



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

DIAGNOSTIKA PORUCH A VAD EXISTUJÍCÍHO OBJEKTU

DIAGNOSTICS OF DEFECTS AND FAILURES OF AN EXISTING OBJET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Uher

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PAVEL SCHMID, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Adam Uher
Název	Diagnostika poruch a vad existujícího objektu
Vedoucí práce	doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí

ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení

ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1996-1-1 Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce

ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Schmid, P. a kol. Základy zkušebnictví, FAST VUT v Brně

Hobst, L. a kol.. Diagnostika stavebních konstrukcí, FAST VUT v Brně

Bažant, Z., Klusáček, L. Statika při rekonstrukcích objektů, FAST VUT v Brně

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Návrh metodiky a realizace předběžné diagnostiky existujícího stavebního objektu pro realizaci ideového projektu celkové revitalizace a investičním záměru provozního využití. Posouzení aktuálního stavebně technického stavu včetně hodnocení rizik vybraných konstrukčních prvků a celků na zadaném objektu řadového bytového domu s komerčními prostory v úrovni 1. - 2. NP. Existující konstrukce pochází z konce 19. století, stáří objektu více jak 100 let. Aplikace vhodných diagnostických metod pro operativní posouzení aktuálního stavebně technického stavu včetně hodnocení případných rizik ideového návrhu revitalizačních stavebních úprav.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce popisuje nejpoužívanější metody diagnostiky stavebních konstrukcí, načež se zaměřuje na využití v diagnostice dosud nevyužívaných moderních technologií, potencionálně nahrazujících hned několik činností při práci diagnostika a dalších profesí. Výhody těchto technologií, konkrétně 3D skenování, jsou představeny na případové studii revitalizace bytového domu v Brně, na ulici Koliště 33. V praktické části této práce je popsán proces diagnostiky poruch a vad objektu, včetně aplikovaných metod a zjištěných skutečností. Výstupem práce je návrh opatření a soubor doporučení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Konstrukce, diagnostika, nedestruktivní zkoušky, digitální fotodokumentace, 3D skenování, moderní technologie v diagnostice, Matterport, Lidar, Insta360, BIM, Cad, virtuální model, defektoskopická prohlídka, revitalizace bytového domu, Koliště 33 Brno

ABSTRACT

The bachelor thesis describes the most used methods of diagnostics of building structures, then it focuses on the use in diagnostics of as yet unused modern technologies, potentially replacing several activities in the work of diagnostics and other professions. The advantages of these technologies, specifically 3D scanning, are presented on a case study of the revitalization of an apartment building in Brno, Koliště 33. In the practical part of thesis is described the process of diagnosis of defects and failures of the object, including applied methods and findings. The output of the work is a proposal of measures and a set of recommendations.

KEYWORDS

Construction, diagnostics, non-destructive tests, digital photo documentation, 3D scanning, modern technologies in diagnostics, Matterport, Lidar, Insta360, BIM, Cad, virtual model, defectoscopic inspection, revitalization of an apartment building, Koliště 33 Brno

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Adam Uher *Diagnostika poruch a vad existujícího objektu*. Brno, 2021. 49 s., 1 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního
zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Diagnostika poruch a vad existujícího objektu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2021

Adam Uher
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Diagnostika poruch a vad existujícího objektu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2021

Adam Uher
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Především chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Schmidovi, Ph.D za mnoho cenných rad, zkušeností, inspirace, pozitivní energie a bytí mi vzorem. Velké poděkování patří Martinu Tůmovi za jeho čas a úsilí dobrovolně investované do tvorby a úprav virtuálního 3D modelu. Jakubu Hartlovi za jeho čas a vstřícnou pomoc při pracích v objektu. Ing. Radku Malečkovi a Atelieru WIK s.r.o. za možnost podílet se na projektu revitalizace.

Poděkovat bych chtěl i své rodině a přítelkyni, kteří mi studium umožnili a v jeho průběhu mě podporovali.

OBSAH

ÚVOD

CÍL PRÁCE

A.	TEORETICKÁ ČÁST	12
A.1	DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ.....	12
A.1.1	Nejpoužívanější metody diagnostiky stavebních konstrukcí.....	13
A.1.2	Digitální fotodokumentace	20
A.2	APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ V DIAGNOSTICE.....	21
A.2.1	Přehled technologií a jejich využití pro Diagnostiku.....	23
A.2.2	Výhled do budoucna	28
B.	PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
B.1	IDEOVÁ STUDIE PROJEKTANTA	31
B.2	VIZUÁLNĚ DEFEKTOSKOPICKÁ PROHLÍDKA.....	32
B.2.1	Problematická místa - nálezy.....	37
B.2.2	Kritické konstrukční celky a části objektu.....	38
B.3	NÁVRH STAVEBNÍCH OPATŘENÍ	39
B.4	DOPORUČENÍ	43
B.5	ZÁVĚR.....	45
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	46
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	48
	PŘÍLOHA P1:.....	50

ÚVOD

Diagnostika stavebních konstrukcí je poměrně mladým a rychle se rozvíjejícím oborem, z důvodu krácení zbytkové životnosti velkého množství stavebních konstrukcí. Jelikož existující zástavba každoročně nabývá na své ekonomické i kulturní hodnotě, budou na tento obor každoročně kladeny vyšší a vyšší nároky, navíc se zvyšující se technickou náročností a komplexností diagnostických problémů bude vyvíjen tlak i na technologické postupy prací. Jelikož každá konstrukce během svého životního cyklu bude vyžadovat revitalizaci či rekonstrukci, stane se diagnostika bezpodmínečně jednou z důležitých součástí BIM. Dnes je výstupem diagnostického průzkumu návrh stavebních opatření a doporučení například v podobě technické zprávy.

V minulosti se diagnostika zabývala převážně destruktivním zkoušením konstrukcí, které přinášelo poměrně přesné a spolehlivé výsledky. Díky neustále se vyvíjejícím novým technologiím však budoucnost diagnostiky spočívá především v nedestruktivním zkoušení pomocí sofistikovaných přístrojů.

CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části práce je představit nepoužívanější metody diagnostiky a rozvinout úvahy o výhodách aplikace nejnovějších technologií v rámci fotodokumentace a pasportizace objektu.

Cílem praktické části práce je zhodnocení stavu existující konstrukce s popisem prováděných činností a návrhem stavebních opatření a doporučení s ohledem na ekonomickou stránku projektu revitalizace. Dalším, dílčím cílem této části je také testování různých zařízení a metod 3D skenování a jejich využití při vizuální a rozměrové dokumentaci stavebního objektů pro hodnocení existujících konstrukcí.

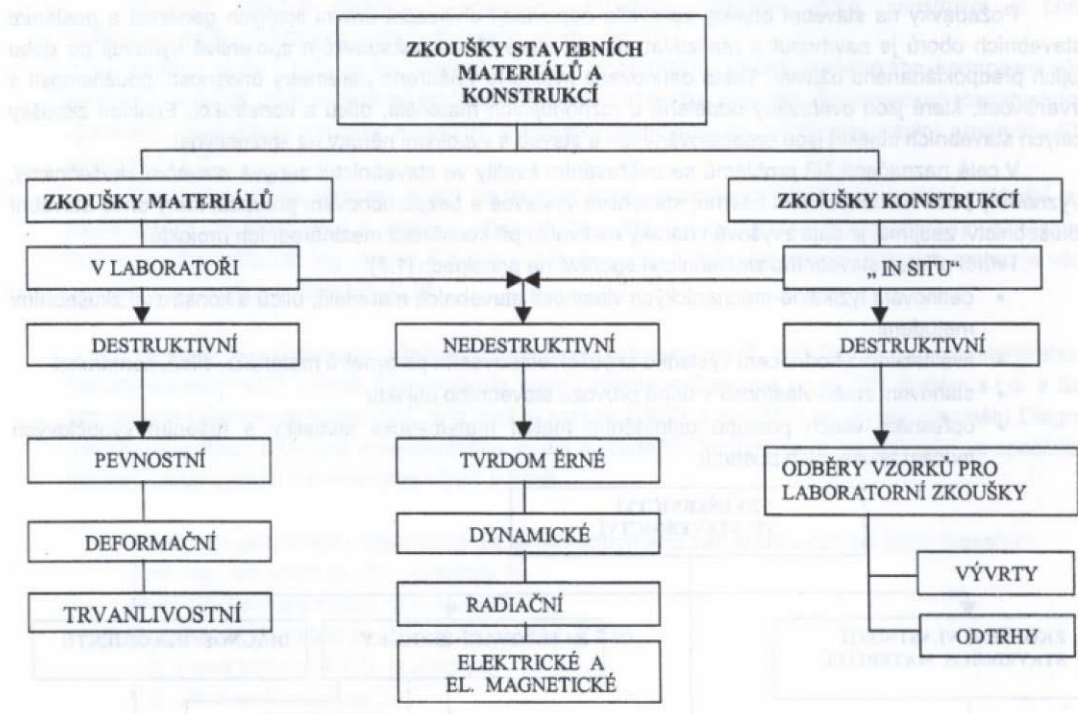
A. TEORETICKÁ ČÁST

A.1 DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Diagnostika stavebních konstrukcí se zabývá komplexním stavebně technickým průzkumem se zaměřením stanovení stavu konstrukce z pohledu mechanické odolnosti, zbytkové životnosti, bezpečnosti a spolehlivosti. Mimo to je účinnou a spolehlivou metodou pro kontrolu tvaru, kvality a rozmístění materiálů v konstrukci [1]. Absolutně základním, někdy však podceňovaným postupem, je vizuální defektoskopie. Spočívá ve vizuální kontrole, která může významně napovědět o stavu či poruchách konstrukce a jejich vývoji. Mezi zjišťované vady patří například trhliny, postup koroze, opotřebení či degradace stavebních materiálů, které v případě nedostatečného porozumění mnohdy vedou k předčasným poruchám [2]. To vše je ale zjistitelné pouze v případě prorýsování výše zmíněných vad na povrch konstrukce. Tento postup je základním stavebním kamenem předběžného stavebně technického průzkumu. Používaným vybavením je osvětlení, běžná či trhlinová měřidla, pro prohlídku obtížně přístupných míst pak endoskop [3].

A.1.1 Nejpoužívanější metody diagnostiky stavebních konstrukcí

Defektoskopické metody využívají řadu fyzikálních jevů, pro jejichž vyvolání a vyhodnocení jsou zapotřebí speciální přístroje. [4]



Obrázek 1: Schéma využití metod NTD [5]

Diagnostické metody se dělí podle stupně poškození zkoumané konstrukce:

- Nedestruktivní
- Semidestruktivní
- Destruktivní

V praxi se nejčastěji pro zjištění parametrů stavebních konstrukcí využívá metod nedestruktivních a semidestruktivních, kterým se též říká nepřímé.

Nedestruktivní metody umožňují zjištění hledaných parametrů bez zásahů do konstrukce či jejího porušení. Nepřímé metody jsou vhodné především pro svou jednoduchost a rychlost. Jejich nevýhodou je však vyšší nepřesnost a nespolehlivost, z tohoto důvodu je někdy třeba užít i metod destruktivních, které vynikají svou přesností, avšak jsou mnohem více finančně i časově náročné a mohou mít neblahý vliv na konstrukci [4] [1].

➤ **Nedestruktivní metody**

- **Tvrdoměrné:** Jsou založeny na měření tvrdosti povrchu materiálu a stanovení nezaručené pevnosti pomocí kalibračního vztahu [5]. Mezi nejpoužívanější přístroje nedestruktivních zkoušek patří například Schmidtův odrazový tvrdoměr (viz obrázek 2). Rozlišujeme například tyto tvrdoměrné metody:

- Vrypové
- Vtiskové
- Odrazové
- Další



Obrázek 2: Schmidtův odrazový tvrdoměr [6]

- **Elektromagnetické metody**
 - Elektromagnetické sondy – stanovení tloušťky krytí a průměru výztuže
 - Mikrovlnné – měření vlhkosti materiálu
 - Indukčnostní – především pro posuny a přetvoření.

- **Elektrodynamické metody** (nazývané též elektroakustické nebo dynamické metody) – patří mezi čistě nedestruktivní metody, které je možno neomezeně opakovat na jednom místě. Spočívají ve zkoumání účinků mechanického vlnění v materiálu, vyvolané mechanickým rázem. [5].
 - Ultrazvuková impulzní metoda – Tato metoda patří k nejčastěji používaným a slouží ke stanovení kvality betonu a jeho rovnoměrnosti. Při diagnostice jsou využívány sondy, jejichž pracovní kmitočet může být v rozsahu 10kHz až 200kHz. Pracovní kmitočet je vhodné volit nejenom v závislosti na délce měřící základy, ale také na faktorech jako je podstata zkoumaného problému, druh materiálu a výkon přístroje.

Obecně platí, že pro dlouhé základny až do 15 m jsou vhodnější spíše sondy s kmitočtem nízkým (10-40kHz) a naopak pro krátké měřící základny do 50mm je vhodné použití sond s kmitočtem od 60kHz až do 200kHz. Z toho vyplývá, že pro většinu případů je vhodné použití sond s kmitočtem mezi 40kHz a 60kHz. [1]



Obrázek 3: Ultrazvuková impulzní metoda

- Kladívková metoda pružného impulsu – ráz vyvozen úderem kladívka.
 - Aktivní metoda akustické emise – určení polohy a sledování rozvoje mikrotrhlin.
 - Další
- Dalšími metodami jsou metody elektrické, radiační, tenzometrické a trvanlivostní. [5] [1]

➤ Semidestruktivní metody

V rámci využití semidestruktivních metod dochází při procesu k částečnému poškození zkoušené konstrukce, a to například odběrem vzorků, vrtáním nebo odtrhem.

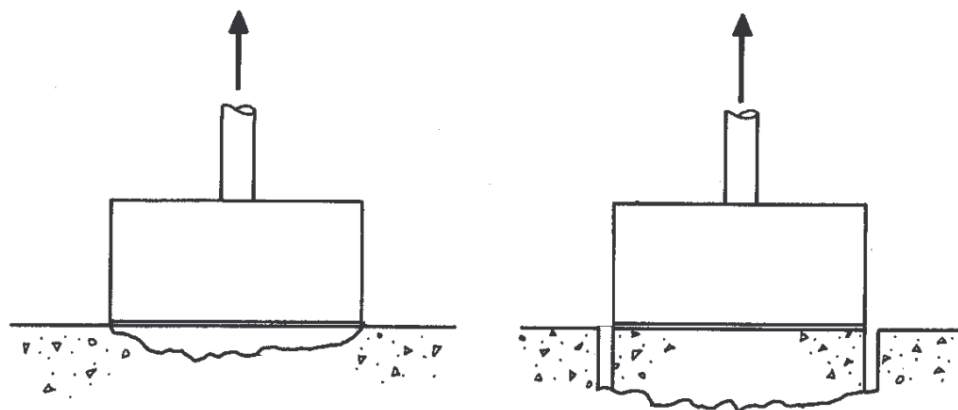
- Jádrové vývrty – vzorky ve tvaru válce, také zvané zkušební tělesa, se odebírají pomocí vrtné soupravy s diamantovou hlavicí, a to buď suchou, nebo mokrou cestou. Po odebrání se vzorek upraví na normou stanovené rozměry a následně se zkouší v laboratoři.

Nejčastěji se tyto vzorky různých průměrů podrobují kontrole, stanovení pevnosti v tlaku nebo se u nich zjišťuje hloubka karbonatace. Tyto zkoušky slouží pro dodatečné určení mechanických vlastností případně pro upřesnění hodnot nedestruktivních zkoušek. Tato metoda je vhodná především pro zkoušení betonových částí konstrukce. [1]



Obrázek 4: Odběr jádrového vývrtnu [7]

- Odtrhová zkouška – Princip této metody spočívá v nalepení kovového terče průměru 50mm a výšky 30mm na předem připravený povrch zkušebního místa pomocí lepidla. Po zatvrdnutí se terč uchytí do trhacího zařízení a provede se zkouška v osovému tahu. Pevnost zkoušeného materiálu se stanoví z maximální zaznamenané tahové síly. Na obrázku vlevo je znázorněn odtrh omítky, na pravém obrázku odtrh proříznutého povrchu betonou [1].



Obrázek 5: Odtrhová zkouška omítky a betonu [1]

➤ **Destruktivní metody**

Destruktivní metody se neobejdou bez poškození, případně úplného zničení zkušebního tělesa či dílce. Provádí se tehdy, když nedestruktivní a semi-destruktivní metody nejsou schopné přinést požadované informace.

- **Kopaná/sekaná sonda**

Tato metoda je poměrně velkým zásahem do konstrukce objektu, proto se využívá zejména u objektů určených k rekonstrukci či demolici, kdy je poškození konstrukce zpravidla přípustné. Tato metoda spočívá v prokopání se ke zkoumané části konstrukce. Díky tomu je možné zjistit například skladbu stropu nebo zjistit stav a průměr výztuže [8].



Obrázek 6: Kopaná sonda [9]

A.1.2 Digitální fotodokumentace

U vizuální defektoskopie, jako u metody ukládání vizuálních informací, dnes stále dominuje digitální archivace formou fotodokumentace. A to hned z několika důvodů. Tato technologie je dnes i díky své cenové dostupnosti, jednoduché a poměrně intuitivní ovladatelnosti rozšířená po celém světě, včetně rozvojových zemí. Stala se tak běžně používanou, a to napříč prakticky celým ekonomicky aktivním spektrem populace. Vývoj jde stále dopředu a je jasné, že tento způsob fotodokumentace se díky novým technologiím dříve či později změní.

V momentě, kdy za stejný čas při vizuálně defektoskopické prohlídce bude možno pořídit místo stovek běžných fotografií posuzovaného objektu jeden sken, který bude sloužit jako rozměrově totožné digitální dvojče, ze kterého je možno automaticky exportovat libovolné části konstrukce nebo půdorysy podlaží do CAD či BIM programů, případě se procházet v objektu ve virtuální realitě, už fotodokumentace ztratí většinu svých devíz [10].

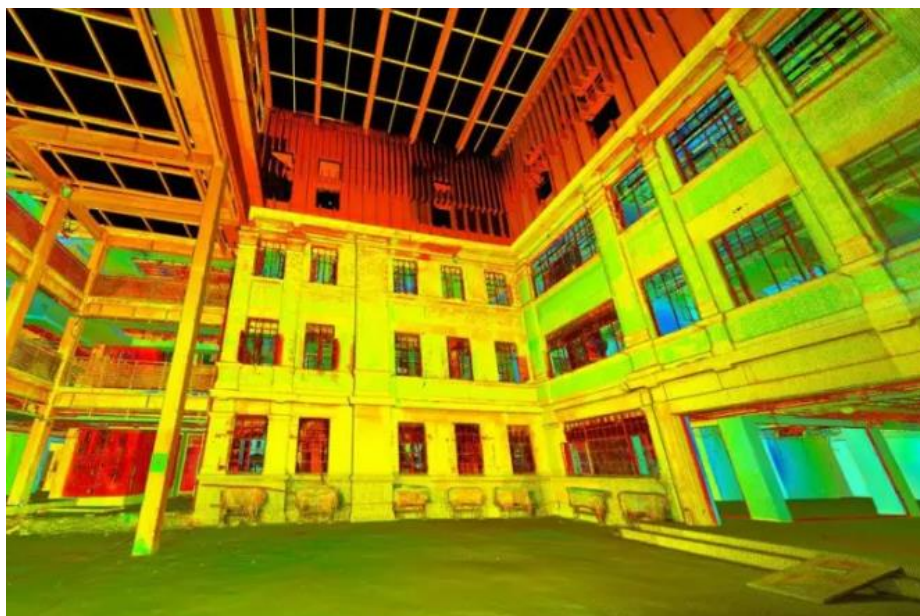


Obrázek 7: Dnešní metody fotodokumentace a měření rozměrů objektu [10]

A.2 APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ V DIAGNOSTICE

Převážná většina průzkumů staveb se neobejde bez pořizování fotografií, překreslování půdorysů, či zaznamenávání přesných rozměrů konstrukce. Zajištění těchto podkladů pro práci statika či při hodnocení dané konstrukce manuálními metodami je poměrně pracný proces, který je velmi obtížné delegovat na někoho jiného, protože vyžaduje odborné profesní zkušenosti, preciznost a mnohdy i důkladnou prohlídku celého objektu. A protože vizuálně defektoskopická prohlídka bývá zpravidla první návštěvou objektu, může se stát, že i zkušený diagnostik si nezaznamená či nezdokumentuje veškeré detaily, které následně při hodnocení stavu konstrukce bude potřebovat. Z těchto a mnoha dalších důvodů, se otevírá prostor pro aplikaci nových technologií, které tyto problémy řeší.

Konkrétním příkladem je možnost laserového skenování fyzického prostoru pomocí průmyslových či jiných skenerů. [11] Tyto přístroje fungují na více principech, avšak nejrozšířenějším z nich je „Light detection and Ranging“, zkráceně „LIDAR“. Tato metoda umožňuje dálkově měřit vzdálenost, pomocí měření doby šíření neviditelného laserového paprsku odrážejícího se od okolních objektů [12].



Obrázek 8: 3D sken technologií Lidar [12]

Pro demonstraci této technologie bylo v rámci této práce použito jednodušší a finančně nenáročné řešení v podobě kamery „Insta360“ a specializovaného programu „Matterport“ pro tvorbu virtuálních modelů. Propojení tohoto softwaru a hardwaru nevyužívá pro tvorbu prostorového modelu laser, nýbrž dopočítává rozměry ze sférických fotografií. Další možností rozšířenou už i v české republice je použití kamer, které fungují na velmi podobném principu jako průmyslové lasery, kdy vysílají strukturované infračervené záření, také laser, kdy je na povrch promítán známý vzor, například bodová mříž a deformace tohoto vzoru na povrchu umožňuje kamerovým systémům vypočítat hloubku a informace o povrchu. Tato technologie je u nás rozšířená například v oblasti realit.

Tato technologie, která se již začíná prakticky aplikovat v technických oborech a to především v západních zemích (v České republice zatím není příliš rozšířena), by se mohla v budoucnu využívat i v oboru diagnostiky konstrukcí. A to proto, že tento obor potřebuje zachytit stav konstrukce a ideálně jej i věrně „uzamknout“ v čase. Na základě zkušeností firem ze zahraničí je možno odhadnout, že technologie skenování zkracuje čas strávený na místě zhruba na polovinu. Což při náročných a rozsáhlých pracích významně snižuje náklady investora. [10]



Obrázek 9: Vybavení pro 3D skenování [13]

Výhody technologie 3D skenování jsou:

- Možnost 3D řešení
- Tvorba poznámek přímo v modelu
- Modelace skutečného stavu
- Export mračna bodů do BIM
- Nahlížení na objekty z více úhlů
- Automatické generování půdorysů
- Pohyb ve 3D modelu pomocí brýlí pro virtuální realitu
- Tvorba JPEG a sférických fotografií z modelu
- Spolupráce na projektu a sdílení výstupu pomocí odkazu
- Vyšší bezpečnost sdílených dat, díky sdílení před odkaz
- Simultánní úprava 3D modelu
- kompatibilita s většinou běžně užívaných zařízení jako jsou chytré telefony, tablety a počítače
- Určení a uložení přesné polohy libovolných bodů konstrukce pomocí GPS

A.2.1 Přehled technologií a jejich využití pro Diagnostiku

Tato práce týkající se bytového domu na Kolišti 33 v Brně sloužila zároveň jako případová studie pro testování různých technologií skenování. Motivací pro použití této technologie je především ve snížení časové náročnosti prováděných prací a možnosti zachytit veškeré vizuální detaily konstrukce, které mohou při vizuálně defektoskopické prohlídce oku diagnostika uniknout.

Na základě cenové dostupnosti a kvality výsledků dnes používaných technologií lze pro potřeby diagnostiky rozdělit způsoby 3D skenování do třech kategorií. Pro účely praktické části této práce byly testovány pouze dvě finančně nejméně náročná řešení v rámci jedné kategorie zařízení. Pořízení sférických fotografií pomocí chytrého telefonu a 360 stupňové kamery. Porovnání kvality 3D modelu této konstrukce s obdobnými konstrukcemi ze zahraničí, skenovanými pomocí profesionálních zařízení s Lidarem vede k poznání, že pro demonstraci této technologie, je v rámci této práce použití zvolených metod dostačující. Pro

diagnostiku poruch a vad libovolného objektu je však důležitá vysoká rozměrová přesnost a rozlišení 3D modelu. Z toho důvodu je nejvhodnější použití profesionálních zařízení jako je například „Pro2 3D Camera“ nebo jakýkoli průmyslový skener.



Obrázek 10: Skenování pomocí kamery Insta360

První kategorií metod a zařízení použitelných pro účely diagnostiky je pořízení sférických fotografií, a to například chytrým telefonem nebo pomocí 360 stupňové kamery, a následné ruční či automatické zpracování pomocí některého ze specializovaných programů pro vytváření 3D modelů ze sférických fotografií, například Metareal, nebo například pomocí aplikace Matterport. Použití této technologie je finančně i znalostně nenáročnou variantou. Při nízké náročnosti na odbornou způsobilost a technikou řádově za 20 000 Kč, lze docílit poměrně dobrého výsledku, co do kvality výstupu. Mezi nevýhody patří nízké rozlišení pořízených materiálů, nízká kapacita baterie, citlivost na špatné světelné podmínky, nižší rozměrová přesnost a vyšší chybovost 3D modelu [10] [13].



Obrázek 11: Kamery Insta360 [13]

Druhou a ideální kategorií produktů pro projekt tohoto typu je použití některého ze specializovaných komerčních skenerů, například „Pro2 3D Camera“, který dokáže díky své otočné hlavě automaticky pořídit sérii fotografií spolu s hloubkovými daty, a vytvořit tak velmi přesnou 3D fotografii. Propojením jednotlivých sférických fotografií s hloubkovými daty ve specializovaném programu vzniká prostorový model objektu, ve kterém se lze pohybovat pomocí běžných zařízení, jako jsou chytré telefony, počítače, tablety, nebo 3D brýle pro virtuální realitu. [13]

Tento způsob však vyžaduje techniku za přibližně 80 - 100 tisíc Kč a také zkušenou obsluhu, případně zručného profesionálního fotografa. Grafické výstupy v rozlišení 134,2 Megapixelů na jednu sférickou fotografii jsou plně dostačující pro jakékoli práce diagnostika. Tato metoda umožňuje generovat 3D modely s rozměrovou odchylkou maximálně 1 % i v rozsáhlých interiérech jako jsou haly. Při následném zpracování ve specializovaném softwaru je možné tyto rozměrové nepřesnosti dále snížit na požadovanou hodnotu [13].



Obrázek 12: Kamera Pro2 3D [13]

Třetí a nejsložitější kategorií zařízení jsou průmyslové skenery. Tato zařízení jsou pro 3D skenování dnes využívána v praxi i v rámci českých firem, například ve strojírenství či geodézii. Příkladem takového skeneru je například „Leica BLK360“, které umožňuje práci na velké vzdálenosti, jako jsou například halové objekty nebo i exteriéry. Zároveň toto zařízení dosahuje nejpřesnějších rozměrových výsledků s chybou měření do jedné promile vzdálenosti, cenově se pohybuje ve stovkách tisíc Kč [13]. Díky svým přednostem tato kategorie zařízení však již vyžaduje profesionální obsluhu s poměrně velkými praktickými zkušenostmi a to jak při práci v terénu, tak co se týká softwaru [11].



Obrázek 13: Skener Leica BLK360 [13]

A.2.2 Výhled do budoucna

Na základě shromážděných informací lze usuzovat, že v příštích 10 letech čekají diagnostiku jako obor mnohé změny a inovace. Dá se předpokládat, že diagnostické výstupy se budou stále více začleňovat do BIM a k tomu by mohla významně napomoci právě technologie 3D skenování [14]. Jejím přínosem je, že dokáže zefektivnit práci mnoha profesí [10].



Obrázek 14: Cílová skupina uživatelů 3D skenování [10]



Obrázek 15: Propojení 3D skenování a BIM [10]

3D model je editovatelným virtuálním dvojčetem skutečného objektu do kterého lze ukládat informace v podobě textu, odkazů, poznámek nebo i zvukových stop [11]. To vše pomáhá udělat si obrázek o situaci na místě a umožňuje všem profesím připravit se na řešení konkrétních problémů bez nutnosti předešlé návštěvy.

Na obrázku 16 je možné vidět, jak by v budoucnu mohl vypadat výstup z vizuálně defektoskopické prohlídky v podobě 3D virtuálního dvojčete, nahrazující desítky či stovky fotografií, měření rozměrů a jejich zpracování například v Revitu.



Obrázek 16: 3D model 1.PP bytového domu na Kolišti 33 s poznámkami

Nespornou výhodou je možnost generovat z modelu fotografie v libovolných úhlech z pohodlí kanceláře, například v čase, kdy se několik let po rekonstrukci na povrch zdiva prorýsují špatně sanované vady. A lépe tak vyhodnotit, kdo za tyto vady je zodpovědný. Automatické generování půdorysu objektu a jeho kompatibilita s běžně používanými programy dokáže usnadnit práci a ušetřit čas všem zúčastněným stranám.

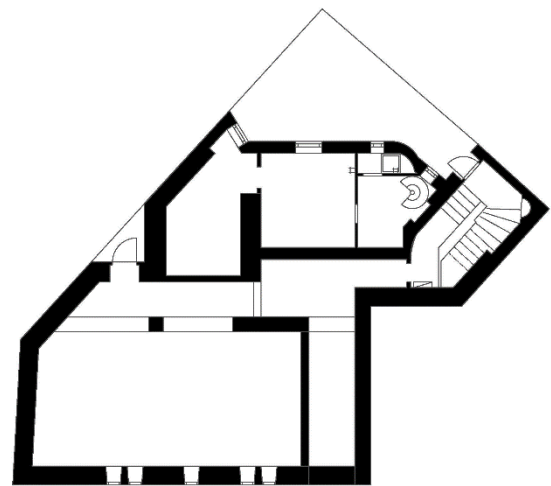


Obrázek 17: Pohyb po podlaží pomocí světělých kruhů na podlaze

Možnost měření vzdáleností přímo v modelu může posloužit například při zařizování prostoru či nákupu vybavení. Díky vysoké kompatibilitě se všemi běžně užívanými zařízeními a možnosti souběžně model editovat dochází k výraznému zkrácení prací a tím i ušetření nákladů investora.



Obrázek 19: Půdorys objektu ve 3D modelu



Obrázek 18: Generovaný půdorys

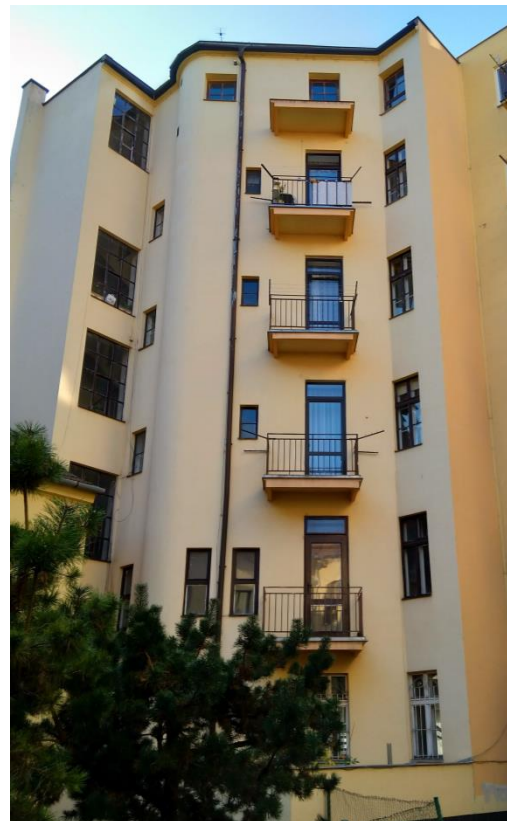
B. PRAKTICKÁ ČÁST

B.1 IDEOVÁ STUDIE PROJEKTANTA

Budova, která je předmětem této práce, se nachází v centru Brna na ulici Koliště 33. Tato budova má zdivo z plných pálených cihel a železobetonový vnitřní rám a stropy. Sestává ze šesti nadzemních podlaží a jednoho podzemního podlaží.

Projektant v rámci projektu celkové revitalizace budovy zvažuje v 1.PP zbudovat sklepní kóje, což je změna oproti současnému stavu. Zároveň chce 1.NP ponechat pro komerční účely a ve 2.NP až 5.NP vytvořit více menších bytových jednotek. V 6.NP je v plánu ponechat velkometrážní byt na přání investora. Předmětem dalšího řešení problémů v rámci projektu je:

- Zjištění typu a tvaru stropní konstrukce společně s jejich stavem a kvalitou
- Zjištění typu konstrukce a stavu balkónů
- Vytipování vad
- Zjištění možnosti zásahu do stropních konstrukcí.
- Zjištění stávající skladby podlah včetně tloušťek materiálů



Obrázek 20: Bytový dům na Kolišti 33 v Brně při pohledu z ulice a ze dvora [9]

B.2 VIZUÁLNĚ DEFEKTOSKOPICKÁ PROHLÍDKA

Při prohlídce všech typových pater budovy, tedy 1.PP, 1.NP, 2.NP a 4.NP bylo vyhodnoceno, že vyjma vybraných prvků a částí objektu v různých podlažích je pro hodnocení stavu nosné konstrukce nejvhodnější se zaměřit především na sklepní prostory v 1.PP, a to z důvodu, že v těchto prostorách domu proběhlo od výstavby ve 30. letech 20. století nejmenší množství zásahů a ze stavebního hlediska jsou sklepní prostory v původním stavu.



Obrázek 21: Prostory v 1.PP

Tloušťky obvodových zdí v 1.PP jsou přibližně 800 mm a na většině povrchu cihel je značná degradace omítky. Na stěně směrem do ulice je viditelná degradace omrzáním. Hloubka základu pod nosnou částí konstrukce byla odhadnuta na 600 mm.

Strop ve sklepních prostorách při obvodové zdi směrem do ulice v některých místech již vlivem promrzání přišel o svrchní vrstvu, a tak je vidět odhalená struktura betonu.



Obrázek 22: Betonové trámy se dochovaly ve velmi dobrém stavu

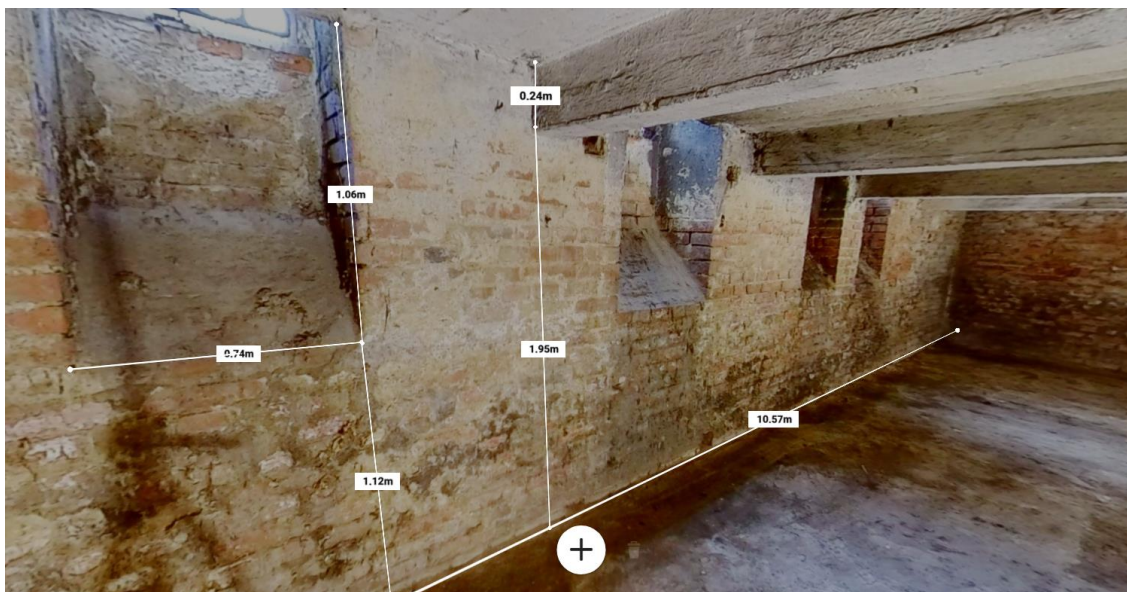
Granulometrie vypovídá o vysoké kvalitě betonářských prací i použitého plniva a pojiva. Široká frakce a absence nekubických zrn kameniva je velmi příznivá pro pevnost betonu. V prostorách sklepů se nenacházejí žádné závažné trhliny či poruchy nosných částí konstrukce, ani nedochází k závažné degradaci zděných či betonových prvků. Pracovní spáry nejsou viditelné. Z těchto faktů lze usoudit, že při výstavbě byl pravděpodobně přítomen stavební technolog a míchání betonu probíhalo pomocí míchaček přímo na místě.



Obrázek 23: Viditelná struktura betonu stropní desky

Z prohlídky prostor sklepů je patrné, že budova byla stavěna pokročilými technologiemi a i přes to, že se tento bytový dům stavěl v době, kdy na našem území vznikala první stavební norma, byl kladen velký důraz na kvalitu a preciznost prováděných prací.

První prohlídka proběhla vizuálně defektoskopickou metodou proto, aby bylo možné pozorovat stav konstrukce a použití materiálů. Při průběžné prohlídce se zaměřením objektu by však již bylo vhodné použít průmyslový či jiný skener, z jehož výstupů vznikne virtuální 3D model. Z něj je možné dostatečně přesně měřit rozměry konstrukčních prvků a zachytit detaily povrchů, na rozdíl od námi použité technologie, která 3D model vytváří dopočítáváním ze sférických fotografií.



Obrázek 24: Měření rozměrů ve 3D modelu

Inženýrské sítě, konkrétně elektřina, plyn, voda i kanalizace jsou do domu přivedeny v 1.PP pod schodištěm, u vchodových dveří bytové části. Objekt je vytápěn plynem a jeho přívod je v původní chráničce, proto revize není nezbytně nutná. Je však na zvážení, zda k tomuto kroku nepřistoupit preventivně, jelikož v blízkosti plynového vedení je cítit plyn i přesto, že sklep je větraný. Dešťová voda je ze střechy odváděna vně konstrukce.



Obrázek 25: Přívod inženýrských sítí do objektu a korodující výztuž stropní desky

Z této prohlídky bylo dále zjištěno že:

- Schodiště je skládané, vetknuté do zdiva a je ve velmi dobrém stavu.
- V domě je možno bez problému otevírat všechny výplně otvorů, z toho lze usoudit, že konstrukce je stabilní a neprobíhá žádné sedání
- Původní betonové stropy jsou poměrně tuhé a zcela neporušené.
- Konstrukce balkónů směrem do dvora je pravděpodobně konstruována z obetonovaných svařovaných ocelových I profilů nesoucích železobetonovou desku.
- Prostor nadzemních podlaží byl většinou rekonstruován po roce 1989 a ani v těchto částech nebyly nalezeny žádné vady či poruchy



Obrázek 26: Konstrukce balkónu a původní výplně stavebních otvorů [9]

B.2.1 Problematická místa - nálezy

Ve 2.NP je v kuchyňském rohu vlhký kout a pravděpodobně je zde porucha v oblasti TZB. Tuto závadu je při revitalizaci potřeba vyřešit a odstranit její příčinu. Zajištění bezbariérového přístupu v tomto domě je možné pouze za předpokladu kompletní rekonstrukce přízemního podlaží. Toto řešení by bylo velmi ekonomicky náročné.



Obrázek 27: Vlhký kout v prostorách bývalé kuchyně

Ve dvoře jsou viditelné zásahy z posledních let v podobě sanačních opatření proti vlhkosti pomocí odvětrávané nopové fólie. Ani toto opatření však zcela neřeší problém s vlhkostí, protože není provedeno dostatečně kvalitně po celé délce styku nosné stěny a povrchu dvora, který je oproti okolním povrchům snížený a špatně zajištěný proti hromadění vlhkosti. Z tohoto důvodu se stojící voda, případně voda z tajícího sněhu dostává bezprostředně k nosné konstrukci.

Dalšími problematickými místy v objektu jsou:

- Koroze výztuže pod schody u vchodu do bytové části
- Hromadění vlhkosti ve světlíku
- Degradace omítek v 1.PP
- Špatně fungující odvětrávaná hydroizolace v severním koutě domu směrem do dvora



Obrázek 28: Degradace omítek u stropů v 1.PP

B.2.2 Kritické konstrukční celky a části objektu

V 1.NP je nejlépe vidět vnitřní rám, což je nejmasivnější část nosné konstrukce a zároveň kritická část z pohledu statické únosnosti. V tomto ocelobetonovém prvku jsou umístěny komíny, procházející z 1.PP. V případě jakéhokoli přetížení této části konstrukce je nezbytně nutné provést kompletní statický posudek, což by v případě tohoto objektu vyžadovalo zjištění přesných materiálových vlastností a rozměrů. Proto je bez dalších ověření jakékoli přetížení tohoto konstrukčního prvku nepřijatelné. Podrobná diagnostika průvlaku v případě přetížení rámu konstrukce vyžaduje použití elektromagnetické sondy a georadaru.



Obrázek 29: Rám v 1.NP

B.3 NÁVRH STAVEBNÍCH OPATŘENÍ

- Dvůr bytového domu je pod úrovní sousedních pozemků a zděný plot trpí problémy s vlhkostí, a proto je žádoucí provést při revitalizaci injektáž a zaizolování ze strany sousedních pozemků, ideálně pomocí dvouplášťové povrchové úpravy. Tato opatření, zabrání prostupu vody na dvůr a tím ochrání před degradací zděný plot a také základy a nosné zdi samotné konstrukce domu.



Obrázek 30: Nežádoucí hromadění vlhkosti ve dvoře [9]

- Na místě byla provedena akustická trasovací metoda. Byla identifikována skladba stropu pomocí endoskopu a zhodnoceno, že na základě dřívější uspokojivé způsobilosti, je konstrukce bezpečná a provozuschopná, a to za předpokladu, že po další plánovanou životnost konstrukce nenastanou změny, které by mohly významně zvýšit zatížení působící na konstrukci nebo ovlivnit její trvanlivost, a žádné takové změny nejsou očekávány [15].
- Po vizuálně defektoskopické prohlídce balkónů byla dodatečně provedena i akustickou trasovací metodou a prohlídka endoskopem. Balkóny byly na základě dřívější uspokojivé způsobilosti vyhodnoceny bezpečné a provozuschopné a to za předpokladu, že po další plánovanou životnost konstrukce nenastanou změny, které by mohly významně zvýšit zatížení působící na konstrukci nebo ovlivnit její trvanlivost, a žádné takové změny nejsou očekávány [15].
- V opačném případě, při přetížení balkónu, je nezbytné daný prvek staticky posoudit výpočtem. K tomu je nezbytně nutné zjistit přesné materiálové vlastnosti a rozměry. Tato skutečnost by v konečném důsledku vyžadovala vyšší náklady pro investora. Přetížení balkónů je vhodné pouze v případě, že

náklady dodatečně vydané pro zabezpečení při přitížení, budou vyváženy zlepšením návratnosti celkové investice nebo výhradním přáním investora.

- Expertní prohlídka celého objektu potvrdila, že konstrukce nevykazuje žádné vady a poruchy, které by svědčily o problematické životnosti či nedostatečné mechanické odolnosti konstrukce. V případě, že se nebude měnit účel využití tohoto objektu a konstrukce nebude dodatečně přitěžována, je konstrukce staticky způsobilá pro projekt revitalizace [15].
- V 1.PP je část kanalizace již v plastovém potrubí, přesto je potřeba zkontrolovat ležatou kanalizaci a případně ji přizpůsobit novým požadavkům projektu. Dále je nezbytné zamezit shromažďování vlhkosti v prostoru světlíku, a to buď zřízením či revitalizováním odvodňovacího kanálu v prostoru světlíku nebo zastřešením s odvětráváním.



Obrázek 31: Částečně rekonstruovaná kanalizace

- Generální oprava celého dvora se zaměřením na problémy s vlhkostí
- Vlhký kout v prostorách bývalé kuchyně v 2.NP
- Sanace korodující výztuže pod schody u vchodu do bytové části
- Sanace omítek v celém prostor sklepů
- Zatížení od nových konstrukcí stropů nesmí přesáhnout zatížení od původních stropů

B.4 DOPORUČENÍ

Ze stavebně-technického hlediska

- Schodiště má dostačující kapacitu i pro úpravu dispozice velkometrážních bytů na 3 malé byty v každém ze šesti pater. I přes tuto skutečnost je vhodné k domu přistavět venkovní výtah, ideálním řešením by v tomto případě bylo umístit výtahovou šachtu z vnější strany konstrukce, ve dvoře mezi východní roh domu a stávající schodiště. A to jak z konstrukčního hlediska, tak i z důvodu přesunu movitých věcí obyvatel domu, například při stěhování. V neposlední řadě i z praktického hlediska, například pro události, kdy dojde ke zranění či zhoršení zdravotního stavu obyvatel domu. Přístup do výtahu je možný ze schodišťových mezipodest. Podmínkou přístavby výtahu je zajištění přístupu do dvora, a to například průchozím výtahem.
- Kamerové zkoušky – kudy jde hlavní kanalizační řád
- Výplně otvorů ve schodišťové části je vhodné vyměnit i přesto, že prostor není vytápěný
- Podrobné prohlídky instalace plynu a plynových spotřebičů
- Podrobná prohlídka komínů
- Revize elektřiny z důvodů stáří objektu a chybějící dokumentace, generální opravu a výměnu elektroinstalací.
- Případnou revizi výplně původních stavebních otvorů i novějších v obvodovém plášti konstrukce. A to z tepelně-technických, případně estetických důvodů.
- Je třeba zachovat světlíky pro lepší provětrávání konstrukce
- Střecha objektu je v pořádku, proto není nutné jakýchkoli zásahu do této části konstrukce.

Z ekonomického hlediska

- Provést detailní Investiční analýzu projektu. Tato analýza je téměř vždy podceňována, jelikož se ale jedná o nájemní bytový dům, je toto nejdůležitějším bodem celého projektu. Špatný odhad investičních rizik nebo dalších parametrů analýzy může snížit zisk investora až o stovky tisíc ročně.
- Ponechání stejného účelu budovy v daných podlažích. Tedy 1.NP a 2.NP jako komerční prostory, například Co-workingové centrum. A 3.NP až 6.NP jako rezidenční bytovou část s redispozicí velkometrážního bytu na každém podlaží na 3 malometrážní byty o dispozici 1+kk, 1+1 a 2+kk.

B.5 ZÁVĚR

V první části práce jsou popsány nejpoužívanější diagnostické zkoušky a aplikace moderních technologií jako je 3D skenování pro účely diagnostiky.

Na základě prostudování informací o této technologii lze konstatovat, že jsou velkým přínosem pro práce diagnostika ale i mnoha dalších navazujících profesí.

Díky úspoře okolo 50 % času, jsou tyto metody rentabilní i při užití při menším rozsahu práce, jako je například diagnostika rodinného či bytového domu.

Při zkoušení těchto technologií v terénu bylo potvrzeno, že jejich užití dokáže ušetřit nemalé množství času, a to zejména díky nahrazení několika činností jako je pořizování fotografií, měření a zakreslování rozměrů objektu jednou činností a tou je pořízení 3D skenu, díky které je také možné uchování komplexních vizuálních a rozměrových informací.

V budoucnosti se dle mého názoru tento obor bude více zabírat i průběžným sledováním stavu konstrukce a snahou předejít, či minimalizovat její degradaci. Tím přispěje ke zpomalení čerpání životnosti konstrukce a napomůže tak ke snížení nákladů na údržbu a rekonstrukce objektu, které dnes představují okolo 80 % celkových nákladů vynaložených za období životnosti stavebního objektu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HOBST, Leonard. *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky*. 2005. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [2] ČSN ISO 13823 (730043) *Obecné zásady navrhování konstrukcí s ohledem na trvanlivost*. 2014. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [3] *Průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2000. Regenerace panelových domů (Česko. Ministerstvo průmyslu a obchodu). ISBN isbn80-863-6420-8.
- [4] HOBST, Leonard. *Diagnostika stavebních konstrukcí: průvodce předmětem*. 1. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [5] SCHMID, Pavel. *Základy zkušebnictví*. Vyd. 2. opr. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2584-9.
- [6] *Unimetra.cz* [online]. [cit. 2021-05-21].
- [7] *Tesan.cz* [online]. [cit. 2021-05-21].
- [8] *Diagnostický průzkum mostů PK: Technické podmínky TP72* [online]. Praha: Pontex spol, 2008 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_72.pdf
- [9] *Sbírka fotek Ing. RADKA MALEČKA*.
- [10] The Matterport Scan to CAD and BIM - Webinar. *Youtube.com* [online]. [cit. 2021-05-24].
- [11] ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. *Terestrické skenovací systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [12] *LIDARNews* [online]. [cit. 2021-05-22].
- [13] Matterport cameras. *Matterport.com* [online]. [cit. 2021-05-24].
- [14] ŠTRONER, Martin. *3D skenovací systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.

[15] ČSN ISO 13822 (730038) *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma využití metod NTD [4].....	13
Obrázek 2: Schmidtův odrazový tvrdoměr [5]	14
Obrázek 3: Ultrazvuková impulzní metoda	16
Obrázek 4: Odběr jádrového vývrtu [6]	18
Obrázek 5: Odtrhová zkouška omítky a betonu [1].....	18
Obrázek 6: Kopaná sonda [8]	19
Obrázek 7: Dnešní metody fotodokumentace a měření rozměrů objektu [9].....	20
Obrázek 8: 3D sken technologií Lidar [11].....	21
Obrázek 9: Vybavení pro 3D skenování [12]	22
Obrázek 10: Skenování pomocí kamery Insta360	24
Obrázek 11: Kamery Insta360 [12].....	25
Obrázek 12: Kamera Pro2 3D [12]	26
Obrázek 13: Skener Leica BLK360 [12]	27
Obrázek 14: Cílová skupina uživatelů 3D skenování [9].....	28
Obrázek 15: Propojení 3D skenování a BIM [9]	28
Obrázek 16: 3D model 1.PP bytového domu na Kolišti 33 s poznámkami.....	29
Obrázek 17: Pohyb po podlaží pomocí světlých kruhů na podlaze	30
Obrázek 18: Generovaný půdorys	30
Obrázek 19: Půdorys objektu ve 3D modelu.....	30
Obrázek 20: Bytový dům na Kolišti 33 v Brně při pohledu z ulice a ze dvora [8].....	31
Obrázek 21: Prostory v 1.PP	32
Obrázek 22: Betonové trámy se dochovaly ve velmi dobrém stavu.....	33
Obrázek 23: Viditelná struktura betonu stropní desky	33
Obrázek 24: Měření rozměrů ve 3D modelu.....	35
Obrázek 25: Přívod inženýrských sítí do objektu a korodující výztuž stropní desky	35
Obrázek 26: Konstrukce balkónu a původní výplně stavebních otvorů [8].....	36
Obrázek 27: Vlhký kout v prostorách bývalé kuchyně.....	37

Obrázek 28: Degradace omítek u stropů v 1.PP	38
Obrázek 29: Rám v 1.NP.....	39
Obrázek 30:Nežádoucí hromadění vlhkosti ve dvoře [8].....	40
Obrázek 31: Částečně rekonstruovaná kanalizace.....	41

PŘÍLOHA P1:

<https://my.matterport.com/show/?m=pZ58Aand2vD>