	41
Obr. 20 Střešní krytina – Gaussian Splatting obrázek autor	41
Obr. 21 Střešní krytina – mesh obrázek autor.....	41
Obr. 22 Řešený rodinný dům foto autor.....	44
Obr. 23 Materiál pro sestavení provizorní stěny foto autor	45
Obr. 24 Konstrukce stěny v chodbě foto autor	45
Obr. 25 Sestavená stěna v chodbě foto autor	45
Obr. 26 Umístěný referenční bod foto autor	46
Obr. 27 Rozmístění referen. bodů foto autor	46
Obr. 28 Vystřižené referenční body foto autor	46

Obr. 29 Použité zařízení a pomůcky obrázek autor	47
Obr. 30 Vliv odchylek měření na přesnost obrázek autor.....	49
Obr. 31 Polní náčrt řešeného rodinného domu obrázek autor.....	50
Obr. 32 Náčrt řešeného rodinného domu obrázek autor	51
Obr. 33 Použité zařízení a pomůcky foto autor.....	53
Obr. 34 LED reflektor v prostoru obrázek autor.....	57
Obr. 35 Umístění LED reflektorů obrázek autor	57
Obr. 36 Fotografie 1/30 s, ISO 100 foto autor	57
Obr. 37 Fotografie 1/60 s, ISO 100 foto autor	57
Obr. 38 Fotografie 1/120 s, ISO 100 foto autor	57
Obr. 39 Fotografie 1/200 s, ISO 100 foto autor	57
Obr. 40 Fotografie 1/200 s, ISO 200 foto autor	57
Obr. 41 Nastavení exportovaného videa v Insta360Studio obrázek autor	59
Obr. 42 Koule s videem obrázek autor.....	60
Obr. 43 Sada virtuálních kamer obrázek autor.....	60
Obr. 44 Příklad nevhodné fotografie č. 1 foto autor	61
Obr. 45 Příklad nevhodné fotografie č. 2 foto autor	61
Obr. 46 Příklad nevhodné fotografie č. 3 foto autor	61
Obr. 47 Mračno bodů interiéru z programu RealityScan obrázek autor	62
Obr. 48 Mračno bodů exteriéru z programu RealityScan obrázek autor	62
Obr. 49 Mračno bodů z programu Metashape – perspektivní fotografie obrázek autor	63
Obr. 50 Mračno bodů z programu Metashape – sférická fotografie – video 3 obrázek autor	65
Obr. 51 Použité zařízení a pomůcky foto autor.....	69
Obr. 52 Skenovaná síť obrázek autor.....	71
Obr. 53 Nezachycená oblast obrázek autor.....	71
Obr. 54 Exportovaný prostor obrázek autor.....	72
Obr. 55 Půdorys z aplikace obrázek autor	72
Obr. 56 Upravené mračno bodů v programu CloudCompare obrázek autor	73
Obr. 57 Použité zařízení a pomůcky obrázek autor	74
Obr. 58 Průběh skenování obrázek autor	76

Obr. 59 Nevyčištěné mračno bodů obrázek autor	76
Obr. 60 Trasa 1 obrázek autor	77
Obr. 61 Mračno bodů – varianta 1 obrázek autor	77
Obr. 62 Trasa 2 obrázek autor	77
Obr. 63 Mračno bodů – varianta 2 obrázek autor	77
Obr. 64 Trasa 3 obrázek autor	77
Obr. 65 Mračno bodů – varianta 3 obrázek autor	77
Obr. 66 Mračno bodů v Archicadu – půdorys obrázek autor	78
Obr. 67 Mračno bodů v Archicadu – řez obrázek autor	78
Obr. 68 Mračno bodů kaple obrázek autor	79
Obr. 69 3D model kaple obrázek autor	79
Obr. 70 Souhrn – metoda křížových měř obrázky autor	90
Obr. 71 Souhrn – metoda fotogrammetrie obrázky autor	91
Obr. 72 Souhrn – laserové skenování obrázky autor	92
Obr. 73 Porovnání – půdorys obrázek autor	93
Obr. 74 Použité zařízení a pomůcky obrázek autor	94
Obr. 75 Kaple Pohořelice – Pix4D obrázek autor	96
Obr. 76 Krov v RD – Pix4D obrázek autor	97
Obr. 77 Rozhledna Salaš – Pix4D obrázek autor	98
Obr. 78 Kotelna v BD – Pix4D obrázek autor	99
Obr. 79 Záznam z 360° kamery foto autor	100
Obr. 80 Použité zařízení a pomůcky obrázek autor	101
Obr. 81 Zobrazení kaple ve VR – Gaussian Splatting obrázek autor	102
Obr. 82 Použité zařízení a pomůcky foto autor	103
Obr. 83 Zobrazení kaple ve VR – mesh obrázek autor	104

Tabulky

Tab. 1 Fotogrammetrie – RealityScan	62
Tab. 2 Fotogrammetrie – Metashape – využití perspektivních fotografií.....	63
Tab. 3 Fotogrammetrie – Metashape – využití sférických fotografií.....	64
Tab. 4 Porovnání doby zpracování.....	80
Tab. 5 Porovnání přesnosti měření.....	82
Tab. 6 Porovnání objemu dat	84
Tab. 7 Porovnání počtu použitých softwarů	85
Tab. 8 Náklady na zaměření a zpracování řešené části objektu – metoda křížových měř	86
Tab. 9 Náklady na zaměření a zpracování řešené části objektu – metoda fotogrammetrie	87
Tab. 10 Náklady na zaměření a zpracování řešené části objektu – laserové skenování	87
Tab. 11 Tabulka s informacemi skenovaných prvků	99

Grafy

Gr. 1 Porovnání doby zpracování – lidská práce a automatizovaný proces.....	81
Gr. 2 Porovnání doby zpracování – více rozdělená lidská práce a automatizovaný proces.....	81
Gr. 3 Porovnání odchylek přesnosti měření.....	83
Gr. 4 Porovnání objemu dat	84
Gr. 5 Porovnání počtu použitých softwarů	85
Gr. 6 Porovnání celkových nákladů na zaměření a zpracování řešené části objektu.....	88
Gr. 7 Porovnání celkových nákladů na zaměření a zpracování řešené části objektu bez vlivu modelování a ceny licence ArchiCADu.....	88
Gr. 8 Celkové porovnání hodnocených částí	89

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

- 3D – *3-Dimension* – trojrozměrný
- 3D-GS – *3D Gaussian Splatting*
- AGI – *artificial general intelligence* – obecná umělá inteligence
- AI – *Artificial Intelligence* – Umělá inteligence
- AR – *augmented reality* – rozšířená realita
- ASI – *artificial superintelligence* – superinteligence
- BIM – *Building Information Modelling* – informační model budovy
- BMS – *Building Management System* – systém řízení budovy
- CAD – *Computer Aided Design* – počítačem podpovaný návrh
- ČR – Česká republika
- ČSN – Česká technická norma
- ČSR – Československá republika
- ČSSR – Československá socialistická republika
- ČSÚ – Česká statistický úřad
- DPH – daň z přidané hodnoty
- EN – Evropská norma
- GIS – *Geographic Information System* – geografický informační systém
- GNSS – *Global Navigation Satellite System* – globální družicový polohový systém
- GPS – *Global Positioning System* – globální polohový systém
- IBMR – *image-based modelling and rendering* –
- IFC – *Industry Foundation Classes* –
- IMU – *Inertial Measurement Unit* – inerciální měřící jednotka
- INS – *Inertial Navigation System* – inerciální navigační systém
- IoT – *Internet of Things* – internet věcí
- ISO – hodnota citlivosti snímače na světlo
- ISO – *International Organization for Standardization* –
- IT – *Information Technology* – Informační technologie
- Kč – koruna česká
- LiDAR – *Light Detection And Ranging* – metoda dálkového měření vzdálenosti

LLM – *large language model* – velký jazykový model
LOD – *Level of Development* – grafická podrobnost modelu
LOI – *Level of Information* – informační podrobnost modelu
Mezinárodní organizace pro standardizaci
modelování a renderování na základě obrázků
MR – *mixed reality* – smíšená realita
NAI – *narrow artificial intelligence* – úzká umělá inteligence
NeRF – *Neural Radiance Field* – neurální radiační pole
otevřený neutrální souborový formát podporující sdílení dat na principu BIM
PC – *Personal Computer* – osobní počítač
RGB – *Red Green Blue* – červená, zelená, modrá (barevný model)
RTK – *Real Time Kinematic* – kinematická metoda řešená v reálném čase
Sb. – Sbírka zákonů
SLAM – *simultaneous localization and mapping* – konkurentní lokalizace a mapování
SOR – *Statistical Outlier Removal* – statistické odstranění odlehlých hodnot
ToF – *Time of Flight* – doba letu
USA – *United States of America* – Spojené státy americké
USB – *Universal Serial Bus* – univerzální sériová sběrnice
VR – *virtual reality* – virtuální realita
Wi-fi – *Wireless Fidelity* – komunikační standard pro bezdrátový přenos dat
xK – horizontální rozlišení (počet sloupců – pixelů, např. 4K)
XR – *extended reality* – rozšířená realita (obecně pro všechny technologie)

Fyzikální veličiny

c – rychlost světla [m/s]
 f – modulační frekvence [Hz]
 φ – fázový posun [-]
 D – vzdálenost [m]
 t – čas [s]

8 SEZNAM PŘÍLOH

Č. v.	Název výkresu	Mě- řítko	Formát
K.3.1.1-V01	FALEŠNÁ STĚNA V CHODBĚ	1:20, 1:10; 1:2	A3 (420x297)
K.3.1.1-V02	DETAIL REFEREČNÍHO BODU	1:1	A4 (210x297)
K.3.1.1-V03	HORIZONTÁLNÍ ROVINA (BODY A-J)	1:1	A3 (420x297)
K.3.1.1-V04	VERTIKÁLNÍ ROVINA (BODY 1-10)	1:1	A3 (420x297)
K.3.1.1-V05	RASTR REFEREČNÍCH BODŮ	1:55	A4 (210x297)
K.3.1.2-V06	NÁČRT	-	A3 (420x297)
K.3.1.2-V07	METODA KŘÍŽOVÝCH MĚR	1:50	NEST (840x420)
K.3.1.3-V08	METODA FOTOGRAMMETRIE	1:50	NEST (1050 x 420)
K.3.1.4-V09	METODA LASEROVÉ SKENOVÁNÍ	1:50	NEST (1050 x 420)
K.3.1.6-V10	VŠECHNY METODY	1:50	NEST (841 x 841)
V11	DETAIL U POZEDNICE	1:10	NEST (1260 x 440)